

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA O INTERIOR  
DE EDIFÍCIOS**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática

**Celso Almeida Pereira**

Sob a orientação de:

Doutor António Manuel Ribeiro de Sousa

Doutor Vítor Manuel de Jesus Filipe



**Vila Real, 2016**

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

**SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA O INTERIOR  
DE EDIFÍCIOS**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Informática

Celso Almeida Pereira

Doutor António Manuel Ribeiro de Sousa

Doutor Vítor Manuel de Jesus Filipe

Composição do Júri:

Doutor Paulo Nogueira Martins

Doutor Luís Gonzaga Mendes Magalhães

Doutor António Manuel Ribeiro de Sousa

**Vila Real, 2016**



## **Agradecimentos**

Aos meus orientadores, António Sousa e Vítor Filipe, pela amizade, dedicação, disponibilidade e paciência que tiveram durante este trabalho.

À minha família, em particular, aos meus pais pelo apoio incondicional e compreensão que sempre tiveram.

A todos os amigos e colegas que me incentivaram e motivaram para concluir este trabalho.



## **Resumo**

A dificuldade e morosidade inerente à navegação no interior de edifícios complexos ou desconhecidos e, a falta de instruções claras, que permitam a navegação eficaz de utilizadores com mobilidade reduzida, motivaram a realização deste trabalho. Deste modo, é apresentada uma proposta e descrito o desenvolvimento de um sistema de navegação para o interior de edifícios, apoiado por um sistema de informação geográfica e implementado com recurso a ferramentas de código aberto.

Através do sistema desenvolvido é possível converter as plantas de um edifício para formato digital e armazenar as informações das diversas divisões e corredores numa base de dados geográfica. Essas informações são depois fornecidas a uma aplicação para dispositivos móveis.

Ao ler um dos *QR Code* colocados no interior do edifício, o utilizador pode obter, num *smartphone*, a sua posição atual e receber o caminho mais curto para qualquer uma das divisões do edifício. Este caminho tem em consideração o perfil de mobilidade do utilizador, sendo o mais indicado para cada caso. Para ajudar à navegação dos utilizadores, as instruções são acompanhadas com imagens reais, associadas a pontos diferenciadores existentes no caminho gerado.

Os testes realizados em ambiente real permitiram validar o conceito e comprovar a utilidade da solução desenvolvida.

Através desses testes foi também possível concluir que o sistema apresenta diversos pontos-fortes relativamente a custos, usabilidade e precisão, sendo estes os principais entraves à implementação deste tipo de sistema em larga escala.

## **Palavras-Chave**

Sistema Navegação Interior, Sistema Gestão Geográfica, QR Code, Acessibilidade



## **Abstract**

The difficulty and slowness inherent in indoor navigating and the absence of clear instructions that allow the efficient navigation of users with reduced mobility are the motivated of this work. In this way, a proposal is presented and described the development of a navigation system for the interior of buildings, supported by a geographic information system and implemented with the use of open source tools.

Through the developed system it is possible to convert the plants from a building to digital format and store the information of the various rooms and corridors in a proper database. This information is then provided to a mobile app.

By reading a QR Code placed in key places inside the building the user can obtain, on a mobile phone, his current position and receive orientations to any room that he might want to go. This path takes into account the mobility profile of the user, being the most suitable for each case. The directions hints are accompanied with real pictures associated to key locations in the calculated path to help the users navigation.

The tests performed in real environment allowed to validate the concept and prove the usefulness of the solution developed.

Through these tests it was also possible to conclude that the system presents several strengths in terms of costs, usability and precision, which are the main obstacles to the implementation of this type of system on a large scale

## **Keywords**

Indoor Navigation System, GIS, QR Code, Accessibility.



## Índice Geral

1	Introdução.....	1
2	Revisão da literatura.....	3
2.1	Métodos de localização.....	3
2.1.1	<i>Dead Reckoning</i> .....	4
2.1.2	Contacto direto .....	5
2.1.3	Triangulação .....	6
2.1.4	Reconhecimento de padrões .....	8
2.1.5	Sistemas de localização .....	9
2.1.6	Resumo de técnicas e sistemas .....	15
2.1.7	Fatores de Seleção .....	15
2.2	Planeamento de Rotas .....	18
2.3	Códigos de Barras .....	20
3	Metodologia .....	25
3.1	Mapas do interior de edifícios .....	27
3.2	Indoor GIS .....	31
3.2.1	<i>PostGIS</i> .....	32
3.2.2	<i>GeoServer</i> .....	38
3.2.3	API de Rotas.....	39
3.2.4	Marcadores Visuais .....	39
3.2.5	Imagens-Chave ( <i>Key-Views</i> ) .....	40
3.3	Aplicação Cliente.....	41

4	Testes e resultados.....	45
4.1	Ambiente de testes .....	45
4.2	Equipamento de testes .....	46
4.3	Realização dos testes .....	46
4.4	Resultados dos testes .....	47
4.5	Caso Simulado .....	50
4.6	Discussão dos Resultados .....	51
5	Conclusão e trabalho futuro .....	55
6	Referências .....	59

## Índice de Figuras

Figura 1 - Sensores de movimento e orientação [9] .....	5
Figura 2 - Planta de um edifício, objetos de localização e utilizador localizado [15].....	6
Figura 5 – <i>Lateration</i> [7] .....	7
Figura 6 - <i>Angle of Arrival</i> (AoA) [7] .....	8
Figura 7 – Exemplo de um mapa com os valores da intensidade de sinal <i>wireless</i> [33]..	9
Figura 3 - Arquitetura do Sistema <i>SpotOn</i> [19].....	10
Figura 4 - Componentes do sistema BLIP [6] .....	11
Figura 8 - Ekahau Real Time Location System [37] .....	13
Figura 9 - Demo de um <i>software</i> baseado em Visão por Computador.....	14
Figura 10 – Representação de rotas sob a forma de grafos [46].....	19
Figura 11 - Representação sob a forma de grelha [46].....	20
Figura 12 - Estrutura de um <i>QR Code</i> (adaptado de [53]).....	22
Figura 13 - Exemplo da utilização de <i>QR Codes</i> [56].....	23
Figura 14 - Visão geral do sistema proposto .....	26
Figura 15 - Área do edificio a mapear .....	29
Figura 16 – Camada OSM com informação do edifício a mapear .....	29
Figura 17 - Contornos do edifício.....	30
Figura 18 - Desenho das salas .....	30
Figura 19 - Visão geral da aplicação OSMc.....	32
Figura 20 - Visão geral do Indoor GIS .....	32

Figura 21 - Conversão e inserção de divisões na base de dados .....	34
Figura 22 - Conversão e adição de mapas à base de dados .....	35
Figura 23 - Corredor de um edifício .....	36
Figura 24 - Criação de topologia de rede/grafos .....	36
Figura 25 - Exemplo de planta e grafo associado.....	37
Figura 26 - Identificação de salas no caminho .....	37
Figura 27 - Identificação de pontos de interesse .....	38
Figura 28 - Configuração do Servidor <i>GeoServer</i> .....	38
Figura 29 - Criação de Marcadores Visuais .....	40
Figura 30 - Imagens-Chave dos Pontos 40 e 43 .....	41
Figura 31 - Diagrama de atividades de utilização da Aplicação Cliente.....	42
Figura 32 – Vista da Interface da Aplicação Cliente.....	42
Figura 33 - Diferenças entre perfis de utilizador .....	43
Figura 34 – Edifício Engenharias I.....	45
Figura 35 - Planta do 1º piso do edifício .....	46
Figura 36 - Planta do 2º piso do edifício .....	47
Figura 37 – Rota para Perfil Normal .....	50
Figura 38 - Rota para Perfil Adaptado .....	51

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Resumo de técnicas e sistemas .....	15
Tabela 2 - Classificação das técnicas e sistemas apresentados (adaptado de [2]).....	17
Tabela 3 - Capacidade, características e <i>standards</i> dos mais importantes códigos de barras 2D [52].....	21
Tabela 4- Ensaios Realizados .....	47



## **Siglas e Acrónicos**

RFID	Radio-Frequency IDentification
UWB	Ultra-Wide-Band
GPS	Global Positioning System
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
RSS	Received Signal Strength
A-GPS	Assisted Global Positioning System
JIS	Japanese Industrial Standards
ISO	International Organization for Standardization
GIS	Geographic Information System
OSM	Open Street Maps
XML	eXtensible Markup Language
JSON	JavaScript Object Notation
API	Application Programming Interface
SQL	Structured Query Language
ORDBMS	Object-Relational Database Management System
NFC	Near Field Communication



# CAP 1

## 1 Introdução

Nos tempos modernos, existem inúmeras situações em que existe a necessidade de obtenção de informação de localização geoespacial. Como consequência, tem-se observado o crescimento de serviços baseados em localização. Estes serviços permitem não só localizar o utilizador, como ainda prestam informação relativa à área envolvente, como por exemplo: determinar quais as lojas e serviços existentes na proximidade do utilizador, fornecer o caminho com menos trânsito entre dois pontos ou encontrar objetos perdidos [1].

A maioria dos serviços baseados em localização é acessível através de dispositivos móveis, que utilizam o sistema de posicionamento global incorporado para obter a posição do utilizador. Sistemas como o GPS são capazes de funcionar em qualquer parte do mundo, no entanto, o sinal utilizado para calcular a posição do utilizador não chega com qualidade suficiente ao interior dos edifícios. Por este motivo, nos últimos anos tem aumentado o interesse na localização *indoor*, através do desenvolvimento de novos métodos que utilizam tecnologias como RFID, WLAN e UWB para calcular a posição de objetos. Atualmente a localização no interior de edifícios tem aplicações em diversas áreas como logística, localização de objetos, serviços de saúde, compras e guias turísticos [2] [3].

Quando se desconhece o interior de um edifício, encontrar um local pode ser uma tarefa morosa e complicada. Geralmente é possível encontrar painéis informativos onde são apresentadas plantas e direções. Contudo, estes podem ser difíceis de interpretar, não serem uma representação fidedigna da realidade e na maioria das vezes não acompanharem com a rapidez necessária as alterações que sofre a estrutura, quer sejam estas a termo provisório ou definitivo.

No caso de pessoas com mobilidade reduzida, uma informação pormenorizada dos edifícios e um assistente de navegação podem ser bastante importantes. Estes visitantes podem ter alguma dificuldade em encontrar caminhos e equipamentos adequados às suas necessidades.

### **Objetivos**

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de navegação para o interior de edifícios, que seja capaz de fornecer rotas adaptadas a utilizadores com mobilidade reduzida.

Apesar de existirem diversos métodos para determinar a posição de objetos no interior de edifícios, não é possível destacar um sistema como sendo a solução ideal para todos os casos [4] [5]. Por isso, para se atingir o objetivo deste trabalho, é necessário ponderar qual o método que oferece os níveis de precisão e exatidão necessários, e que não causa constrangimentos desnecessários ao utilizador do sistema [6].

### **Organização do documento**

Em relação à organização deste trabalho, este apresenta cinco capítulos principais:

1. Introdução: Este capítulo faz uma breve introdução ao tema e objetivo desta dissertação;
2. Revisão da literatura: Aborda a literatura relativa aos métodos de localização no interior de edifícios e planeamento de rotas;
3. Metodologia: Descreve a metodologia seguida na criação do sistema de navegação *indoor*.
4. Testes e resultados: Apresenta os principais resultados obtidos através da observação da interação de utilizadores com o sistema em ambiente real.
5. Conclusão e trabalho futuro: Sumariza as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, e propõe alterações que podem ser aplicadas para melhorar a sua metodologia.

# CAP 2

## 2 Revisão da literatura

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos teóricos relativos à localização e navegação no interior de edifícios (*indoor*). Para tal, foi realizado um estudo sobre os principais métodos de localização utilizados no interior de edifícios e sobre as diferentes metodologias para o planeamento de rotas.

São também apresentadas as características técnicas dos códigos de barras utilizados no sistema proposto no capítulo 3.

### 2.1 Métodos de localização

Os métodos mais comuns de localização em ambientes exteriores, geralmente, não podem ser usados dentro de edifícios. Isto deve-se ao facto de utilizarem sinais rádio para estimarem as distâncias, sendo que estes se comportam de modo diferente no interior de edifícios. Não existe uma linha desimpedida entre o dispositivo que envia o sinal e o que o recebe. Por esse motivo dentro de edifícios o sinal viaja através de reflexões, isto impossibilita qualquer tentativa de cálculo da distância entre o recetor e o emissor [7]. Deste modo, para sistemas como o GPS não é possível o seu funcionamento em ambientes interiores. Isto pode ser facilmente testado e comprovado com o GPS de qualquer *smartphone*.

Devido à impossibilidade de serem utilizadas essas técnicas para ambientes interiores existem diversas alternativas para criar sistemas que permitam localizar e seguir algo ou alguém. Por causa dessa diversidade de técnicas a conclusão comum a que se chega quando se estuda esta temática é a de que não existe um *standard* para localização no interior de edifícios, ao contrário do verificado no ambiente exterior onde o GPS é a tecnologia dominante [4] [5].

Deste modo, é possível encontrar vários estudos onde se faz um resumo de todas as técnicas alternativas ao GPS. Um dos mais citados data de 2007 [2], curiosamente o ano em que surgiu um dos primeiros *smartphones*. Outros estudos procuram classificar as técnicas com base num critério específico. O trabalho descrito em [6] procura dividir os sistemas em ativos e passivos, conforme a necessidade do utilizador trazer consigo dispositivos adicionais.

Com base nisso, e uma vez que todos os sistemas possuem uma forma de localização básica para determinar a posição do utilizador, podem-se dividir os sistemas em quatro categorias diferentes, tendo em conta a técnica que utilizam [8]:

- *Dead reckoning*;
- Contacto direto;
- Triangulação;
- Reconhecimento de padrões.

Os próximos subcapítulos vão discutir os princípios gerais de cada uma destas técnicas, e descrever alguns dos sistemas que as utilizam.

### **2.1.1 *Dead Reckoning***

A técnica de localização chamada *Dead Reckoning* permite calcular a posição atual de um objeto através da sua localização anterior, ou qualquer outra posição previamente conhecida. Quando o utilizador se move, os sistemas que utilizam esta técnica estimam a posição atual através do incremento da informação relativa à distância percorrida em função do tempo.

Existem atualmente diversos sensores capazes de calcular a direção e velocidade a que um objeto se desloca. O magnetómetro atua como bússola e permite determinar a orientação relativa aos eixos magnéticos da terra, o giroscópio calcula qualquer mudança de direção, e o acelerómetro mede a aceleração. A combinação das leituras deste conjunto de sensores, representados na Figura 1, pode ser utilizado para determinar a direção para onde um objeto se desloca, bem como estimar a distância percorrida.

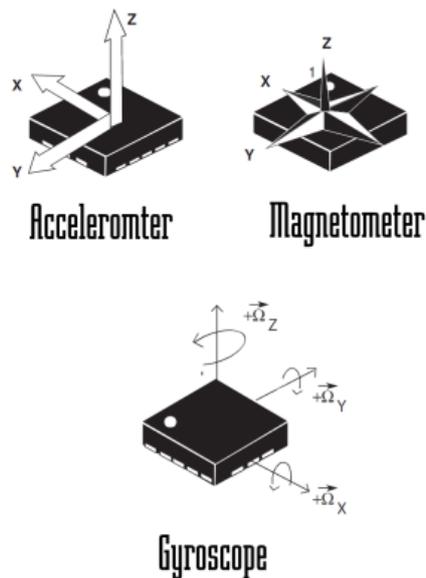


Figura 1 - Sensores de movimento e orientação [9]

Apesar de não dependerem da estrutura do edifício estes sensores estão sujeitos a interferências que originam imprecisões nas medições. O magnetómetro está sujeito a interferências eletromagnéticas próprias das infraestruturas, como por exemplo, metais usados na construção. Para além disso o acelerómetro acumula erros de leitura ao longo do tempo, o que leva a erros consideráveis no cálculo das distâncias percorridas, acrescida da dificuldade sobre qual a melhor forma de estimar a distância a partir da aceleração [10].

Esta técnica tem como vantagem o baixo custo de instalação e manutenção. Como desvantagem a imprecisão que terá que ser compensada com informações sobre o meio ou com uso de técnicas complementares. Apesar das dificuldades que essas desvantagens acrescentam, existem trabalhos onde foi possível utilizar esta conjugação de sensores com sucesso [11] [12] [13].

### 2.1.2 Contacto direto

O grupo de técnicas designadas por contato direto fornece apenas informação de localização relativa. Para funcionar pressupõe uma grelha de objetos com posições conhecidas. Quando o alvo que se pretende localizar entra em contato com um desses objetos, obtém-se a sua localização. Estes objetos devem estar amplamente distribuídos pela área em questão e em número suficiente [14].

Deste modo é desejável que a área de alcance dos objetos de referência se interseccione para assim se ter uma localização mais precisa, este conceito é exemplificado através da Figura 2, onde o utilizador é localizado de forma precisa através do contato com quatro objetos distintos.

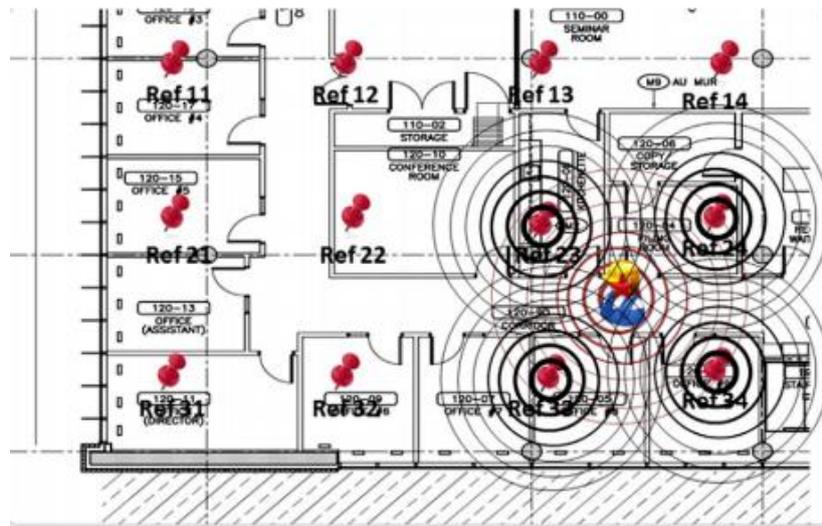


Figura 2 - Planta de um edifício, objetos de localização e utilizador localizado [15]

Um dos sistemas mais conhecidos que utiliza este tipo de técnica é o da localização através de etiquetas de *Radio Frequency Identification* (RFID). Este tipo de sistema fornece resultados precisos, no entanto, são difíceis de implementar e a manutenção dos vários componentes do sistema é complexa [16].

### 2.1.3 Triangulação

Esta técnica utiliza as propriedades geométricas dos triângulos para calcular a posição do objeto pretendido. Necessita da informação da distância ou do ângulo para poder funcionar.

