

Universidade do Minho

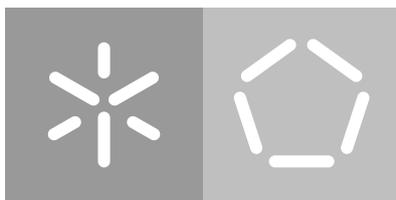
Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Gestão Inteligente de Estacionamento em Ambiente Urbano

Filipe Manuel Gonçalves de Oliveira

December 2018



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Gestão Inteligente de Estacionamento em Ambiente Urbano

Filipe Manuel Gonçalves de Oliveira

Master dissertation

Master Degree in Computer Science

Dissertation supervised by

Prof. Solange Rito Lima

Prof. Paulo Carvalho

December 2018

AGRADECIMENTOS

Finda esta etapa queria deixar um conjunto de agradecimentos a várias pessoas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para o termino desta importante etapa.

Aos meus pais, Joaquim e Emília, que sempre me apoiaram ao longo destes últimos anos, que sempre me deram apoio nos momentos mais difíceis neste longo percurso que, apesar de todas as dificuldades, sempre me fizeram acreditar que era capaz de chegar ao fim desta difícil etapa, bem como meu irmão que foi o meu "colega" de casa durante todos estes anos.

Aos meus Avós pelo carinho que me deram, especialmente à minha avó que já não está presente, dedicando com muito carinho a ela esta etapa por mim conquistada.

À minha namorada, Inês, pelo incentivo, pelo carinho e, pelo companheirismo que me deste durante todo este longo percurso. Quero agradecer-te pelo apoio incondicional em todos os momentos, fossem estes bons ou menos bons destes últimos anos e, por me acompanhares nesta difícil caminhada. Obrigado por fazeres com que continuasse a acreditar que era capaz de terminar este sonho e, hoje aqui estou eu.

Um especial agradecimento também à minha orientadora Professora Solange Rito Lima e co-orientador Professor Paulo Carvalho, pela orientação, disponibilidade, pelos conselhos e pela paciência que tiveram de me terem ajudado na realização desta dissertação.

Ao pessoal da Varanda, que considero uma segunda família para mim, por me terem ajudado a passar todo este tempo; pelas risadas, pelos copos, pelas noitadas animadas, e pela companhia nestes muito importantes momentos ao longo desta etapa, e que vou levar comigo para o resto da vida.

À TLUM - Tuna de Letras da Universidade do Minho, um obrigado por me acompanharem nestes anos todos, por todo o espírito de companheirismo, por todos os momentos mais loucos que me fizeram experienciar – enfim, por todas as histórias que ficam por e para contar.

A todos os mencionados a cima e a todos os que ficaram por mencionar, um enorme obrigado.

ABSTRACT

In the last decades the world population has been increasing exponentially, giving rise to potential problems of difficult resolution, such as traffic issues due to the high flow of vehicles, pollution levels, housing, health access, resource management, among others. These problems tend to be stressed in metropolitan areas. In this context, the need to “virtualize” the cities themselves is being pursued, leading to the concept of Smart Cities. The main objective is creating sustainable conditions in the cities and providing more flexible access to useful information for the citizens, while achieving better management of resources. The concept of Smart Cities is known for using of various technologies to improve urban infrastructures and make urban centers more efficient taking into account the needs of the population. These projects usually rely on a series of sensor networks strategically distributed for the collection of data from the environment. Generally, these projects undergo a trial evaluation of the problem under study, resorting mostly to simulation tools, such as CupCarbon, InterSCSimulator, UrbanSim, among others.

In this context, this master thesis’s project aims to study a specific problem in the scope of the Smart Cities, more specifically, the problem of intelligent management of parking in an urban environment. The objective is to improve the efficiency in the management of available vehicle spaces, providing a better experience to the users in the use and sharing of this often scarce resource. The CupCarbon simulation environment will be used for simulating and testing the proposed parking management scenarios.

RESUMO

Desde as últimas décadas que a população mundial tem vindo a aumentar de uma forma exponencial, originando e potenciando vários problemas de difícil resolução como, por exemplo, problemas de trânsito relacionados com o elevado fluxo de veículos, problemas de poluição, de alojamento, de acesso à saúde, de gestão de recursos, entre outros. Neste enquadramento surgiu a necessidade de se “virtualizar” as próprias cidades, levando ao conceito de Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) com o principal objetivo de criar condições de sustentabilidade nas próprias cidades e disponibilizar um acesso mais flexível a informação útil para os seus cidadãos. O conceito de *Smart Cities* é conhecido pelo uso de várias tecnologias para melhorar as infraestruturas urbanas e tornar os centros urbanos mais eficientes tendo em conta as necessidades das populações. Estes projetos recorrem geralmente a redes de sensores distribuídas de forma estratégica para a recolha de dados do meio. Geralmente, estes projetos passam por uma avaliação experimental do problema em estudo, recorrendo na maioria das vezes a ferramentas de simulação, de que são exemplos o CupCarbon, o InterSCSimulator, o UrbanSim, entre outros.