#### Técnicas baseadas no cálculo da distância:

Conhecidas na literatura inglesa como *lateration*, permitem determinar a distância de um objeto em relação a diversos pontos de referência de posição conhecida. Como mostra a Figura 3 são necessários pelo menos três pontos para se poder obter uma medição correta. Apesar do princípio base ser o mesmo, a distância pode ser calculada de diversas formas.

#### *Time of Arrival* (ToA)

Utiliza como princípio de estimação de distâncias o tempo que um sinal demora a percorrer entre um emissor e um recetor. Assim sendo a velocidade de propagação do sinal permite calcular essa distância. Esta técnica é utilizada em sistemas como o GPS. Porém conta com duas desvantagens. Em primeiro lugar implica que os relógios do recetor e emissor estejam perfeitamente sincronizados. Em segundo a informação deve ser etiquetada (*timeless stamp*) ao sinal de transmissão para que a unidade que calcula a distância possa funcionar [17] [18].

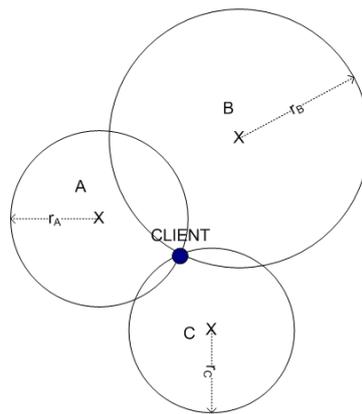


Figura 3 – *Lateration* [7]

### ***Time Difference of Arrival (TDoA)***

O TDoA permite determinar a posição relativa do cliente ao examinar as diferenças no tempo de receção de sinais com duas unidades de medida. Ou seja, o emissor emite em simultâneo dois sinais com velocidade de propagação diferentes, a diferença de tempo de chegada desses dois sinais permite medir a distância de forma mais precisa. Essa precisão é apenas obtida em distâncias curtas e onde há uma linha de vista entre os dois componentes [19].

### ***RSS-Based ou Signal Attenuation-Based***

As duas técnicas anteriores contam com algumas desvantagens. Em primeiro lugar, para ambientes interiores é difícil ter sempre um canal com a linha de vista desobstruída entre transmissor e recetor. Em segundo, a propagação de ondas rádio nestes ambientes está sujeita ao efeito *multipath*, onde o sinal pode viajar por vários caminhos. Tal efeito afeta o tempo e ângulo de chegada do sinal, diminuindo assim a precisão.

Como alternativa foi proposto o *RSS-Based* ou *Signal Attenuation-Based*, baseado no facto de que o sinal perde força quando a distância aumenta. Ao medir a força do sinal

recebido pode-se deduzir a distância para o emissor. O requisito é a força do sinal usado, ser conhecida, para se calcular a atenuação do sinal. Tem como vantagem não necessitar de *hardware* especial. Sendo utilizada na localização por WLAN. Sofre porém de imprecisões causadas por obstáculos e reflexões, por causa disso não se encontra um modelo de propagação comum para todas as partes do interior de um edifício [20].

### Técnicas baseadas no cálculo da direção:

#### *Angle of Arrival (AoA) ou Direction of Arrival (DoA)*

Através desta técnica a localização do objeto desejado encontra-se pela intersecção das linhas formadas por um par de ângulos, que se encontram em pontos fixos e de localização conhecida. Através de cálculos geométricos é possível calcular o ponto de intersecção dos anglos e conseqüentemente a posição do objeto. Este conceito é demonstrado na Figura 4. [21]

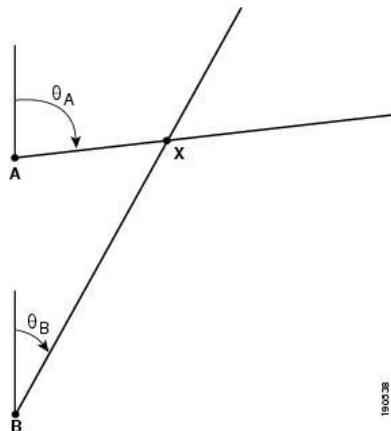


Figura 4 - Angle of Arrival (AoA) [7]

São necessários no mínimo dois sensores para determinar a posição, no entanto, caso se usem três ou mais a localização obtida é ainda mais precisa.

#### 2.1.4 Reconhecimento de padrões

O reconhecimento de padrões é a ciência que permite classificar objetos de acordo com uma série de categorias ou critérios. Um sistema baseado em reconhecimento de padrões deve ser capaz de extrair as características a analisar e classificar automaticamente as mesmas.

#### *Fingerprinting*

Esta técnica de localização depende de um mapeamento prévio das propriedades que se podem encontrar no meio. Ou seja, a força recebida pela WLAN é medida em várias localizações dentro do edifício. As medições são guardadas num mapa. Mais tarde um sensor mede a força do sinal que recebe e por comparação com os valores obtidos é estimada a posição atual [22]. Este processo é composto por duas etapas: uma etapa *offline*, onde os valores são registados e armazenados, e por uma etapa *online* que consiste na comparação dos mesmos. Esta comparação recorre a métodos probabilísticos e outros algoritmos que procuram atenuar possíveis reflexões e refrações do sinal. Na Figura 5 é possível observar um exemplo de um mapa gerado na fase *offline*.

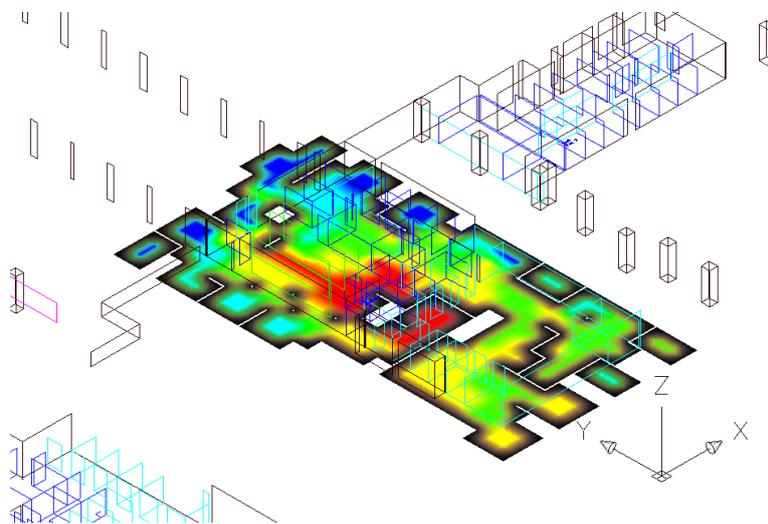


Figura 5 – Exemplo de um mapa com os valores da intensidade de sinal *wireless* [23]

Apesar de ser bastante popular, esta técnica tem diversas desvantagens. A primeira é a necessidade de existir cobertura Wi-Fi em todos os pontos do edifício, o que nem sempre acontece devido à sua inexistência ou a constrangimentos provocados pela infraestrutura. A segunda será o esforço necessário para criar o mapa *offline*, esta tarefa consome bastante tempo e requer medições novas cada vez que as condições físicas do edifício se alterem. Para além disso, podem ocorrer situações em que o mapa fica descalibrado, como por exemplo, quando se regista um volume anormal de tráfego na rede causado pelo aumento do número de utilizadores [10] [24].

### 2.1.5 Sistemas de localização

Tendo sido apresentadas as técnicas de localização, serve a presente secção para detalhar os sistemas que fazem proveito das mesmas.

## RFID

A RFID é um tipo de tecnologia de identificação que permite distinguir objetos automaticamente. Essa identificação é realizada através de Rádio Frequência [25]. Habitualmente um sistema que utiliza RFID é composto por um leitor, etiquetas RFID e a comunicação que existe entre ambos. Existem dois tipos de etiquetas RFID, as passivas e as ativas. As primeiras como não utilizam bateria, são mais baratas, porém têm um alcance limitado a um par de metros. Já as ativas permitem indicar o seu ID, em resposta a um leitor que se encontre a uma dezena de metros [26].

Um dos sistemas mais conhecidos baseado em RFID é o *SpotOn* [27]. Este sistema é composto por etiquetas de longo alcance e por várias estações que realizam medições da força de sinal das etiquetas. Um servidor central processa os valores recolhidos pelas estações e através de algoritmos de triangulação é calculada a posição dos objetos. Na Figura 6 é possível observar a arquitetura deste sistema.

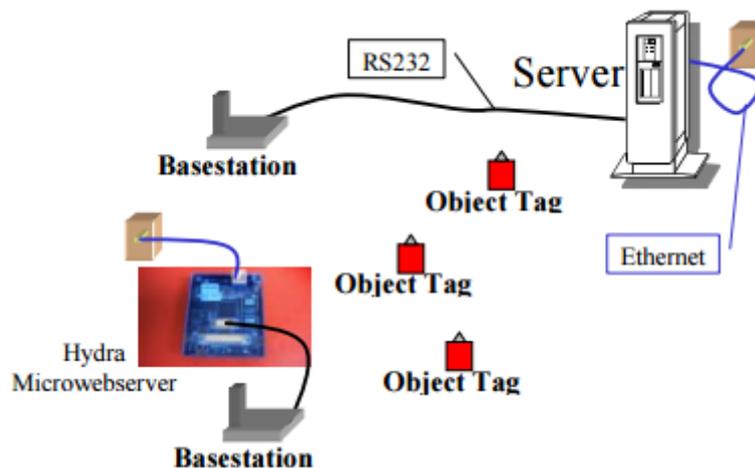


Figura 6 - Arquitetura do Sistema *SpotOn* [27]

Devido às tecnologias associadas, o sistema tem algumas limitações, as medições podem demorar entre dez a vinte segundos, durante esse período de espera a posição não é atualizada. Outra limitação diz respeito às baterias necessárias para alimentar as etiquetas.

A tecnologia RFID é eficiente para ambientes de alta densidade, contudo é necessário a existência de etiquetas colocadas a curtas distâncias umas das outras. Este requisito interfere com as características arquitetónicas dos edifícios. Frequentemente é encontrada esta tecnologia em sistemas de navegação para utilizadores com deficiência

visual, um bom exemplo é o trabalho de Fernandes et. al. onde é utilizada uma bengala para invisuais adaptada com um leitor de etiquetas RFID [28] [29].

### **Bluetooth**

A tecnologia *Bluetooth* opera na banda dos 2.4 GHZ, com um alcance de 15 metros e uma velocidade de transferência na ordem dos 1 Mbps. Atualmente, está presente na generalidade dos dispositivos móveis e com capacidade para suportar serviços de rede, bem como possuir um endereço IP. À semelhança da tecnologia RFID existem as BlueTags, ou seja etiquetas *Bluetooth* [30].

O sistema BLIP [31] fornece a localização dos dispositivos através desta tecnologia. É implementado sobre uma rede *Bluetooth* que é capaz de fornecer acesso a uma LAN e WAN. O sistema requer três componentes (Figura 7): um dispositivo, que vai ser localizado; *BlipNodes*, etiquetas *Bluetooth* que vão estar espalhadas pelo espaço físico; um servidor chamado *BlipServer*, para gerir as etiquetas e executar a aplicação de localização.

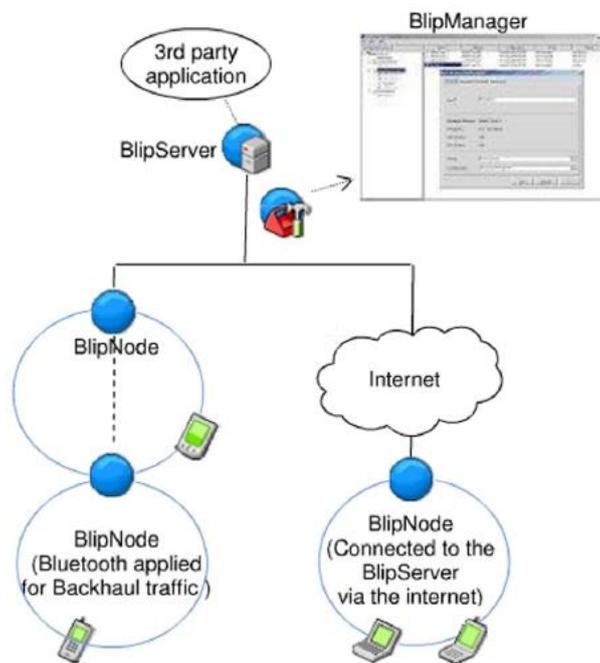


Figura 7 - Componentes do sistema BLIP [6]

Quanto ao seu funcionamento, o *BlipNode* serve como ponto de acesso ao sistema, ao disponibilizar acesso a uma LAN a todos os dispositivos conectados. Esse *BlipNode* vai-se ligar ao *BlipServer*, responsável por toda a lógica do sistema, através dessa

mesma LAN, Internet ou por ligação a outro *BlipNode*. Depois de ligado o *BlipServer* comunica com o serviço que realiza o cálculo da posição e assim informa o dispositivo da sua localização. Pode-se por isso afirmar que um sistema destes requer uma infraestrutura eletrónica permanente. A implementação deste sistema num edifício é uma tarefa complexa, por isso existem custos elevados associados à instalação e manutenção do mesmo.

### **Sistema GPS**

Como já referido o GPS para ambientes interiores não é uma solução viável. Mesmo assim, como tentativa de colmatar essas limitações, o sistema *SnapTrack* foi pioneiro numa tecnologia chamada A-GPS, vulgarmente conhecida como GPS assistido [2].

Esta tecnologia utiliza um servidor de localização ligado a um recetor GPS de referência. Este servidor liga-se aos mesmos satélites que o recetor de GPS móvel e permite estabelecer uma ligação mesmo quando o sinal GPS recebido é fraco.

O dispositivo recetor recolhe assim dados do GPS e da rede móvel que utiliza para se ligar a esse servidor. A combinação destas duas ligações permite obter uma estimativa da posição do dispositivo.

### ***Ultra Wide Band (UWB)***

Os sistemas de localização que utilizam este tipo de rede sem fio apresentam algumas vantagens face às tecnologias apresentadas anteriormente (RFID e *Bluetooth*). O sinal pode ser transmitido simultaneamente em múltiplas frequências e em intervalos de tempo mais curtos. Para além disso, as etiquetas UWB consomem menos energia que as RFID e podem operar sem sofrer ou causar interferências com outros sinais de rádio existentes no mesmo espectro de onda. Os sinais de rádio podem também ser filtrados de modo a determinar se algum sofre do efeito *multipath*. Deste modo, é possível propagar o sinal através de paredes, não sendo necessário uma linha de vista entre os componentes. Com a utilização desta tecnologia é possível obter uma precisão na ordem dos 20 cm, ou seja, um nível bastante elevado [32].

O sistema *Ubisense* [33] é um dos exemplos dos sistemas comerciais [34] que utilizam esta tecnologia, sendo composto pelos sensores, as *tags* a serem localizadas e o software da plataforma. A localização é estimada através das técnicas TDoA e AoA, podendo localizar vários objetos em simultâneo em grandes áreas de ação. Como desvantagem tem os custos de aquisição e instalação que são extremamente elevados.

## WLAN (IEEE 802.11)

É certamente um dos *standards* mais conhecidos em todo o mundo, o protocolo para redes sem fios locais IEEE 802.11 é atualmente o líder nesse campo. Atua nas bandas 2.4 e 5-GHz e tem um alcance médio que varia entre os 50 e os 100 metros, e conta com velocidades de transmissão entre os 65 e 450 Mbps. Normalmente os sistemas baseados na WLAN contam com uma precisão entre os 3 e 30 metros, bem como atualizações em poucos segundos, utilizam como técnica de posicionamento o *RSS-Based*.

Ao nível de sistemas que utilizam a localização por WLAN pode-se destacar o *Ekahau Real Time Location System* [35], um sistema comercial capaz de localizar qualquer equipamento com uma placa de rede *wireless*. A posição é estimada ao fazer uma correlação entre informação espacial e força de sinal quando o aparelho liga a um ponto de acesso *wireless*. Para tal são consideradas as características de propagação do sinal e utilizados modelos matemáticos de probabilidades. Com base na força de sinal da rede *wireless* a posição é calculada. O sistema é composto por diversos componentes, uma aplicação cliente para correr no dispositivo a localizar, um servidor para determinar a posição do cliente, aplicação de gestão e uma outra para criar os mapas a serem usados (Ver Figura 8) [36].

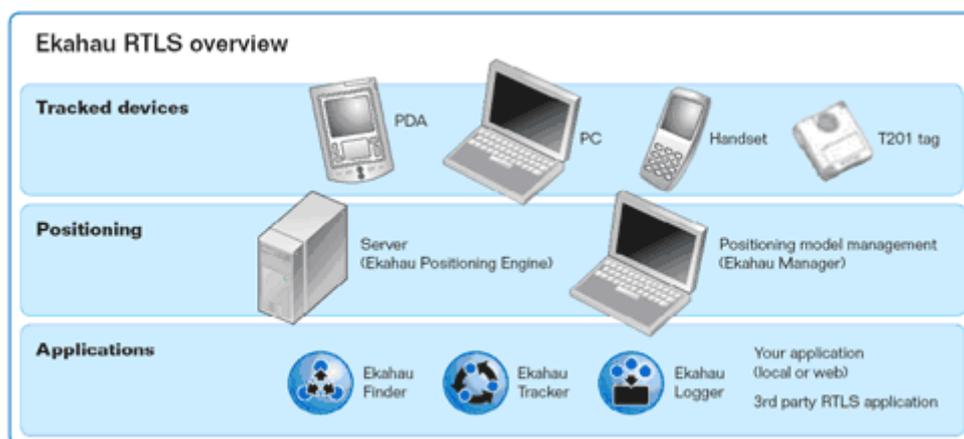


Figura 8 - Ekahau Real Time Location System [37]

Apesar de o *Ekahau Real Time Location System* ser o mais bem-sucedido, não foi o primeiro sistema do género, esse lugar pertence ao *Research Radar* da Microsoft [38]. O *Research Radar* tinha como objetivo atuar com todas as condicionantes implícitas à propagação de sinais rádio, como por exemplo as reflexões, *multipath* e ruído. De modo a resolver esses problemas foi usada a técnica de *fingerprinting*. Como já referido é criado um mapa *offline* com um registo das ondas rádio no meio. Nesse mapa é

armazenada a força do sinal em vários pontos-chave do ambiente. Quando se processa a localização do cliente, compara-se o valor da força de sinal obtido com os registos da base de dados, em seguida utiliza-se novamente métodos matemáticos para comparar as propriedades de propagação do sinal com a infraestrutura, e assim verificar se para o local determinado se registam os valores esperados [38].

Como o WLAN é um dos métodos mais populares, existem outros sistemas como o *AeroScout* e o *Intel Place Lab* que complementam estas técnicas com outras já referidas. Do mesmo modo podem-se também encontrar trabalhos que pretendem eliminar por completo a tarefa de criar o mapa *offline* [39].

### Visão por computador

Para estes sistemas o objetivo é retirar informação do ambiente a partir de imagens que são recolhidas. Os sistemas deste género tentam tirar partido de elementos únicos dos espaços e utilizar várias técnicas de processamento digital de imagem para os identificar. Requerem que o utilizador traga consigo um dispositivo equipado com uma câmara para capturar imagens do ambiente [40].

Enquanto o utilizador percorre o edifício imagens vão sendo recolhidas e comparadas com outras conhecidas, quando a comparação obtiver correspondência com uma imagem existente na base de dados é possível saber a posição atual do utilizador [41].

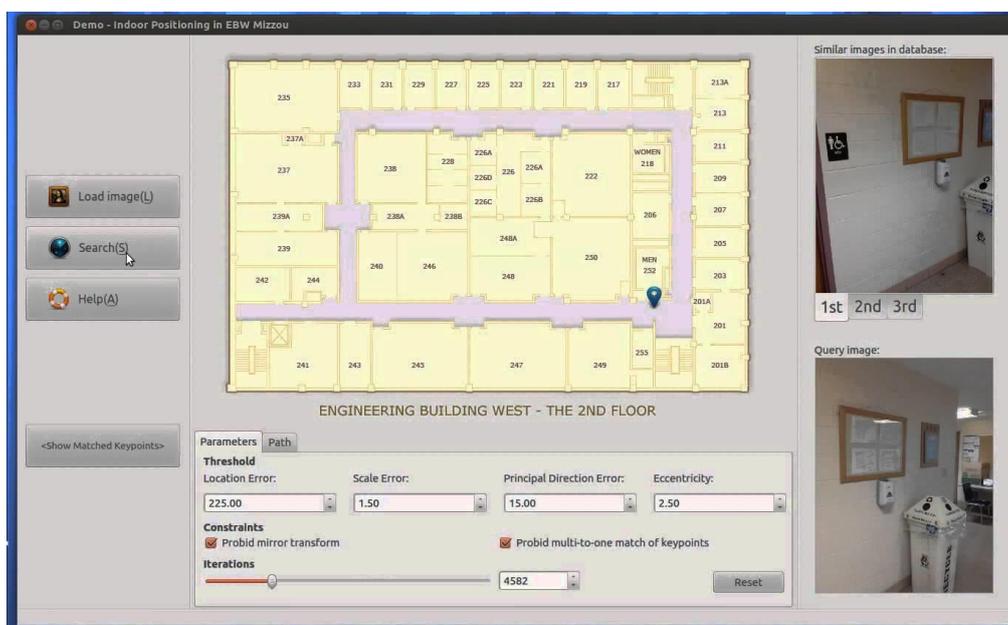


Figura 9 - Demo de um *software* baseado em Visão por Computador

Para isto são necessárias bases de dados com uma grande quantidade de imagens, o que requer uma elevada capacidade de armazenamento e servidores com poder de processamento bastante elevado para processar e comparar as imagens [42]. Implica também um esforço na obtenção de imagens e pontos de referência das mesmas.

### 2.1.6 Resumo de técnicas e sistemas

De um modo geral a Tabela 1 sintetiza as técnicas mencionadas até agora e as diferentes tecnologias que fazem uso das mesmas. Note-se que uma tecnologia não é exclusiva de apenas uma técnica, podendo ser utilizada de formas diferentes.

A combinação das técnicas apresentadas permite a criação de sistemas únicos capazes de responder às principais necessidades dos utilizadores em variadas situações.

**Tabela 1 - Resumo de técnicas e sistemas**

<b>Técnica</b>	<b>Sistemas</b>	<b>Características</b>
<b>Dead Reckoning</b>	Sensores de movimento	+ Independente da estrutura do edifício; - Imprecisão e erros de leitura
<b>Contato Direto</b>	RFID	+ Exatidão;
	Bluetooth	- Implementação difícil e manutenção complexa.
<b>Triangulação</b>	GPS	- Resultados com exatos e precisos
	WLAN	+ Resultados exatos;
	RFID	- Complexidade no cálculo;
	UWB	- Custos elevados
<b>Reconhecimento de Padrões</b>	Visão por Computador	- Localização aproximada com custos elevados de processamento.
	WLAN	+ Método mais comum  - Robustez pode comprometer os resultados

### 2.1.7 Fatores de Seleção

Conforme foi possível constatar existem diversas soluções tecnológicas que podem ser utilizadas para implementar um sistema de navegação para o interior de edifícios.

Sendo a localização o ponto inicial de um sistema deste género é também o mais importante. Estabelecendo um paralelismo com o mundo exterior, o GPS é capaz de

fornecer localizações precisas a um custo reduzido, porém para o interior dos edifícios não é aconselhável utilizar apenas a precisão do sistema como forma de medir o seu desempenho. De acordo com Liu et. al. deve-se ter em consideração certos fatores para a escolha da tecnologia de localização a adotar [2].

### **Exatidão**

Este critério reflete a diferença entre a posição real do utilizador e a posição estimada pelo sistema. A exatidão, devido à proximidade entre as diferentes divisões do edifício, é bastante importante em sistemas de localização interior. Enquanto no ambiente exterior uma diferença de alguns metros é aceitável e permite ao utilizador determinar onde se encontra, no interior de um edifício, uma diferença de alguns metros pode induzir o utilizador em erro.

### **Precisão**

A precisão ou fidedignidade refere-se ao nível de diferenças registadas entre cálculos de posição iguais. Ou seja, se o sistema for preciso, todos os utilizadores que calculem a sua posição num determinado ponto vão obter sempre o mesmo resultado, ou valores muito aproximados. Por exemplo, é possível afirmar que um dado sistema tem 90% de precisão para um raio inferior a 5m. Ou seja, nove em cada dez leituras vão ter uma exatidão, diferença entre posição real e verdadeira, inferior à distância de cinco metros.

### **Complexidade**

Os requisitos necessários para os sistemas funcionarem podem ser vários. Como foi referido, um sistema baseado em visão por computador necessita de elevados requisitos de *hardware* para poder funcionar. Outros necessitam de *software* mais avançado para realizar todos as estimativas inerentes ao cálculo da posição do utilizador.

Tem que se considerar ainda a forma como a comunicação entre a parte do sistema que realiza os cálculos e o periférico usado pelo utilizador. A comunicação pode ser demasiado lenta, e caso o processamento seja local, realizado no dispositivo usado pelo utilizador, é preciso considerar a performance do mesmo.

### **Usabilidade**

Na maioria dos casos é necessário o utilizador trazer consigo um periférico de modo a interagir com o sistema e obter a sua localização. Por isso, importa saber se o mesmo

não provoca constrangimentos desnecessários ao utilizador, o que pode tornar a navegação pouco cómoda e prática.

### **Escala**

O sistema deve ser capaz de funcionar corretamente quando a sua área de cobertura aumenta. Esse aumento pode ser em termos geográficos ou em termos de densidade. O primeiro implica que o sistema funcione em novas zonas do edifício, o segundo que mais utilizadores tenham acesso ao sistema.

### **Robustez**

Refere-se à capacidade do sistema funcionar normalmente em condições não esperadas, como por exemplo: o sinal foi bloqueado pela infraestrutura ou indisponibilidade temporária de um componente do sistema.

Algumas técnicas asseguram a continuidade do serviço, mesmo que o façam ao fornecer dados incompletos.

### **Custos**

Existem diversas variáveis a ter e conta, o primeiro será o preço dos componentes a utilizar, bem como todo o *hardware* necessário. O tempo despendido a instalar o sistema também deve ser tido em consideração.

A Tabela 2 apresenta uma visão resumida das técnicas e sistemas apresentados anteriormente, bem como, sua classificação mediante os critérios agora discutidos.

**Tabela 2 - Classificação das técnicas e sistemas apresentados (adaptado de [2])**

<b>Técnica</b>	<b>Sistemas</b>	<b>Exatidão</b>	<b>Precisão</b>	<b>Complexidade</b>	<b>Escala</b>	<b>Usabilidade</b>	<b>Robustez</b>	<b>Custo</b>
<b>Dead Reckoning</b>	Sensores de movimento	Variável	N/A	Baixa	Boa	Boa	Baixa	Baixa
<b>Contato Direto</b>	RFID (LandMark)	2m	50% / 1m	Média	Média	Média	Baixa	Média
	Bluetooth (BLIP)	10cm - 10m	N/A	Média	Boa	Média	Baixa	Médio
<b>Triangulação</b>	GPS (SnapTrack)	5m-50m	50% / 25m	Média	Boa	Média	Baixa	Médio
	WLAN (Ekahau)	1m	50% / 2m	Média	Boa	Boa	Boa	Baixo
	RFID (SpotON)	Variável	N/A	Média	Média	Média	Boa	Baixo
	UWB (Ubisense)	15 cm	99% / 30cm	Média	Boa	Média	Baixa	Alto

<b>Reconhecimento de Padrões</b>	Visão por Computador	Variável	N/A	Média	Média	Boa	Baixa	Médio
	WLAN (MS Radar)	3-5m	90% / 6m	Média	Boa	Média	Média	Baixo

## 2.2 Planeamento de Rotas

Um sistema de navegação para além de indicar ao utilizador a sua localização atual deve também, facultar direções para um destino à sua escolha. À semelhança dos sistemas de navegação existentes para o exterior, é esperado que o sistema indique uma rota fácil de seguir e adaptada às necessidades do utilizador, que seja atualizada de acordo com a progressão realizada, e que seja capaz de gerar uma rota nova sempre que o utilizador segue por um caminho errado. Este tipo de funcionalidades já podem ser encontradas em alguns sistemas orientados para pessoas invisuais [43] [44], que têm em consideração a rota que apresenta um menor número de obstáculos e para guias turístico [45], onde as rotas geradas têm em consideração os pontos de interesse do recinto.

Atualmente, as técnicas usadas no planeamento de rotas seguem duas abordagens distintas, sendo elas a representação do ambiente sob a forma de grafos ou grelhas.

### Grafos

A representação sob a forma de grafos é bastante simples, no grafo um nó corresponde a um local distinto, ou ponto de interesse. Dois nós podem ser ligados através de uma aresta, caso exista um caminho que permita a deslocação entre esses dois pontos, este conceito é demonstrado na Figura 10.

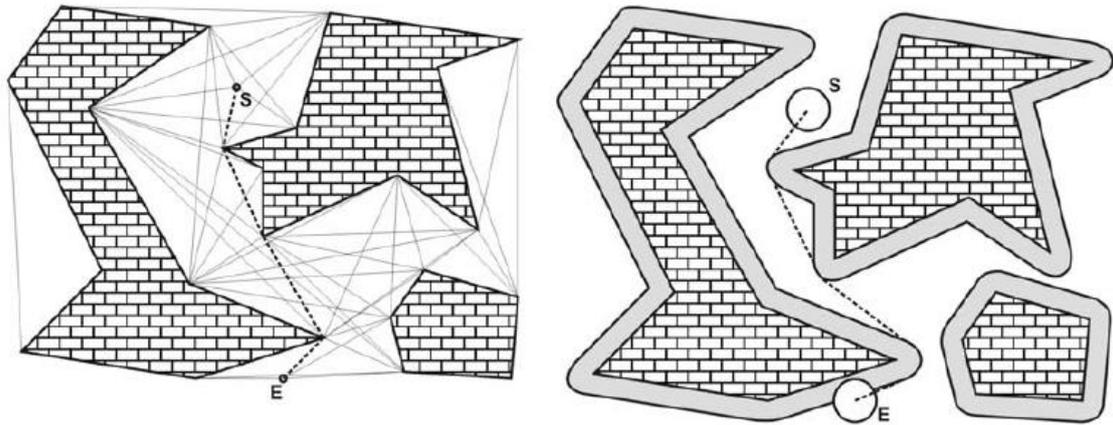


Figura 10 – Representação de rotas sob a forma de grafos [46]

Deste modo são uma solução eficaz para o planeamento de rotas e localização em ambientes com grande dimensão [47]. A Figura 10 representa também duas abordagens possíveis para a construção deste tipo de mapas, a primeira onde as arestas são predefinidas através da criação de uma topologia entre os diversos pontos, e uma outra, onde o caminho é construído dinamicamente ao evitar os obstáculos existentes na área.

O peso que pode ser associado a essas arestas é também bastante importante para geração de rotas personalizadas às necessidades do utilizador, podendo ser atribuído, por exemplo, um peso maior a arestas que contenham escadas, e assim privilegiar percursos mais acessíveis para pessoas com mobilidade reduzida [48].

### **Grelha**

Os mapas sob a forma de grelha permitem uma representação mais precisa e real do ambiente. A área é dividida em pequenas partes, células, onde cada elemento pode conter vários objetos (obstáculos, pontos de interesse) ou encontrar-se livre (ver Figura 11).

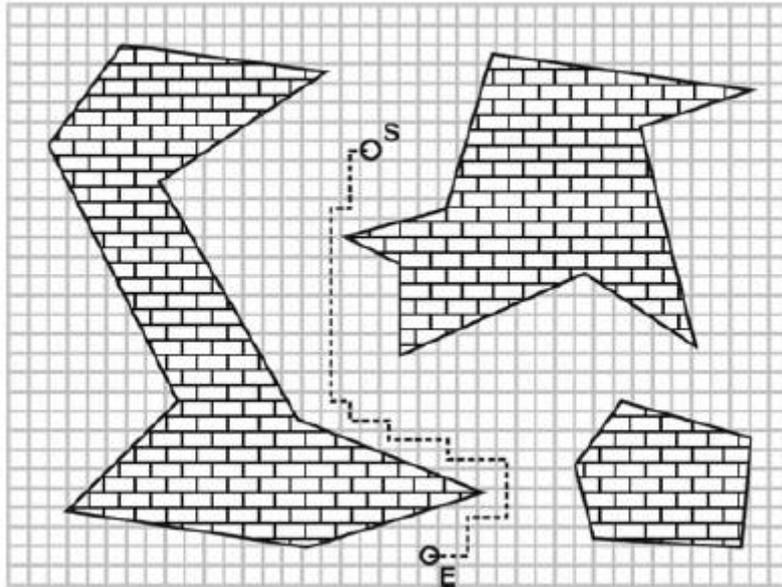


Figura 11 - Representação sob a forma de grelha [46]

Deste modo para o mapa ser preciso e evitar o sobre posicionamento de vários pontos de interesse na mesma célula, é necessário que estas sejam de pequenas dimensões. O elevado número de células exige um aumento do poder computacional necessário para o cálculo das rotas. [8] [46] [47]

Por fim, os atuais sistemas de navegação, independentemente do tipo de mapa, utilizam na sua generalidade os algoritmos de Dijkstra [49] ou A\* [50] para realizar o cálculo das rotas a seguir [8] [46] [51].

### 2.3 Códigos de Barras

Atualmente existem vários tipos de códigos de barras. Estes podem ser divididos em dois grandes grupos, os códigos lineares ou 1D e os de matriz ou 2D.

Os primeiros caracterizam-se pela quantidade de informação reduzida que contêm e pelo tipo de informação da mesma, podendo ser apenas do tipo numérico e alfanumérico. O seu propósito é a rotulação de objetos e indexação, sendo por isso bastante utilizados em produtos disponíveis na venda a retalho.

Em comparação, os códigos 2D podem conter uma quantidade de informação muitíssimo superior, sendo que essa é suportada também no formato binário. O seu propósito também é outro, divergindo da rotulação de objetos, procuram fornecer informação associada aos mesmos.

Deste tipo de códigos destacam-se os *QR Codes (Quick Response Codes)*, por terem uma maior capacidade e leitura mais rápida em relação aos restantes. A Tabela 3 apresenta uma comparação entre alguns dos mais importantes códigos de barras 2D.

Tabela 3 - Capacidade, características e standards dos mais importantes códigos de barras 2D [52]

	<b>QR Code</b>	<b>PDF147</b>	<b>DataMatrix</b>	<b>Maxi Code</b>
<b>Criador</b>	DENSO (Japão)	<i>Symbol Technologies</i> (EUA)	RVSI Acuity CiMatrix (EUA)	UPS (EUA)
<b>Numérico</b>	7.089	2.710	3.116	138
<b>Alfanumérico</b>	4.296	1.850	2.355	93
<b>Binário</b>	2.953	1.018	1.556	
<b>Kanji</b>	1.817	554	778	
<b>Características</b>	Grande capacidade Leitura de alta velocidade Tamanho pequeno de impressão	Grande capacidade	Tamanho pequeno de impressão	Leitura de alta velocidade
<b>Standarts</b>	AIM International JIS ISO	AIM International ISO	AIM International JIS ISO	AIM International JIS ISO

Os *QR Codes* são usados para permitir acesso a informação extra nos mais variados contextos, bastando a sua captura em formato imagem.

Foram criados no Japão em 1994 pela *Denso-Wave*, empresa subsidiária do grupo *Toyota*, para controlar o inventário de peças automóveis, mas rapidamente começaram a ser utilizados para outros fins. Os mesmos estão protegidos por patente, mas esta não é exercida.

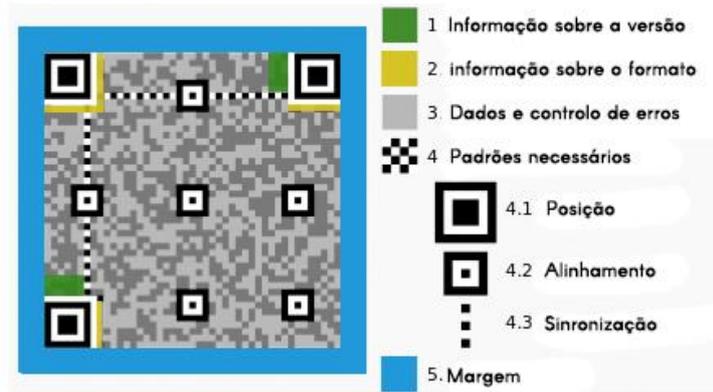


Figura 12 - Estrutura de um *QR Code* (adaptado de [53])

Cada *QR Code* consiste numa área de dados e padrões funcionais. Esses padrões são de posição, alinhamento e de sincronização (ver Figura 12). Os de posição encontram-se nos cantos e permitem determinar a orientação, tamanho e inclinação do mesmo [54].

A sua capacidade de dados é bastante elevada podendo conter 7 089 caracteres numéricos, 4 296 alfanuméricos e 2 953 bytes de informação binária. Para além disso a informação pode ser recuperada, sendo possível a leitura do código caso este se encontre danificado. Existem quatro níveis de recuperação possíveis, sendo eles de 7, 15, 25 e 30 por cento da informação contida, tendo em conta que quanto maior for esse nível a quantidade máxima de informação contida decresce [55].

No processo de leitura os cantos são marcados e estimados, para a informação poder ser decodificada. Primeiramente o algoritmo de leitura faz a deteção dos contornos, deteção da forma, identificação da barra de controlo, identificação da orientação, dimensão e densidade dos bits e por último calcula o valor do mesmo. Atualmente qualquer *smartphone* equipado com câmara pode fazer leitura de *QR Codes*, necessitando apenas de *software* adequado. Para a criação desses programas de leitura existem vários *Software Development Kits*, como por exemplo o *Google ZXing* que se encontra disponível num vasto leque de linguagens de programação [54].

A criação de códigos contendo informação básica como endereços para *sites* web, textos simples e números de telefone é uma prática bastante comum.



Figura 13 - Exemplo da utilização de *QR Codes* [56]

Na Figura 13 é possível observar um exemplo da utilidade prática dos *QR Codes*, estes são utilizados nas placas de identificação do jardim botânico da UTAD para fornecer informação adicional ao visitante.

Pelo exposto, os *QR Codes* podem ser considerados como uma excelente alternativa aos sistemas de contacto direto apresentados na secção 2.1.2.



# CAP 3

## 3 Metodologia

No capítulo anterior foram apresentadas as principais técnicas utilizadas para determinar a posição de objetos e planear rotas no interior de edifícios, capazes de serem adaptáveis ao contexto do utilizador. Estes são as principais problemáticas que o sistema necessita resolver. O presente serve para detalhar a abordagem seguida na criação do sistema de navegação, tendo em conta os seguintes requisitos:

- Desenvolver um sistema adaptado a utilizadores com mobilidade reduzida, capaz de disponibilizar rotas diferenciadas e uma utilização simples (boa usabilidade);
- Possibilidade de ser implementado em vários edifícios com o menor custo monetário possível.

A satisfação destes requisitos implica o desenvolvimento de um sistema com dois tipos de intervenientes distintos.

- Utilizador de *back-office*, responsável por:
  - a. Criar os mapas do interior dos edifícios a utilizar na aplicação;
  - b. Definir os caminhos possíveis de percorrer sobre esses mapas;
  - c. Implementar todos os elementos necessários à localização e navegação no edifício.
- Utilizador final, que tem como necessidades:
  - a. Utilizar o sistema para determinar em que ponto se encontra no edifício;
  - b. Obter direções para um destino à sua escolha;
  - c. Ajustar o sistema para responder adequadamente às suas necessidades de mobilidade.

Tendo em conta as tecnologias apresentadas na Tabela 2 e os requisitos de custos e usabilidade apresentados, a solução escolhida para o posicionamento foi a técnica de *Dead Reckoning* juntamente com a de “Contacto Direto” para determinar a posição inicial. Para a navegação, uma vez que a rota precisa de ser adaptável, todos os caminhos serão carregados sob a forma de grafos para assim facilitar a gestão das mesmas. O sistema resultante é complexo, a Figura 14 apresenta a visão global do sistema proposto para facilitar a compreensão dos diversos componentes que o integram.

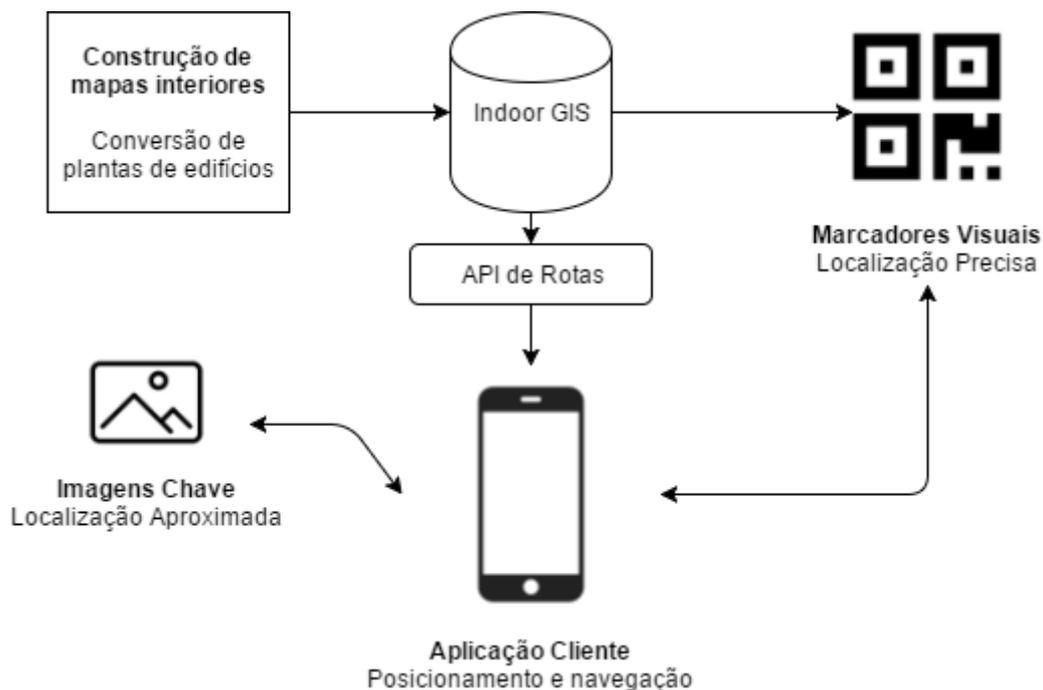


Figura 14 - Visão geral do sistema proposto

A solução segue uma lógica aplicacional de cliente-servidor. O servidor, um sistema de informação geográfica (*Indoor GIS*), acessível através da internet, armazena e disponibiliza dados dos edifícios e rotas disponíveis. Esses dados são provenientes de ferramentas de conversão de plantas desenvolvidas para o efeito. Uma aplicação instalada num dispositivo móvel é o cliente desse servidor, é responsável por fornecer a localização e rotas necessárias à navegação do utilizador. A aplicação cliente obtém a localização precisa do utilizador através da leitura de marcadores visuais (*QR Codes*), para além disso, disponibiliza também um conjunto de imagens-chave capazes de validar rotas e fornecer localizações aproximadas ao utilizador.

### 3.1 Mapas do interior de edifícios

Para qualquer sistema de navegação os mapas são sempre o ponto de partida. Sem um mapa o utilizador não sabe em que posição se encontra e muito menos consegue navegar para algum lado.

Na navegação por GPS indica-se ao sistema de navegação uma localidade ou ponto de destino e o mesmo, com base nos mapas que tem ao seu dispor, gera uma rota que permite satisfazer essa necessidade.

Deste modo, para o mesmo princípio ser aplicado à navegação interior é necessário mapear as divisões dos edifícios. Como a generalidade das construções possui uma planta, em formato digital ou físico, é essa a base de trabalho.

Neste trabalho o edifício utilizado como caso de estudo possui uma planta apenas disponível como ficheiro de imagem. Esses ficheiros são o resultado da digitalização dos originais em papel. Por esse motivo, os principais desafios que se encontram para a criação de mapas digitais a partir das imagens são:

- Converter as imagens num formato passível de ser manipulado, armazenado e gerido no sistema de GIS a desenvolver;
- Encontrar ferramentas *open-source* ou gratuitas que permitam criar os mapas do edifício, reduzindo assim o custo;
- O mapa criado deve estar georreferenciado de modo a garantir que reflete as dimensões reais do edifício que respeita a orientação do mesmo.

A solução para estes desafios foi encontrada na ferramenta de edição de mapas do projeto *Open Street Maps* (OSM). Esse *software* chama-se JOSM [57], um programa em Java e que por isso é multiplataforma. O OSM é a principal plataforma colaborativa para dados geográficos, esta recebe contributos de uma comunidade de voluntários que mantêm atualizados dados sobre estradas, edifícios e outros elementos existentes no mundo exterior. As informações contidas nessa plataforma são públicas e estão disponíveis sob a licença *Open Data Commons Open Database License* [58].

Quanto à ferramenta JOSM destacam-se as seguintes características:

- A comunidade que a desenvolve, e nível de documentação existente;
- O número elevado de *plugins* existentes, que permitem acrescentar funcionalidades ao programa base;

- O esquema livre de etiquetas que se podem atribuir aos objetos criados no programa, podendo assim criar uma nomenclatura própria para os nomes a atribuir aos elementos do edifício;
- O formato que o programa utiliza para guardar o trabalho desenvolvido. Para além de ter a vantagem de não ser obrigatório enviar para a plataforma os mapas criados, é possível guardar os mesmos em XML.

Como desvantagem pode ser referido que o programa se encontra orientado para criação de mapas exteriores. Por causa disso ainda não existe uma forma *standard* para criar os mapas interiores nessa ferramenta, nem um esquema de etiquetas pré-definidas. Deste modo, pode-se criar o mapa completo de um edifício que o mesmo não será devidamente reconhecido por *softwares* GIS, pelo menos de forma direta e explícita.

Apesar disso, na documentação criada pela comunidade da ferramenta, podem-se encontrar propostas para a criação de esquema de etiquetas das plantas [59]. Nenhuma delas é final e nem vinculativa para quem quiser utilizar o *software* com este fim. A documentação disponível fornece um conhecimento valioso sobre o funcionamento do programa e das suas funcionalidades.

### **Criação dos Mapas com o JOSM**

Com base no conhecimento adquirido foi possível estruturar um método capaz de criar mapas interiores a partir da imagem da planta do edifício, composto pelas seguintes fases:

#### **1. Localização do edifício a mapear**

Na ferramenta JOSM seleciona-se a área onde o edifício a mapear se encontra (Ver Figura 15).

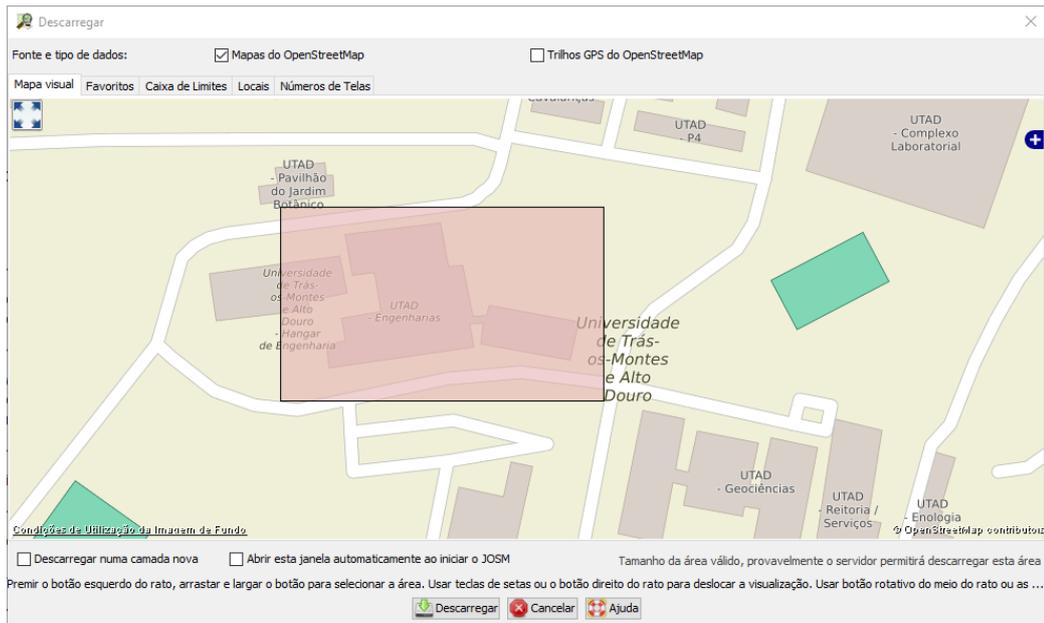


Figura 15 - Área do edifício a mapear

Esta seleção permite ao programa estabelecer a área de trabalho e descarregar toda a informação geográfica que possa existir na plataforma, o resultado obtido pode ser observado na Figura 16.

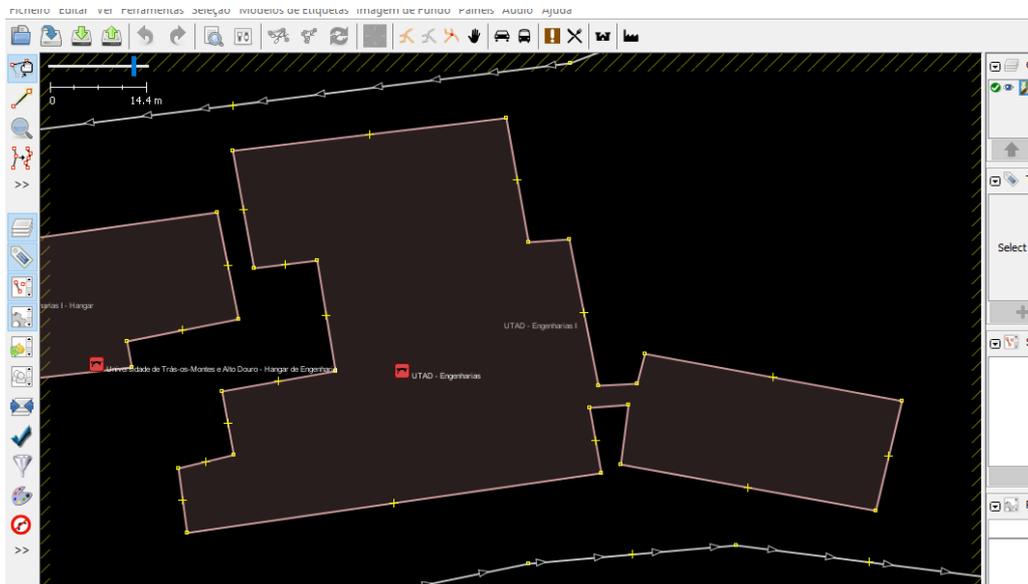


Figura 16 – Camada OSM com informação do edifício a mapear

## 2. Desenhar os limites do edifício



Figura 17 - Contornos do edifício

Estando a área do edifício circunscrita é necessário delinear os contornos do mesmo. Este processo, representado na Figura 17, é possível com o recurso a imagens de satélite da área do edifício. Esta operação deve ser o mais cuidadosa possível para que não sejam introduzidos erros no sistema.

### 3. Delinear divisões

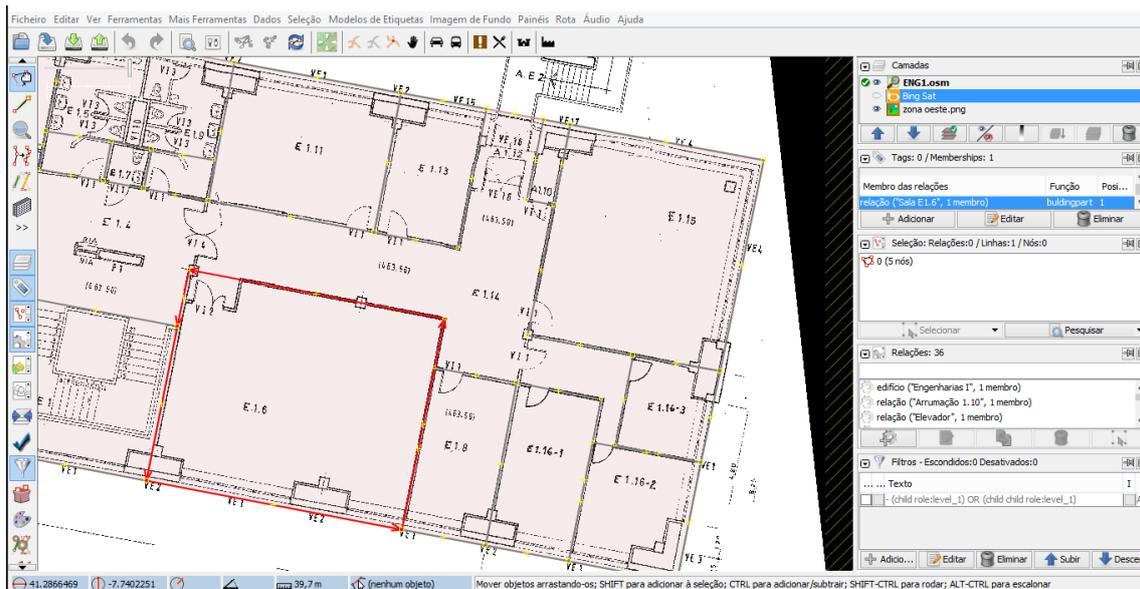


Figura 18 - Desenho das salas

Através da sobreposição da imagem da planta e alinhamento da mesma ao edifício delineado é possível desenhar todas as divisórias interiores existentes. Com base nessa sobreposição é possível obter a representação real da infraestrutura do edifício no mapa, estando esta devidamente georreferenciada. Esta ação é demonstrada na Figura 18, onde é possível observar as diversas divisões do edifício.

#### **4. Catalogar salas e corredores**

De maneira a representar a infraestrutura do edifício, as divisões são organizadas de acordo com os vários pisos e atribuídas etiquetas que seguem o esquema adaptado de [60]:

- Name – nome da divisão ou sala;
- Level – piso do edifício onde se encontra;
- Ref – referencia interna da sala (ex. F1.20);
- Bpart – descreve a divisão de acordo com o seu tipo e funcionalidade (sala, escritório, wc:normal, wc:adaptado, armazém, passagem vertical);
- Verp – no caso de se tratar de uma passagem vertical este campo poderá corresponder a escadas ou elevadores.

Deste modo as etiquetas são utilizadas para identificar todas as divisões de acordo com o seu tipo ou funcionalidade. Permitem também fazer a distinção entre escadas e elevadores.

Também é necessário criar um caminho, como uma sequência de pontos, para cada corredor dos diversos pisos do edifício. Estabelecendo uma comparação com o mundo exterior, podemos considerar as divisões como sendo edifícios e estes caminhos como as estradas que os interligam. O caminho tem como requisito conectar todas as divisões existentes num piso e a atribuição de uma etiqueta que o identifique com o número do piso correspondente.

Em seguida é necessário implementar formas de gerir a informação criada de maneira correta e apropriada. Por isso é necessário desenvolver um *Indoor GIS* de forma a carregar estes mapas em bases de dados e a partir daí desenvolver as aplicações pretendidas.

### **3.2 Indoor GIS**

De forma a possuir um sistema capaz de gerir e facultar a informação espacial e geográfica, é necessário: uma base de dados dedicada e um servidor capaz de fornecer dados à aplicação cliente. De forma a gerir os processos necessários ao carregamento e manutenção da informação na base de dados foi desenvolvida uma aplicação de gestão. A essa aplicação foi dado o nome de OSMc (Ver Figura 19).

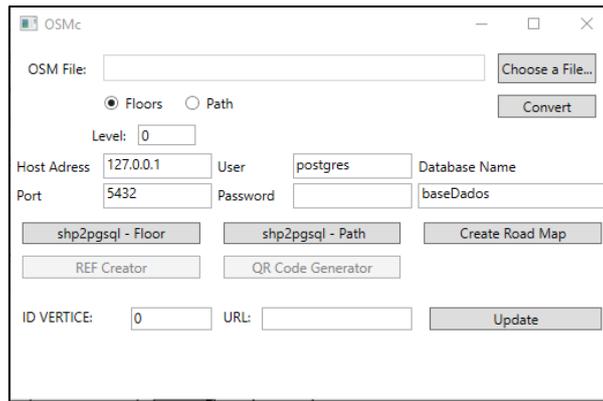


Figura 19 - Visão geral da aplicação OSMc

Para motor de base de dados foi escolhido o *PostgreSQL* com a extensão *PostGIS*. Para fornecer os mapas à aplicação cliente é utilizado uma instância do programa de servidor *GeoServer*, sendo que para as rotas foi desenvolvida uma API própria para o efeito. A Figura 20 oferece uma visão geral dos componentes que integram o *Indoor GIS* e como este se liga à aplicação cliente.

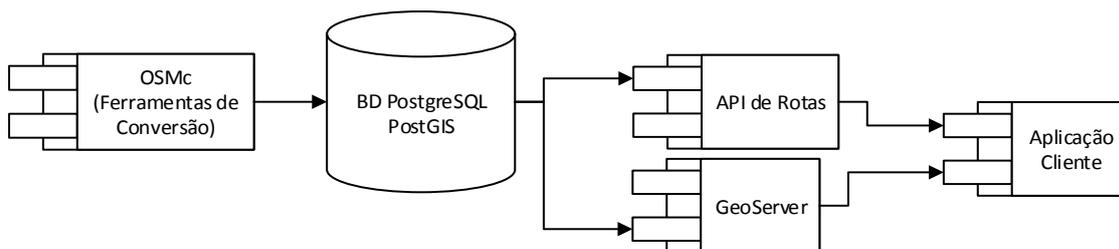


Figura 20 - Visão geral do Indoor GIS

### 3.2.1 *PostGIS*

O *PostgreSQL* é uma base de dados *opensource* orientada a objetos (ORDBMS). Para além das suas capacidades de processamento excepcionais, pode ser facilmente integrada em aplicações desenvolvidas em diversas linguagens como por exemplo Python ou C#. A este motor de base de dados podem ser acrescentadas funcionalidades através de extensões. Uma dessas extensões é o *PostGIS*, que adiciona funcionalidades no campo do processamento de informações espaciais e geográficas [61]. Deste modo, a base de dados é capaz de armazenar e realizar *queries* a mapas e localizações. Por estes motivos, o *PostGIS*, é a escolha natural para quem pretende trabalhar esse tipo de informações num ambiente de base de dados. Para além disso, possui também um módulo, o *pgRouting*, que com base nos dados geoespaciais permite a geração automática de rotas através de uma simples *query*.

## Armazenamento de mapas e caminhos na base de dados

Não é possível armazenar diretamente a informação presente no ficheiro XML gerado pela ferramenta JOSM (ficheiro de extensão .OSM) na base de dados. Para realizar tal tarefa foi desenvolvida uma ferramenta de conversão na linguagem de programação Python, que oferece bibliotecas sólidas e eficazes para criação e edição de *shapefiles* (*Shapefile Converter* em Figura 22). Esse programa é capaz de interpretar os ficheiros base (XML) e criar polígonos (divisões interiores) e linhas (caminhos), e em seguida guardar a informação existente nas etiquetas associadas numa camada de duas dimensões GIS (2D GIS *layer*), conhecida como *Shapefile*.

O formato de ficheiros *shapefile* contém um vetor de dados geoespaciais para as ferramentas GIS. Neste tipo de formato podem-se armazenar pontos, linhas e polígonos que podem ser facilmente carregados em bases de dados próprias para o efeito. Este tipo de formato é composto por três ficheiros obrigatórios [62]:

- .shp - Ficheiro principal: de acesso direto e tamanho variável onde cada registo descreve uma forma através de uma lista de vértices.
- .shx - Ficheiro de *Index*: Neste ficheiro, cada linha contém os limites do registo correspondente no ficheiro principal.
- .dbf - Ficheiro de tabela dBASE: Contém as principais características e atributos dos registos (informação complementar às formas geométricas).

O formato *shapefile* permite armazenar a geometria de cada divisão e as etiquetas criadas anteriormente. A base de dados *PostgreSQL* possui também uma ferramenta de nome *shp2pgsql* para a importação de ficheiros neste formato. Esse programa transforma os ficheiros *shapefile* em código SQL capaz de ser interpretado pela base de dados. A Figura 21 demonstra o processo de conversão que ocorre para que a informação de um edifício seja inserida na base de dados.

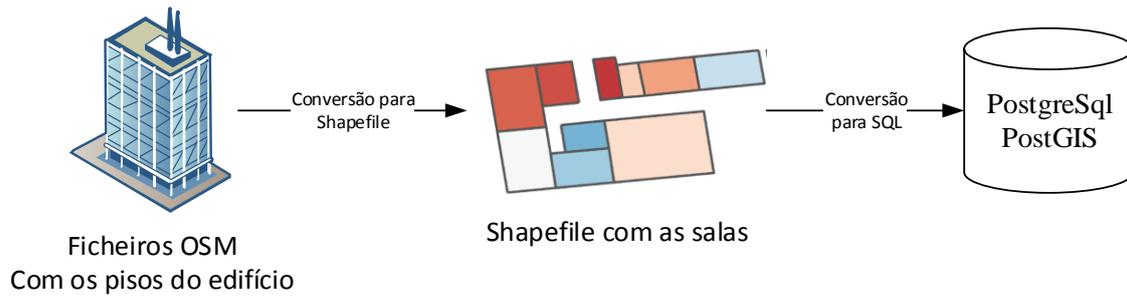


Figura 21 - Conversão e inserção de divisões na base de dados

A Figura 22 representa de forma mais detalhada quais as conversões necessárias e o envolvimento das ferramentas mencionadas anteriormente.

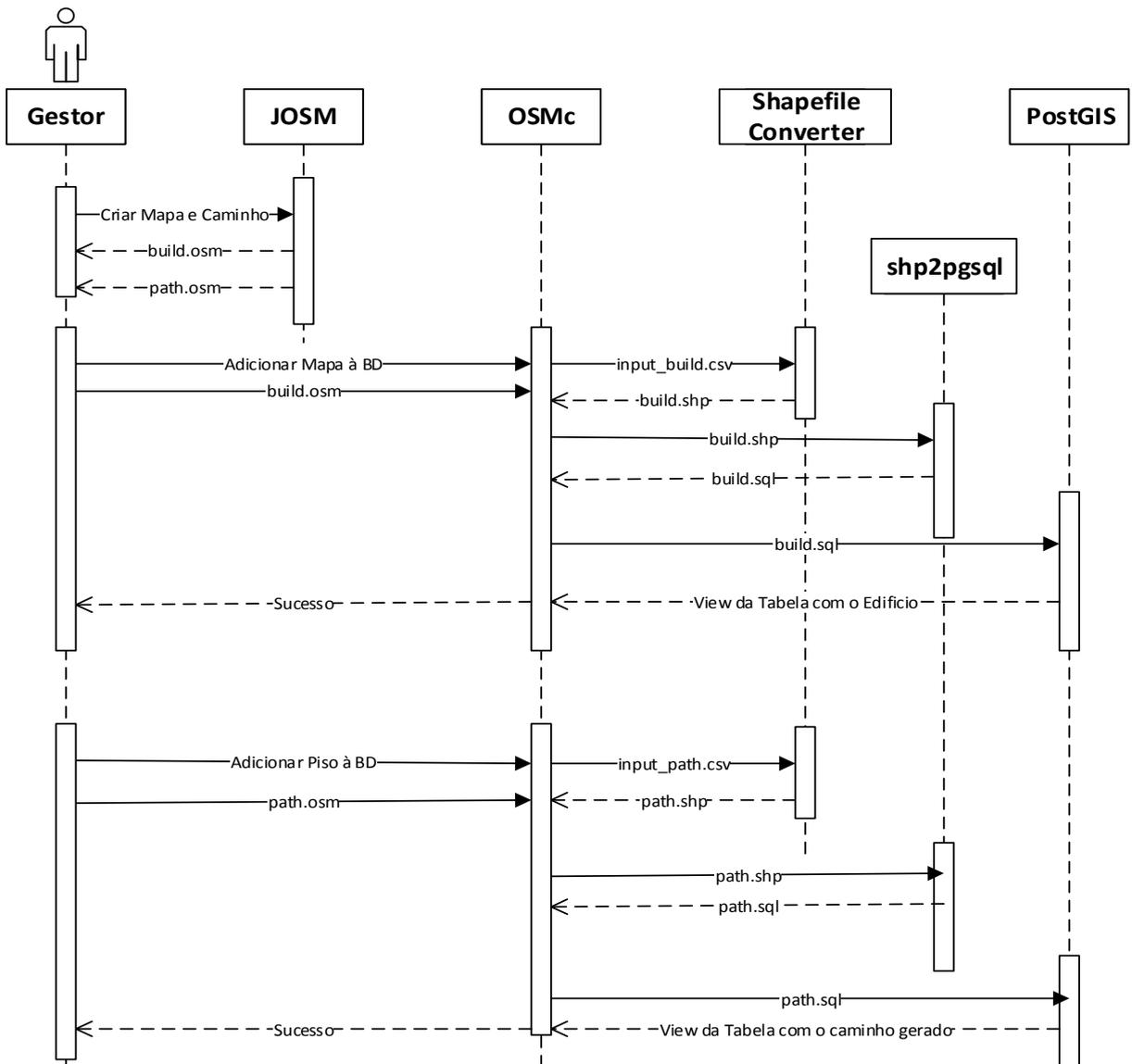


Figura 22 - Conversão e adição de mapas à base de dados

Depois de adicionar todas as divisões e caminhos à base de dados é necessário criar as rotas que a aplicação cliente vai utilizar para a navegação. Como é possível constatar através da Figura 22, na base de dados é também carregada informação relativa aos corredores do edifício. Na Figura 23 pode-se observar o exemplo de um corredor e constatar que o caminho é formado por um conjunto de segmentos de reta, para o cálculo das rotas é essencial criar uma topologia de rede a partir desses segmentos.

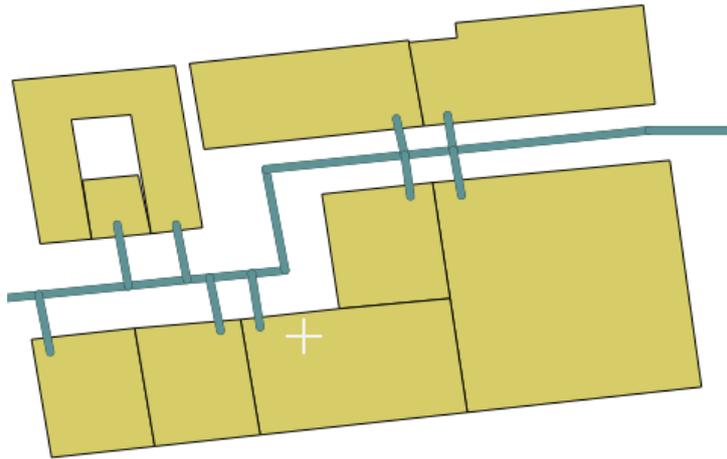


Figura 23 - Corredor de um edifício

A tipologia de rede é gerada pelo *plugin pgRouting*, que como já referido em 3.2.1, estende as funcionalidades da base de dados ao nível de rotas geoespaciais e outro tipo de análises de redes [63]. Para cada segmento de reta do caminho os extremos vão ser ligados a um único ponto, todos os extremos que se sobreponham ficam associados a esse ponto.

Para criar a topologia executa-se, através do programa OSMc, *queries SQL* que adicionam à base de dados tabelas novas com pontos únicos e que acrescentam às tabelas dos caminhos, informação sobre a sua topologia (ponto inicial, ponto final e custo associado), este processo é demonstrado na Figura 24 e o resultado final, um grafo correspondente aos corredores do edifício que pode ser observado na Figura 25.

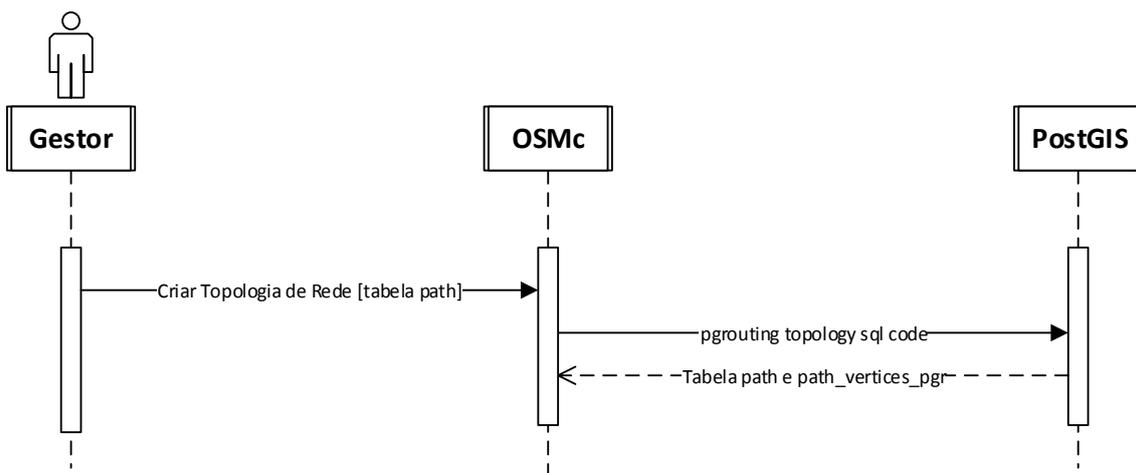


Figura 24 - Criação de topologia de rede/gráfico

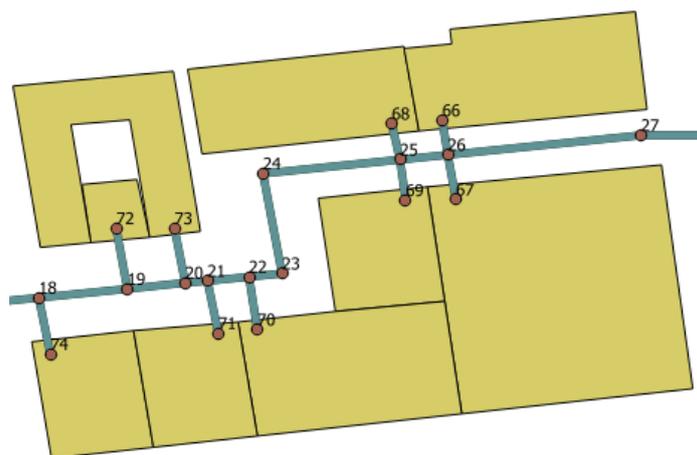


Figura 25 - Exemplo de planta e grafo associado

Após a criação da topologia de rede a base de dados ganha a capacidade para gerar rotas entre qualquer ponto existente do edifício, no entanto, para se tirar partido dessa capacidade no sistema de navegação é necessário identificar quais desses pontos são do interesse dos utilizadores. De um modo genérico pode-se assumir como pontos de interesse todas as entradas para as divisões existentes no edifício, assim sendo o OSMc possibilita, através da execução de uma ferramenta desenvolvida para o efeito (Ref Editor), a identificação automática de todos esses pontos (ver Figura 26).

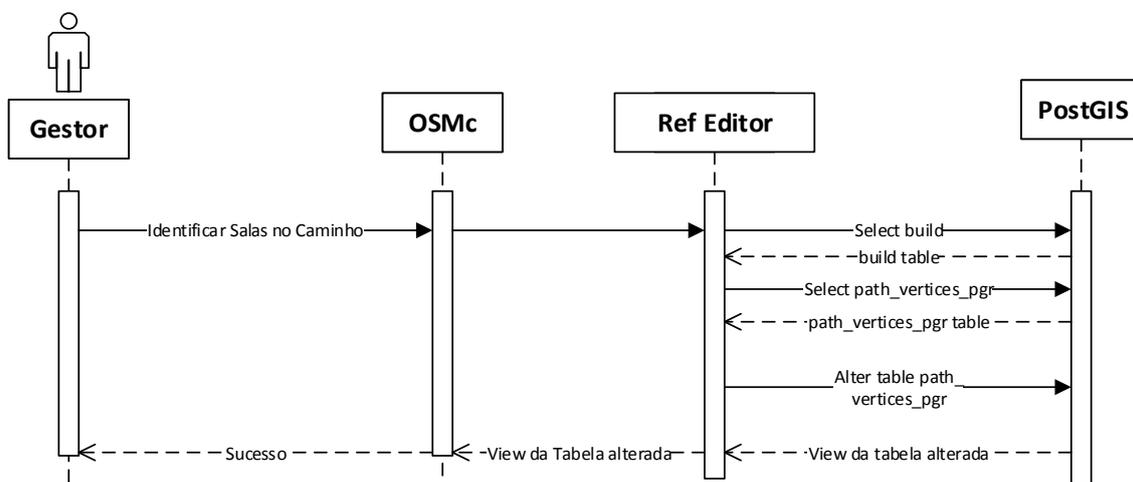


Figura 26 - Identificação de salas no caminho

O processo de identificação automática do Ref Editor tem por base um princípio simples, o cálculo de sobreposições entre pontos únicos e divisões interiores. O resultado final deste processo é visível na Figura 27.

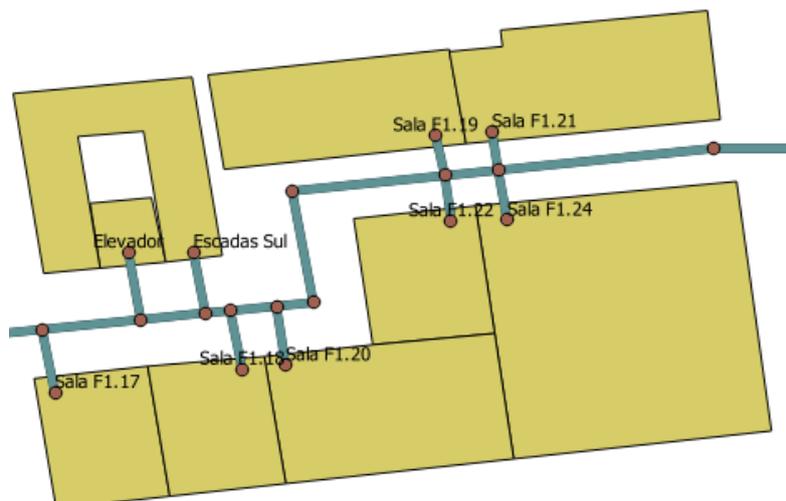


Figura 27 - Identificação de pontos de interesse

### 3.2.2 GeoServer

O software *GeoServer* resume-se a uma implementação em *Java* (J2EE) das especificações “*Feature Server*” e “*Web Coverage Server*” do consórcio *OpenGIS*, com um servidor de mapas web integrado [64]. Conforme referido anteriormente em 3.2 este servidor conecta-se à base de dados *PostGIS* e será responsável por servir os mapas do edifício à aplicação cliente. Para que tal seja possível é necessário que o gestor de *back-office* configure o servidor e que publique as tabelas existentes na base de dados que contêm o edifício e os pontos únicos (ver Figura 28).

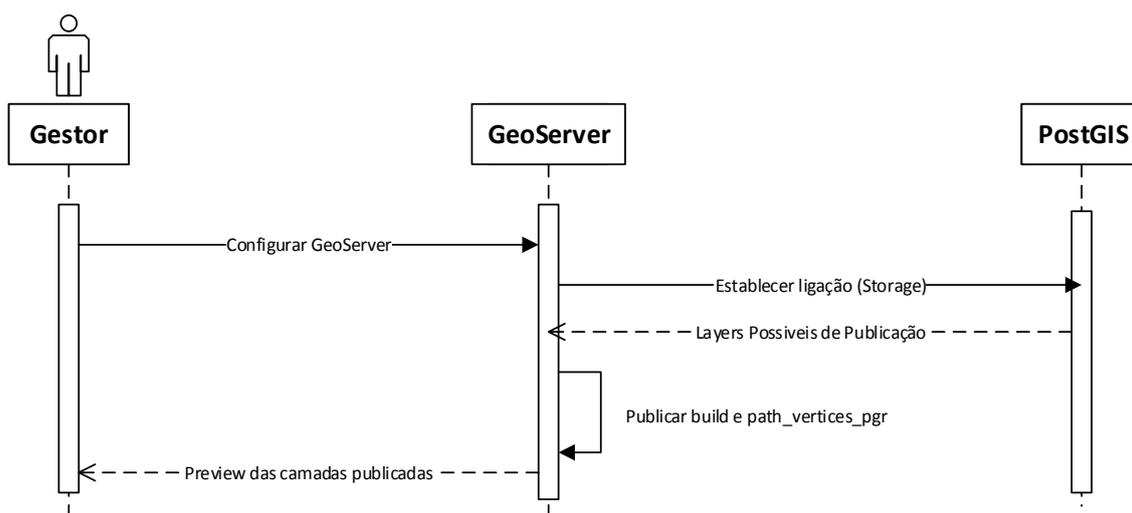


Figura 28 - Configuração do Servidor *GeoServer*

O servidor é capaz de fornecer os dados das tabelas em diversos formatos, incluindo o formato *GeoJSON*. Este formato resume-se às características geoespaciais dos objetos e atributos não espaciais sob a notação JSON. O resultado final é um ficheiro bastante leve e de fácil interpretação por parte da aplicação cliente.

### 3.2.3 API de Rotas

Conforme abordado na secção anterior, o sistema utiliza uma instância do servidor *GeoServer* para fornecer os mapas dos edifícios e os vários pontos de interesses à aplicação cliente, no entanto, esse servidor não é capaz de fornecer as rotas necessárias à navegação. Por esse motivo, foi desenvolvida uma API (*Application Programming Interface*), na *microframework Flask*, capaz de gerar rotas entre qualquer conjunto de pontos existente na rede criada em 0.

Para a API gerar essas rotas a aplicação cliente deve enviar um pedido com o ponto inicial (localização atual do utilizador) e um ponto final (destino pretendido pelo utilizador), com base nessa informação é devolvido à aplicação cliente o caminho mais curto entre os pontos indicados. A API realiza esse cálculo ao utilizar funções da extensão *pgRouting* da base de dados *PostGIS*, estas funções utilizam o algoritmo de Dijkstra [49] para gerar uma rota entre os pontos.

Sempre que é necessário alternar entre pisos a API escolhe a passagem vertical, escadas ou elevador, mais próxima do ponto inicial (ver “Verp” em 3.1). Caso o pedido contenha um parâmetro adicional relativo à mobilidade do utilizador, a API dá preferência a passagens verticais do tipo “elevador”, mesmo que estas sejam as mais distantes.

A rota gerada, um conjunto de pontos ordenados, é retornada à aplicação cliente sob o formato JSON.

### 3.2.4 Marcadores Visuais

Como mencionado no início deste capítulo o sistema de navegação obtém a localização do utilizador através da leitura de marcadores visuais. Estes marcadores visuais são *QR Codes* colocados em todos os pontos de interesse catalogados na base de dados.

De um modo genérico encontram-se colocados em todas as portas das divisões do edifício e adjacentes a outros elementos importantes, como escadas e elevadores. Para

facilitar a leitura aos utilizadores que utilizam cadeira de rodas, os marcadores, encontram-se sempre colocados a uma altura acessível. Os *QR Codes* são gerados automaticamente através do OSMc e contêm a informação necessária para serem identificados pelo sistema (ver Figura 29).

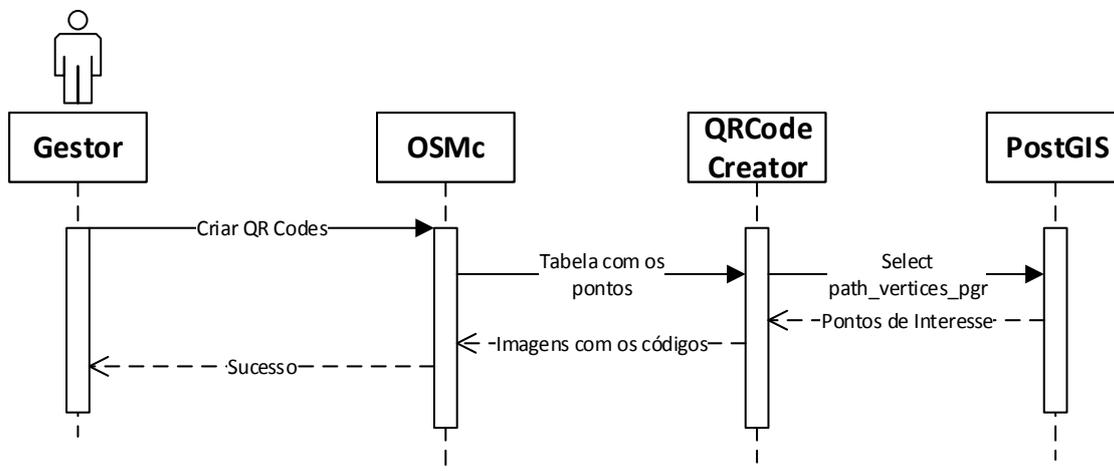


Figura 29 - Criação de Marcadores Visuais

Do ponto de vista técnico os *QR Codes* gerados têm capacidade para 1.249 caracteres alfanuméricos.

### 3.2.5 Imagens-Chave (*Key-Views*)

Os elementos apresentados anteriormente possibilitam a localização e orientação do utilizador dentro do edifício. De modo a permitir ao utilizador a validação visual da rota a seguir, foram introduzidas no sistema imagens de pontos-chave do edifício.

Esta validação é útil sempre que não exista um marcador visual na proximidade do utilizador, por isso, existem alguns fatores a ter em conta antes de tornar qualquer imagem disponível no sistema: como normalmente os diversos pisos do edifício são semelhantes, é preciso disponibilizar fotos de elementos que podem ser facilmente reconhecidos e que tornam aquele plano de visão único. Para além disso, a imagens-chave devem corresponder a pontos existentes nos corredores. Deste modo, é possível completar os caminhos gerados pela API de rotas com as imagens-chave associadas.

Cada um dos pontos únicos pode conter uma ou mais imagens-chave. Através da Figura 30 é possível observar as imagens associadas aos pontos 40 (“A”) e 43 (“B” e “C”) de um corredor. Esta possibilidade permite fornecer ao utilizador imagens adequadas à rota gerada, por exemplo: se uma rota passar pelos pontos 43 e 44 o sistema oferece ao

utilizador a imagem “B”, como a imagem “C” representa o ponto de vista para a direção oposta permanece oculta. A imagem “A” também permanece oculta caso a rota siga a direção 41 - 40.



Figura 30 - Imagens-Chave dos Pontos 40 e 43

Esta validação depende sempre do utilizador e não contempla o reconhecimento automático de imagens capturadas durante a navegação, como ocorre noutros sistemas [65] [66].

### 3.3 Aplicação Cliente

Para utilizar o sistema de navegação é necessária a instalação da aplicação cliente num *smartphone*, e, utilizar a mesma para ler um dos *QR Codes* presentes no edifício, isto permite à aplicação identificar e obter o edifício correto do servidor *GeoServer*. Assim que a aplicação recebe os dados do servidor, esta: desenha as divisões do piso atual num mapa; assinala a posição do utilizador e fornece uma lista com os destinos possíveis. A partir desta configuração inicial o utilizador tem ao seu dispor as ações representadas na Figura 31, que resume através de um diagrama de atividades o processo de navegação implementado na aplicação cliente.

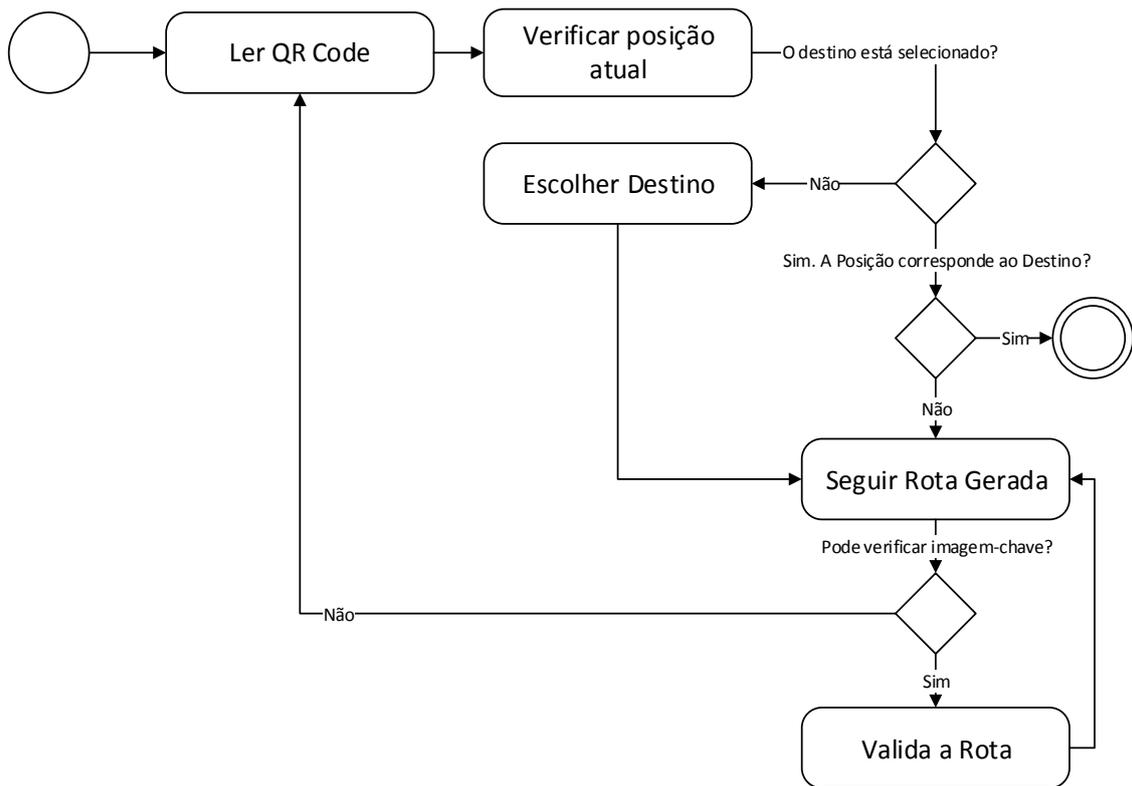


Figura 31 - Diagrama de atividades de utilização da Aplicação Cliente

Conforme demonstrado, a leitura de um *QR Code* permite ao utilizador obter a sua posição atual, este pode então escolher como destino qualquer uma das divisões disponíveis e obter a rota mais curta para esse local. Enquanto o utilizador percorre o caminho obtido é possível validar a rota através da consulta das imagens chave, ou da leitura de outro marcador visual. Quando o utilizador chega ao destino e lê o último *QR Code* obtém a confirmação de que se encontra no local pretendido. Na Figura 32 é possível observar as diferentes interfaces da aplicação durante o processo de navegação.

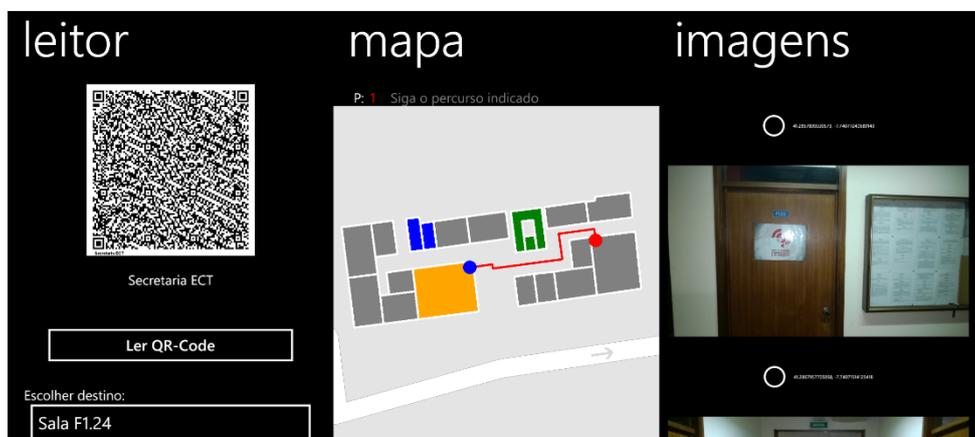


Figura 32 – Vista da Interface da Aplicação Cliente

Importa também salientar que o utilizador dispõe de uma opção para seleccionar um perfil de mobilidade (normal ou mobilidade especial). A escolha de perfil tem impacto no sistema ao nível das rotas geradas e das divisões disponíveis. Quando o perfil de mobilidade especial é seleccionado, as rotas utilizam elevadores ao invés de escadas sempre que é necessário mudar de piso (ver Figura 33), para isso a aplicação envia um parâmetro adicional aos pedidos realizados pela aplicação à API de Rotas (ver 3.2.3). As divisões disponíveis também se alteram de modo a oferecer as que se encontram adaptadas para este tipo de utilizador, a aplicação utiliza as etiquetas existentes nas divisões do mapa recebido para mostrar as mais adequadas a cada perfil. Esta seleção é possível através da pesquisa das palavras-chave “:normal” e “:adaptado” que completam a etiqueta “Bpart” de cada divisão (ver 3.1).



Figura 33 - Diferenças entre perfis de utilizador

No que diz respeito à navegação a aplicação tira proveito da bússola do telemóvel para rodar o mapa, de modo bastante preciso, conforme a orientação do utilizador. Recordando a secção 2.1.1, a distância percorrida pode ser calculada através da medição do acelerómetro, no entanto, como o nível de inexactidão registado era bastante elevado a aplicação não utiliza esse sensor para atualizar automaticamente a posição do utilizador. Para além disso seria muito difícil medir a distância percorrida por um utilizador em cadeira de rodas.

Uma vez que a posição do utilizador não é atualizada com base no movimento, este pode saber a sua posição aproximada ao comparar a vista do meio ambiente com as imagens-chave existente na rota.



# CAP 4

## 4 Testes e resultados

De forma a validar a eficácia da solução desenvolvida realizou-se uma série de testes com utilizadores em ambiente real. Neste capítulo vão ser analisados os vários resultados obtidos através da observação da interação do utilizador com a aplicação móvel e *feedback* recebido dos mesmos.

### 4.1 Ambiente de testes

Como ambiente de testes utilizaram-se os dois últimos pisos (um e dois) do edifício Engenharias I da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.



Figura 34 – Edifício Engenharias I

Conforme descrito na secção 3.2.4 foram impressos os vários *QR Codes* correspondentes a todas as salas existentes nos pisos escolhidos como ambiente de teste. Estes códigos foram então colocados nas portas correspondentes. Nas escadas também foram colocados marcadores na parede adjacente às mesmas.

Os utilizadores foram escolhidos de forma aleatória dentro da comunidade universitária, dando preferência a elementos que não conheciam o ambiente. No total foram realizados cinco testes.

## 4.2 Equipamento de testes

Como equipamento de testes foi utilizado um *smartphone Nokia Lumia 925*. Deste equipamento destaca-se as seguintes características, uma vez que são importantes para o funcionamento do programa: Câmara fotográfica com resolução de 8 megapixéis; Acelerómetro; Giroscópio e Magnetómetro.

## 4.3 Realização dos testes

Antes de iniciar o teste era explicado ao utilizador, de forma sucinta, os princípios básicos da aplicação (leitura dos marcadores visuais).

Por se julgar ser importante testar a funcionalidade de navegação entre pisos diferentes, seleccionava-se uma sala ao acaso localizada num piso diferente, e era pedido ao utilizador para definir essa sala como destino. Em todos os testes efetuados a sala de destino era diferente, bem como o ponto de partida. Dessa forma foi possível testar o funcionamento da aplicação em cenários diferentes. A Figura 35 e Figura 36 representam as plantas dos dois pisos correspondentes à área onde se realizaram os testes.

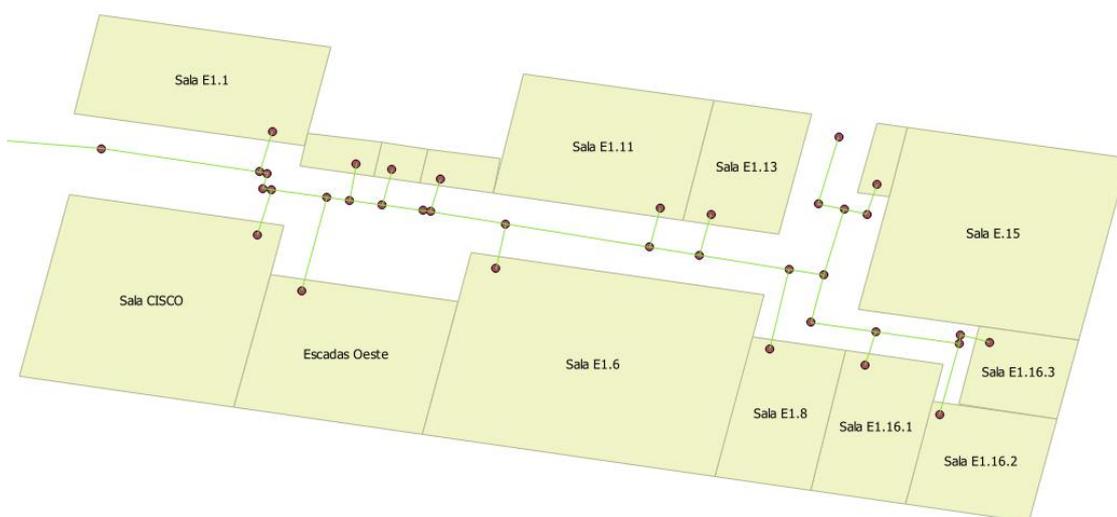


Figura 35 - Planta do 1º piso do edifício

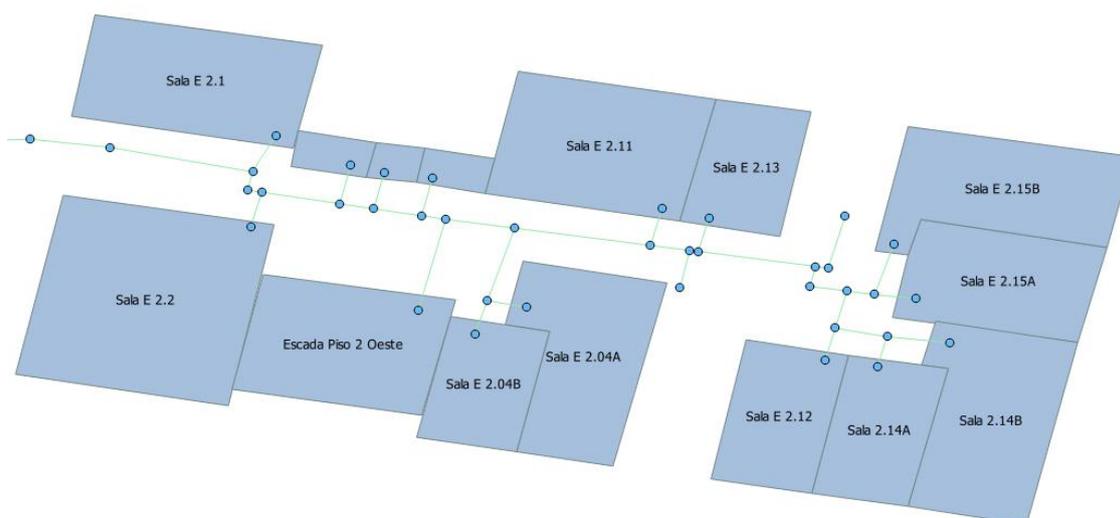


Figura 36 - Planta do 2º piso do edifício

O utilizador podia encontrar *QR Codes* em todas as salas de ambos os pisos e *Imagens-chave* no corredor do primeiro piso do edifício. A Tabela 4 contém os percursos realizados nos diversos ensaios efetuados.

Tabela 4- Ensaios Realizados

	<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Mobilidade</b>
<b>Utilizador 1</b>	Sala E 2.1	Sala E 1.16.1	Normal
<b>Utilizador 2</b>	Sala Cisco	Sala E1.13	Normal
<b>Utilizador 3</b>	Sala E 1.13	Sala E 2.11	Normal
<b>Utilizador 4</b>	Sala E 2.11	Sala E 1.8	Normal
<b>Utilizador 5</b>	Sala E 1.18	Sala E 2.2	Normal

#### 4.4 Resultados dos testes

Uma vez que a aplicação se encontra num estado de desenvolvimento prematuro, os pontos avaliados durante o teste tiveram como objetivo fazer prova do conceito e das ideias colocadas em prática na criação deste sistema de navegação interior. Como tal os pontos de avaliação foram os seguintes:

##### A. A aplicação cumpriu o propósito (utilizador chegou ao destino)?

Nos cinco ensaios realizados o utilizador da aplicação chegou sempre ao destino final. Como tal, o principal propósito da aplicação foi conseguido. Tendo em

conta a variedade de rotas testadas é espectável que qualquer utilizador deste sistema consiga sempre alcançar o destino pretendido independentemente da posição em que se encontre no edifício.

**B. O utilizador compreendeu a forma de funcionamento do programa?**

De um modo geral é possível afirmar que as atividades representadas na Figura 31 ficaram patentes no utilizador. Ficando todos a perceber que cada *QR Code* lido pela aplicação possibilitava uma atualização posicional no mapa e consequente atualização de rota a seguir. Assim sendo ficou presente a ideia que para validação do caminho que estava a seguir bastava ler um *QR Code* novo assim que ele surgisse ou apenas em caso de dúvida ou incerteza.

**C. O utilizador conseguiu utilizar o programa de forma autónoma?**

Excluindo a orientação inicial dada a cada utilizador acerca dos controlos da aplicação foi possível observar que, todos eles conseguiram utilizar o *software* sem recorrer a ajuda do avaliador que observava o ensaio.

Para esta observação positiva foi muito importante a compreensão do funcionamento da aplicação.

**D. A leitura dos *QR Codes* foi rápida o suficiente?**

Ao contrário do esperado em alguns casos a leitura destes marcadores, interfaces entre espaço físico e meio aplicacional, foi algo morosa e levou o utilizador a realizar várias tentativas. Porém, os códigos foram reconhecidos em todas as situações.

Este atraso na leitura estará relacionado com a versão utilizada para gerar *QR Codes*. Estes têm capacidade para 1.249 caracteres, no entanto, a média registada em 60 marcadores não ultrapassa os 150 caracteres. O excesso levou ao aumento desnecessário da densidade dos códigos e consequente atraso na leitura.

**E. A rota gerada foi fácil de seguir?**

Confrontados com esta questão todos os utilizadores classificaram a rota como fácil de seguir. Como principal motivo foi referido a rotação que a bússola confere ao mapa. Esta rotação, segundo os utilizadores, foi essencial para estes

identificarem em que direção se deviam dirigir após a rota ser apresentada no mapa.

Também foi apontada como importante a troca automática de pisos na aplicação, ou seja, quando o utilizador era encaminhado para umas escadas a leitura do código presente no fim das mesmas levava a aplicação a redesenhar o mapa para o nível novo, sem a necessidade de fornecer qualquer indicação manual.

#### **F. As imagens-chave foram úteis à navegação?**

Neste ponto foram registadas opiniões diversas. Alguns utilizadores não tiveram necessidade de usar as mesmas, uma vez que a rota era fácil de seguir. Outros utilizadores consideraram as mesmas úteis para quem desconhece o edifício, uma vez que nas imagens era possível observar elementos diferenciadores do interior e que facilmente podem ser identificados à primeira vista.

#### **G. A posição no mapa correspondia à realidade?**

Em todas as leituras efetuadas a posição indicada no programa correspondeu sempre à realidade. Com isto se pode concluir que todos os marcadores impressos correspondiam à sala em questão e que não existiram erros na criação e identificação dos *QR Code* colocados.

#### **H. Classificação e observações dos utilizadores**

Sendo as opiniões críticas importantes para avaliação e melhoria de qualquer sistema, no final de cada teste foi solicitado aos utilizadores o seu *feedback* sobre a sua experiência de utilização.

Apesar de classificarem a aplicação como útil e capaz de “cumprir a função” deixaram também alguns reparos.

A referência da necessidade de melhorias ao nível da interface e da apresentação do mapa foi unanime em todas as opiniões recolhidas.

Outros utilizadores sentiram a necessidade de terem indicações mais detalhadas quando a rota é apresentada no mapa e alguns até gostariam de ter informação sobre a distância já percorrida (atualização em tempo real do movimento).

Como mais-valias foram mencionadas a rotação com base na orientação da bússola e mudança automática de piso.

#### 4.5 Caso Simulado

Uma vez que nos ensaios realizados nenhum dos utilizadores necessitou de adaptar o perfil da aplicação, a secção atual compara as rotas fornecidas para o Utilizador 1 com o perfil de mobilidade ligado e desligado.

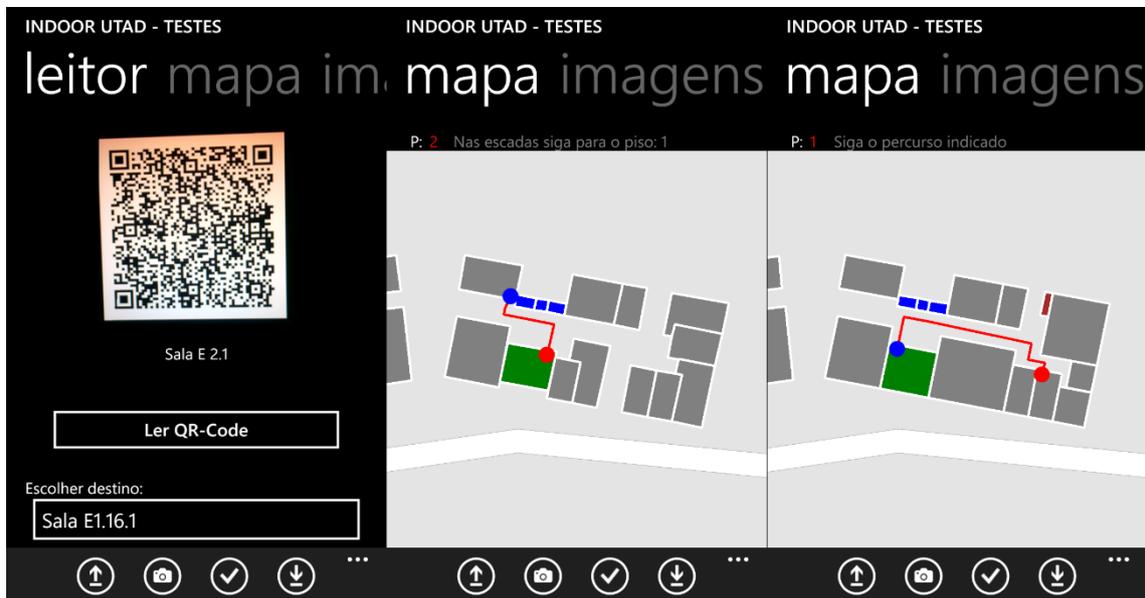


Figura 37 – Rota para Perfil Normal

A Figura 37 representa o caminho normal para o trajeto do Utilizador 1 da Tabela 4, entre a Sala E2.1 do 2º piso e a Sala E 1.16.1 do 1º piso do edifício. A posição atual do utilizador encontra-se assinalada a azul e o destino a vermelho. Quando o utilizador lê o *QR Code* recebe indicações para se dirigir até às escadas e descer um nível, e em seguida, o caminho restante.

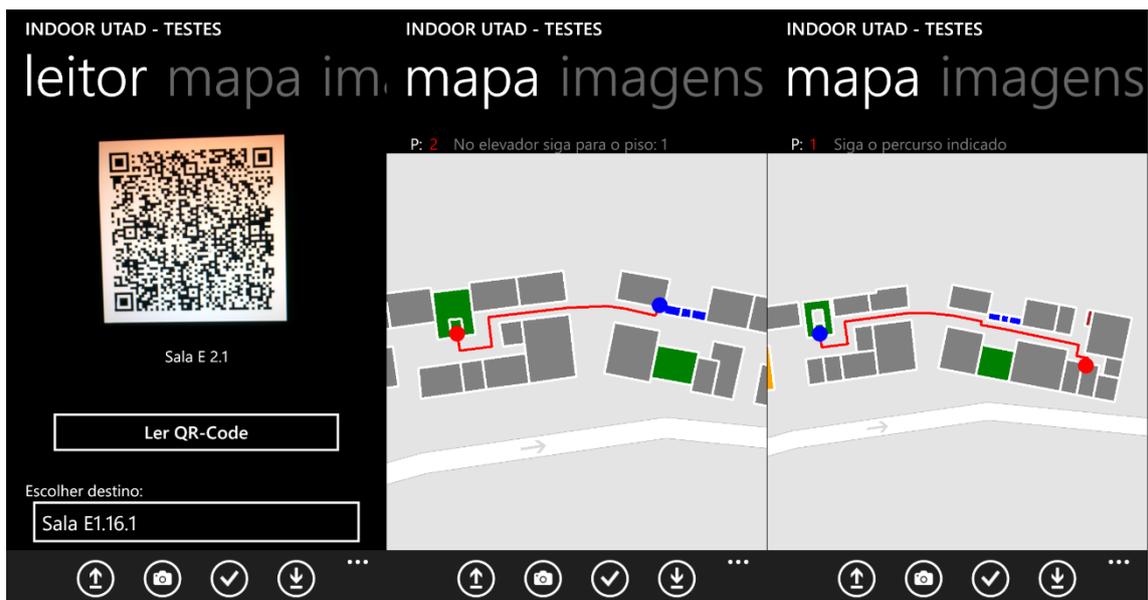


Figura 38 - Rota para Perfil Adaptado

Na Figura 38 é possível observar as diferenças quando o perfil do utilizador é de mobilidade especial. Para mudar de piso o sistema indica ao utilizador o caminho até ao elevador e ignora as escadas mais próximas.

#### 4.6 Discussão dos Resultados

A realização de testes com utilizadores para além de comprovar a utilidade e funcionalidade do sistema desenvolvido permite fazer uma classificação completa do sistema de acordo com os pontos explanados em 2.1.7.

De acordo com esses pontos, ao nível da **exatidão** foi possível comprovar que a posição indicada no mapa e posição real eram sempre coincidentes quando obtidas a partir da leitura de um *QR Code*, e que por isso o sistema tem um grau de exatidão muito elevado. Contudo, não era esperado que leitura dos *QR Code* falhasse em alguns casos. Isto implica uma análise e estudo aprofundado quanto às dimensões ideais dos marcadores, sob pena de ver a exatidão do sistema reduzida por via de erros de leitura. Nos casos em que oposição foi obtida através da comparação de um imagem-chave apenas foi possível determinar uma posição aproximada à real.

Uma vez que estes marcadores têm todas as condições técnicas para serem lidos de forma eficaz é necessário garantir as condições ideais para que isso aconteça.

Ao mesmo tempo, como os marcadores são estáticos, uma vez encontrada a forma de garantir a leitura eficaz, é possível afirmar que o sistema vai fornecer uma localização **precisa** de forma constante em todos os casos não existindo casos onde a posição real se distancia da posição calculada.

Quanto à **complexidade** pode-se afirmar que a mesma é ao nível do serviço e não ao nível aplicacional. A aplicação do cliente apenas efetua a leitura dos marcadores e realizados pedidos de informação aos servidores. Para realizar essa comunicação é sempre necessária ligação à internet, contudo o volume de dados recebido é bastante reduzido, a título de exemplo o ficheiro recebido com edifício tem um tamanho inferior a 30 kB e o mesmo se verifica para cada ficheiro referente aos caminhos de cada piso. Para cada pedido de geração de rota o tamanho dos ficheiros recebido não ultrapassa 2 kB. No total o volume de dados não ultrapassa os 100 kB numa sessão, o que é bastante reduzido.

Como o único aparelho necessário para realizar a navegação é um *smartphone* não é imputado nenhum constrangimento desnecessário ao utilizador. Contudo, para melhorar a **usabilidade** da aplicação são ainda necessários alguns ajustes ao nível da sua interface.

Quando se olha para uma possível expansão do sistema existe a possibilidade de aplicar as técnicas de criação de mapas, de forma uniforme utilizando as ferramentas desenvolvidas para o efeito. Deste modo não existem problemas ao nível de **escala** do sistema proposto.

Quanto à **robustez**, a sua fraqueza é a necessidade de ligação à Internet para gerar as rotas. No ambiente de testes existia uma cobertura completa da rede *wireless*. Em ambientes onde tal não aconteça este sistema não deve ser implementado.

Por fim, mas não menos importante, temos a questão dos **custos**. Aqui devem ser considerados diversos fatores. O primeiro deve ser as tecnologias associadas à implementação das funcionalidades. Tanto o motor de base de dados o servidor de mapas são *open-source* e por isso não há custos na sua utilização. De igual modo as ferramentas de desenvolvimento da plataforma *Windows Phone* são de livre uso para fins de académicos e para a criação de *software open-source*.

O alojamento destes serviços na internet também não teve custos associados, estão alojados na plataforma *Openshift* da *Red Hat*. Apesar disso é apenas possível garantir

que não existem encargos quando a utilização dos servidores tem como fim testes e produção, o que significa uma necessidade bastante reduzida ao nível do poder computacional e de comunicação.

A impressão dos marcadores visuais tem também um valor simbólico e bastante inferior aos componentes necessários nos sistemas baseados em RFID e NFC. A sua colocação nas portas das divisões realiza-se facilmente, não tendo um impacto visual negativo no ambiente.

Deste modo os custos maiores estão no equipamento necessário que terá que ser fornecido pelo utilizador. Para uma melhor experiência de utilização ficou demonstrado que o magnetómetro é essencial, o que pode limitar a usabilidade em aparelhos de gama inferior e com um custo mais diminuto.

Por fim deve-se também considerar o tempo despendido na criação dos mapas para o programa e procurar novas formas de automatizar este processo, principalmente a fase descrita em 0.

Comparativamente aos sistemas abordados na secção 2 esta solução acaba por ser um misto de várias técnicas, onde são utilizados os sensores de equipamentos comuns nos dias de hoje juntamente com a leitura direta de marcadores colocados no local.

Tem como vantagem face aos dois sistemas abordados na secção 2.1.2 diversos fatores que torna os *QR Code* uma solução interessante:

- Leitura muito rápida e eficaz dos marcadores (após estudo das condições ideais);
- Impacto quase impercetível ao nível arquitetónico;
- Não requer equipamento especial (em oposição ao RFID);
- Não necessita de uma infraestrutura eletrónica permanente (em oposição ao RFID e *Bluetooth*);
  - Baixa manutenção e não são necessárias baterias;
- Os códigos de barras não necessitam de estar ligados entre si, e por isso a “rede” é menos extensa;
- O servidor não necessita de realizar cálculos complexos para determinar a posição do utilizador;

Como desvantagem pode ser identificada a deterioração dos marcadores (derivado à exposição ao tempo, danos, etc...). Por outro lado, a localização do utilizador só é possível ao ler *QR Codes* e estes não podem ser colocados em excesso no edifício.

O sistema utiliza também um dos sensores mencionados na secção 2.1.1, o magnetómetro. Com base no *feedback* recebido a orientação fornecida pela bússola foi bastante importante para a aplicação cumprir o seu propósito.

Infelizmente, durante o desenvolvimento da aplicação móvel não foi possível integrar também informação dos movimentos realizados pelos utilizadores. Foram testadas algumas técnicas, como realização de uma contagem de passos e assim determinar a distância percorrida através do acelerómetro. Contudo, esse método revelou-se bastante impreciso no equipamento de testes à disposição, e a funcionalidade não foi implementada. Deste modo, foram introduzidas as imagens-chave para dar confiança ao utilizador na trajetória que está a seguir.

Apesar disso, os modelos de *smartphones* mais recentes apresentam processadores e APIs que prometem medir os movimentos do utilizador de forma exata e sem necessidade de recorrer a algoritmos elaborados, sendo o cálculo realizado automaticamente pelo telefone. [67]

Essa limitação não impediu os utilizadores de chegarem corretamente ao seu destino. Para além disso a navegação era de tal forma intuitiva que a funcionalidade dos pontos-chave descrita em 3.2.5 acaba por apenas ser um extra que poucos utilizadores consideraram útil. Outro conjunto de testes permitirá retirar conclusões definitivas sobre a utilidade desta funcionalidade.

Por fim, e apesar de a funcionalidade não ter sido testada em ambiente real, a aplicação possui funcionalidades capazes de se adaptar ao uso por parte de utilizadores em cadeiras de rodas. É com toda a certeza uma funcionalidade diferenciadora e bastante útil para quem necessita de encontrar os acessos mais adequados para navegar no interior de um edifício.

# CAP 5

## 5 Conclusão e trabalho futuro

A realização desta dissertação tinha como principais objetivos implementar um sistema de navegação para o interior de edifícios, que também fosse capaz de responder às necessidades de utilizadores com uma condição de mobilidade reduzida.

A principal problemática neste tipo de sistemas é o método de localização alternativo ao GPS que se deve utilizar. Vários métodos foram explorados na revisão da literatura deste trabalho. E tal como concluiu Fallah et. al. e Lakde et. al., pode afirmar-se que não existem sistemas de localização para o interior de edifícios implementados em larga escala por motivos de custo, precisão e usabilidade [8] [68].

Avaliando estes aspetos e tendo em conta os testes em ambiente real, pode-se produzir as seguintes considerações, relativamente ao sistema proposto:

- Custos: O custo de instalação é bastante reduzido e beneficia do facto de usar um aparelho comum nos dias de hoje para funcionar. No futuro é possível baixar ainda mais o custo associado ao trabalho de criação dos mapas através da criação/utilização de ferramentas automáticas para o efeito.
- Usabilidade: O *smartphone* como equipamento utilizado no dia-a-dia não representa um constrangimento adicional.
- Precisão: Como demonstrado o sistema, no seu estado atual, fornece sempre a posição exata em que se encontra o utilizador. No entanto, necessita de ler um marcador visual para isso acontecer. Por este motivo a localização não funciona em qualquer ponto aleatório do edifício. Com isto se pode concluir que tem uma limitação face a sistemas mais caros de implementar, existindo normalmente uma correlação entre o custo e a precisão do sistema de localização [8].

No futuro, uma implementação com sucesso do cálculo das distâncias percorrida através de sensores de movimento permitiria eliminar por completo esta questão.

Assim sendo, a conjugação de vários métodos de localização permite obter custos mais baixos e compensar positivamente a precisão. Deste modo, quando as questões identificadas como trabalho futuro estiverem concluídas, este sistema pode ser implementado em larga escala, com facilidade e com um custo bastante baixo.

Outra parte fundamental de um sistema de navegação é o planeamento de rotas. Pela forma como os mapas foram criados, as rotas possíveis foram definidas sob a forma de grafo. Como existia um grafo independente para cada piso, as rotas foram geradas sem qualquer impacto negativo na performance do sistema. Para além disso, o sistema era flexível de forma a permitir a seleção de perfil de mobilidade ao utilizador. É assim um sistema de rotas inteligentes, que são complementadas com imagens-chave que aumentam as hipóteses de completar o caminho.

Esta implementação é um misto entre o caminho mais curto e mais seguro possível para todas as situações, onde não existe qualquer grau de incerteza quanto à rota gerada. Tendo em conta os requisitos do sistema, facilidade de criação e performance satisfatória não se encontram vantagens para o utilizador em seguir outra alternativa (grelha de células).

Quanto à representação foi apenas utilizado um mapa a duas dimensões, sendo a forma mais simples de representação existente. Tendo em conta o *feedback* recebido, como trabalho futuro seria importante validar outras alternativas de representação, como por exemplo a inclusão de elementos a três dimensões, estudando o seu custo e benefício para a navegação.

Ao nível da interação o sistema apresentado, sendo uma aplicação móvel, é de uso fácil para o utilizador comum. No entanto, o seu público-alvo fica restrito a pessoas capazes de fazer uso de um *smartphone*.

Pelo exposto, é possível afirmar que o objetivo inicial do trabalho foi alcançado e que o sistema desenvolvido supera a maioria dos desafios identificados ao longo da revisão da literatura. O sistema apresenta um baixo custo, não necessitando equipamento especial, é simples de usar e adaptável a pessoas com condições de mobilidade especial.

Contudo, caso os requisitos fossem outros, como por exemplo permitir a navegação de invisuais, este sistema teria que sofrer adaptações e até ser desenvolvido com recurso a

outras tecnologias. Seria necessário ponderar novamente as vantagens e desvantagens de cada opção, avaliar os custos, nível precisão e grau de usabilidade necessários.



# Re

## 6 Referências

- [1] M. Singhal e A. Shukla, “Implementation of location based services in android using GPS and web services,” *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, nº 1, pp. 237-242, 2012.
- [2] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee e J. Liu, “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, vol. 37, nº 6, pp. 1067-1080, Nov 2007.
- [3] M. A. Rothfuss, “Asset Tracking Using a Real-Time Locating System Employing a Novel Location Determination Method,” 2011.
- [4] A. Au, C. Feng, S. Valaee, S. Reyes, S. Sorour, S. Markowitz, D. Gold, K. Gordon e M. Eizenman, “Indoor Tracking and Navigation Using Received Signal Strength and Compressive Sensing on a Mobile Device,” *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol. 12, nº 10, pp. 2050-2062, Oct 2013.
- [5] A. Papapostolou e H. Chaouchi, “RFID-assisted indoor localization and the impact of interference on its performance,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34, nº 3, pp. 902-913, 2011.
- [6] G. Deak, K. Curran e J. Condell, “Review: A Survey of Active and Passive Indoor Localisation Systems,” *Comput. Commun.*, vol. 35, nº 16, pp. 1939-1954, #sep# 2012.
- [7] C. Fuchs, N. Aschenbruck, P. Martini e M. Wieneke, “Indoor tracking for mission critical scenarios: A survey,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 7, nº 1, pp. 1-

- 15, 2011.
- [8] N. Fallah, I. Apostolopoulos, K. Bekris e E. Folmer, “Indoor human navigation systems: A survey,” *Interacting with Computers*, vol. 25, nº 1, pp. 21-33, 2013.
- [9] “BerryIMU-accelerometer, gyroscope, magnetometer,” [Online]. Available: <https://www.tindie.com/products/ozzmaker/berryimu-an-accelerometer-gyroscope-magnetometer-and-barometricaltitude-sensor/>. [Acedido em 01 07 2015].
- [10] J. Link, P. Smith, N. Viol e K. Wehrle, “FootPath: Accurate map-based indoor navigation using smartphones,” em *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on*, 2011.
- [11] K. Park, H. Shin e H. Cha, “Smartphone-based Pedestrian Tracking in Indoor Corridor Environments,” *Personal Ubiquitous Comput.*, vol. 17, nº 2, pp. 359-370, #feb# 2013.
- [12] J. Säll e J. Merkel, “Indoor Navigation Using Accelerometer and Magnetometer,” 2011.
- [13] V. Marotto, M. Sole, T. Dessi, A. Manchinu, D. Carboni e A. Serra, “Orientation Analysis through a Gyroscope Sensor for Indoor Navigation Systems,” em *SENSORDEVICES 2013, The Fourth International Conference on Sensor Device Technologies and Applications*, 2013.
- [14] J. M. Cabero, F. De la Torre, A. Sanchez e I. Arizaga, “Indoor People Tracking Based on Dynamic Weighted Multidimensional Scaling,” em *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, New York, NY, USA, 2007.
- [15] S. N. Razavi e O. Moselhi, “GPS-less indoor construction location sensing,” *Automation in Construction* , vol. 28, nº 0, pp. 128-136, 2012.
- [16] A. Mulloni, D. Wagner, I. Barakonyi e D. Schmalstieg, “Indoor positioning and navigation with camera phones,” *Pervasive Computing, IEEE*, vol. 8, nº 2, pp. 22-31, 2009.
- [17] B. Fang, “Simple solutions for hyperbolic and related position fixes,” *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, vol. 26, nº 5, pp. 748-753, Sep

1990.

- [18] M. Ciurana, F. Barcelo-Arroyo e F. Izquierdo, “A Ranging Method with IEEE 802.11 Data Frames for Indoor Localization,” em *Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE*, 2007.
- [19] X. Li, K. Pahlavan, M. Latva-aho e M. Ylianttila, “Comparison of indoor geolocation methods in DSSS and OFDM wireless LAN systems,” em  *Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE-VTS Fall VTC 2000. 52nd*, 2000.
- [20] F. Reichenbach e D. Timmermann, “Indoor Localization with Low Complexity in Wireless Sensor Networks,” em *Industrial Informatics, 2006 IEEE International Conference on*, 2006.
- [21] M. Vossiek, L. Wiebking, P. Gulden, J. Weighardt e C. Hoffmann, “Wireless local positioning - concepts, solutions, applications,” em *Radio and Wireless Conference, 2003. RAWCON '03. Proceedings*, 2003.
- [22] E. Elnahrawy, X. Li e R. P. Martin, “The limits of localization using signal strength: A comparative study,” em *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004. IEEE SECON 2004. 2004 First Annual IEEE Communications Society Conference on*, 2004.
- [23] wifioutdoor.com, “WiFi Site Survey: RF Fingerprinting,” [Online]. Available: <http://www.wifioutdoor.com/collections/wifi-services/products/wifi-site-survey-rf-fingerprinting>. [Acedido em 09 08 2015].
- [24] P. Bahl, V. N. Padmanabhan e A. Balachandran, “Enhancements to the RADAR user location and tracking system,” 2000.
- [25] S. A. Joseph e N. Joby, “Analyzing \{RFID\} Tags in a Distributed Environment,” *Procedia Technology* , vol. 24, pp. 1483-1490, 2016.
- [26] A. Montaser e O. Moselhi, “RFID indoor location identification for construction projects,” *Automation in Construction*, vol. 39, pp. 167-179, 2014.
- [27] J. Hightower, G. Borriello e R. Want, “SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength,” 2000.

- [28] H. Fernandes, V. Filipe, P. Costa e J. Barroso, "Location based Services for the Blind Supported by RFID Technology," *Procedia Computer Science*, vol. 27, n° 0, pp. 2-8, 2014.
- [29] C. Tsirmpas, A. Rompas, O. Fokou e D. Koutsouris, "An indoor navigation system for visually impaired and elderly people based on Radio Frequency Identification (RFID)," *Information Sciences*, vol. 320, n° 0, pp. 288-305, 2015.
- [30] P. Prasithsangaree, P. Krishnamurthy e P. Chrysanthis, "On indoor position location with wireless LANs," em *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002. The 13th IEEE International Symposium on*, 2002.
- [31] "BLIP Systems," [Online]. Available: <http://www.blipsystems.com>.
- [32] S. Gezici, Z. Tian, G. B. Giannakis, H. Kobayashi, A. F. Molisch, H. V. Poor e Z. Sahinoglu, "Localization via ultra-wideband radios: a look at positioning aspects for future sensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, n° 4, pp. 70-84, July 2005.
- [33] Ubisense, [Online]. Available: <http://ubisense.net/>. [Acedido em 07 04 2015].
- [34] R. J. Fontana, E. Richley e J. Barney, "Commercialization of an ultra wideband precision asset location system," em *Ultra Wideband Systems and Technologies, 2003 IEEE Conference on*, 2003.
- [35] Ekahau, Inc, "Ekahau," [Online]. Available: <http://www.ekahau.com/real-time-location-system/technology>. [Acedido em 09 08 2015].
- [36] F. Schrooyen, I. Baert, S. Truijen, L. Pieters, T. Denis, K. Willieme e M. Weyn, "Real time location system over WiFi in a healthcare environment," *Journal on Information Technology in Healthcare*, vol. 4, n° 6, pp. 401-416, 2006.
- [37] LEVER Technology Group PLC, "Real-Time Location Systems (RTLS) (UK)," [Online]. Available: <http://www.lever.co.uk/products/ekahau-wireless-tracking-and-positioning.html>. [Acedido em 10 06 2016].
- [38] P. Bahl e V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," em *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, 2000.

- [39] J. Yim, C. Park, J. Joo e S. Jeong, "Extended Kalman filter for wireless LAN based indoor positioning," *Decision support systems*, vol. 45, n° 4, pp. 960-971, 2008.
- [40] A. Hub, J. Diepstraten e T. Ertl, "Design and development of an indoor navigation and object identification system for the blind," em *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*, 2004.
- [41] L. Ran, S. Helal e S. Moore, "Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service," em *Pervasive Computing and Communications, 2004. PerCom 2004. Proceedings of the Second IEEE Annual Conference on*, 2004.
- [42] J. Hightower e G. Borriello, "Location systems for ubiquitous computing," *Computer*, n° 8, pp. 57-66, 2001.
- [43] I. Apostolopoulos, N. Fallah, E. Folmer e K. E. Bekris, "Feasibility of interactive localization and navigation of people with visual impairments," *Proc. 11th IEEE Intelligent Autonomous Systems (IAS-10)*, pp. 22-32, 2010.
- [44] S. Chumkamon, P. Tuvaphanthaphiphat e P. Keeratiwintakorn, "A blind navigation system using RFID for indoor environments," em *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. ECTI-CON 2008. 5th International Conference on*, 2008.
- [45] M. Bessho, S. Kobayashi, N. Koshizuka e K. Sakamura, "A Space-identifying Ubiquitous Infrastructure and Its Application for Tour-guiding Service," em *Proceedings of the 2008 ACM Symposium on Applied Computing*, New York, NY, USA, 2008.
- [46] P. Brovz, "Path planning in combined 3D grid and graph environment," em *Proceedings of the 10th Central European Seminar on Computer Graphics*, 2006.
- [47] E. Einhorn, C. Schröter e H. M. Gross, "Finding the adequate resolution for grid mapping - Cell sizes locally adapting on-the-fly," em *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on*, 2011.
- [48] M. J. Nordin e A. M. Ali, "Indoor navigation and localization for visually impaired people using weighted topological map," *Journal of Computer Science*, vol. 5, n°

11, p. 883, 2009.

- [49] E. Dijkstra, “A note on two problems in connexion with graphs,” *Numerische Mathematik*, vol. 1, n° 1, pp. 269-271, 1959.
- [50] N. J. N. P. E. Hart e B. Raphael, “A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths,” *IEEE Transactions on Systems, Science, and Cybernetics*, Vols. %1 de %2SSC-4, n° 2, pp. 100-107, 1968.
- [51] D. Ferguson, M. Likhachev e A. Stentz, “A guide to heuristic-based path planning,” 2005.
- [52] J. Gao, V. Kulkarni, H. Ranavat, L. Chang e H. Mei, “A 2D Barcode-Based Mobile Payment System,” em *Third International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2009. MUE '09.*, 2009.
- [53] “QR code,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/QR\\_code](https://en.wikipedia.org/wiki/QR_code). [Acedido em 25 09 2015].
- [54] N. H. Kim, H. Lim, H. Jo e H. J. Lee, “Online Banking Authentication System using Mobile-OTP with QR-code,” em *2010 5th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology (ICCIT)*, 2010.
- [55] “QR Code Data Capacity,” 06 10 2012. [Online]. Available: <http://blog.qr4.nl/page/QR-Code-Data-Capacity.aspx>.
- [56] “Explorador móvel do jardim botânico,” UTAD, [Online]. Available: <http://jbm.utad.pt/info.php>. [Acedido em 01 04 2016].
- [57] “JOSM,” [Online]. Available: <https://josm.openstreetmap.de>. [Acedido em 20 4 2015].
- [58] “OpenStreetMap - About,” [Online]. Available: <http://www.openstreetmap.org/about>. [Acedido em 10 12 2014].
- [59] “Indoor Mapping,” [Online]. Available: [http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Indoor\\_Mapping](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Indoor_Mapping). [Acedido em 10 12 2014].
- [60] M. Goetz e A. Zipf, “OpenStreetMap in 3D--Detailed Insights on the Current Situation in Germany”.

- [61] “PostGIS,” [Online]. Available: <http://postgis.net>. [Acedido em 2014 12 2].
- [62] “ESRI Shapefile,” [Online]. Available: <http://www.digitalpreservation.gov/formats/fdd/fdd000280.shtml>. [Acedido em 2 12 2014].
- [63] S. Woodbridge, “pgRouting Manual (2.0.0) - Routing Topology,” [Online]. Available: <http://docs.pgrouting.org/2.0/en/doc/src/tutorial/topology.html#topology>. [Acedido em 2014 12 1].
- [64] “What is Geoserver?,” [Online]. Available: <http://geoserver.org/about/>. [Acedido em 2014 12 7].
- [65] M. Werner, M. Kessel e C. Marouane, “Indoor positioning using smartphone camera,” em *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on*, 2011.
- [66] S. S. M. M. J. T. J. J. I. R. J. M. F. R. J. M. H. d. B. M. Serrão, “Computer vision and GIS for the navigation of blind persons in buildings,” *Universal Access in the Information Society*, vol. 14, nº 1, pp. 67-80, 2015.
- [67] Microsoft, “Sensors for Windows Phone 8,” [Online]. Available: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/apps/hh202968\(v=vs.105\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/apps/hh202968(v=vs.105).aspx). [Acedido em 25 07 2016].
- [68] C. K. Lakde e P. S. Prasad, “Review Paper on Navigation System for Visually Impaired People,” 2015.
- [69] C. Jun e H. Kim, “An Indoor Crowd Simulation Using a 2D-3D Hybrid Data Model,” em *Computational Science and Its Applications â€“ ICCSA 2009*, vol. 5592, O. Gervasi, D. Taniar, B. Murgante, A. LaganÃ , Y. Mun e M. Gavrilova, Edits., Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 397-412.
- [70] Y. Kang, J. Lee, J. Lee e J. Cha, “A study for indoor position detection using LED QR code and smart-terminal,” em *ICT Convergence (ICTC), 2011 International Conference on*, 2011.
- [71] Y.-C. Lai, F. Han, Y.-H. Yeh, C.-N. Lai e Y.-C. Szu, “A GPS navigation system

- with QR code decoding and friend positioning in smart phones,” em *Education Technology and Computer (ICETC), 2010 2nd International Conference on*, 2010.
- [72] A. A. Mostafa, “The Effectiveness of Product Codes in Marketing,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 175, pp. 12-15, 2015.
- [73] K.-C. Liao, M.-H. Sung, W.-H. Lee e T.-C. Lin, “A One-Time Password Scheme with QR-Code Based on Mobile Phone,” em *Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC*, Seoul, 2009.
- [74] G. Starnberger, L. Frohofer e K. M. Goeschka, “QR-TAN: Secure Mobile Transaction Authentication,” em *International Conference on Availability, Reliability and Security*, Fukuoka, 2009.
- [75] W. Liang e Z. Runtong, “A Compact Authentication System for Applications of Two-dimensional Code,” em *2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS)*, 2010.
- [76] S. Mukhopadhyay e D. Argles, “An Anti-Phishing mechanism for single sign-on based on QR-code,” em *International Conference on Information Society (i-Society)*, 2011.
- [77] Y.-W. Kao, G.-H. Luo, H.-T. Lin, Y.-K. Huang e S.-M. Yuan, “Physical Access Control Based on QR Code,” em *2011 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC)*, 2011.
- [78] D. a. N. B. Niculescu, “DV Based Positioning in Ad Hoc Networks,” *Telecommunication Systems*, vol. 22, nº 1, pp. 267-280, 2003.
- [79] Z. Sun, R. Farley, T. Kaleas, J. Ellis e K. Chikkappa, “Cortina: Collaborative context-aware indoor positioning employing RSS and RToF techniques,” em *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2011 IEEE International Conference on*, 2011.
- [80] A. Kehagias, G. Hollinger e S. Singh, “A graph search algorithm for indoor pursuit/evasion,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 50, nº 9, pp. 1305-1317, 2009.
- [81] A. H. C. Gunther, “NETWORKING 2005. Networking Technologies, Services,

and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems: 4th International IFIP-TC6 Networking Conference, Waterloo, Canada, May 2-6, 2005. Proceedings,” R. a. A. K. a. P. R. a. S. S. a. B. J. P. Boutaba, Ed., Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 768-779.