Neste contexto, neste projeto de mestrado pretende-se estudar um problema concreto no âmbito das *Smart Cities*, sendo este o problema da gestão inteligente de estacionamento em ambiente urbano tendo em vista uma maior eficiência da ocupação dos espaços disponíveis e uma melhor experiência dos utilizadores no uso e partilha deste recurso muitas vezes escasso. O ambiente de simulação CupCarbon será utilizado para simulação e teste dos cenários de gestão de estacionamento propostos.

CONTEÚDO

Agradecimentos	i
Abstract	ii
Resumo	iii
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Acrónimos	ix
1 INTRODUÇÃO	2
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia	4
1.4 Estrutura do Documento	4
2 ESTADO DE ARTE	6
2.1 Classificação de Parques	6
2.2 Gestão de Parques	8
2.3 Métricas de Desempenho	10
2.4 Tipologia da Procura de Estacionamento	10
2.5 Desafios	11
2.6 Tipos de Sensores	12
2.6.1 Infravermelhos	12
2.6.2 Ultra-sónicos	12
2.6.3 Acelerómetros	13
2.6.4 Óticos	13
2.6.5 Manómetros e Sensores Piezoelétricos	13
2.6.6 Câmaras e Sensores Acústicos	13
2.6.7 Comparação dos Sensores	14
2.7 Algoritmos de Seleção de Rotas	14
2.7.1 Algoritmo de Dijkstra	14
2.7.2 Bidirectional Search	15
2.7.3 Algoritmo de Floyd-Warshall	16
2.7.4 Algoritmo A*	16
2.8 Projetos na Área	17
2.8.1 Onde Parar	18
2.8.2 SFpark	19

2.8.3	LA Express Park	20
2.9	Sumário	22
3	FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO	23
3.1	UrbanSim	23
3.2	SimCity	24
3.3	Cities: Skylines	24
3.4	Cities in Motion	24
3.5	IOTIFY - Smart City Simulation	25
3.6	CupCarbon	25
3.7	Escolha da Ferramenta de Simulação	26
3.8	Sumário	28
4	ARQUITETURA DO MODELO DE PARQUEAMENTO	29
4.1	Clientes	29
4.2	Utilizadores	29
4.3	Ambiente de Implementação	30
4.4	Situação Atual	30
4.5	Factos e Pressupostos	30
4.5.1	Factos	31
4.5.2	Pressupostos	31
4.6	Objetivos Conceptuais	31
4.7	Requisitos Funcionais	32
4.8	Requisitos não Funcionais	35
4.8.1	Aparência	35
4.8.2	Usabilidade	35
4.8.3	Requisitos Operacionais	36
4.8.4	Segurança	36
4.9	Modelação Conceptual	37
4.9.1	Modelo Conceptual	37
4.10	Modelo de Domínio	38
4.10.1	Atributos Dinâmicos e Estáticos	39
4.11	Sumário	43
5	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	44
5.1	Detalhes Técnicos do CupCarbon	44
5.1.1	Tipo de Nodos	44
5.1.2	Eventos Naturais	46
5.1.3	Geração de Rotas	46
5.2	Perfis de Simulação	47
5.2.1	Descrição do Problema	47

5.2.2	Descrição da Representação Inicial do Problema	48
5.2.3	Cálculo da Classificação dos Parques	49
5.2.4	Perfil A	49
5.2.5	Perfil B	51
5.2.6	Perfil C	52
5.3	Sumário	54
6	CENÁRIOS DE TESTE E RESULTADOS	55
6.1	Áreas do Cenário	55
6.1.1	Rotas Definidas	56
6.2	Cenários de Teste	57
6.2.1	Sensores Utilizados	57
6.2.2	Sensor Intermédio	58
6.2.3	Sensor Transmissor	59
6.2.4	Classificação das Rotas	61
6.3	Cenário Final	63
6.3.1	Sensor Móvel	64
6.3.2	Cenário A	65
6.3.3	Cenário B	69
6.4	Discussão de Resultados	71
6.5	Limitações da Solução Proposta	72
6.6	Implementação do Sistema na Cidade de Braga	72
6.7	Dificuldades Encontradas	73
6.8	Sumário	76
7	CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	77
7.0.1	Trabalho Futuro	78
A	MATERIAL DE SUPORTE	83
A.1	Manual de Utilização	83

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1	Estacionamento <i>Outdoor</i> [32]	7
Fig. 2.2	Exemplo de um parquímetro [31]	7
Fig. 2.3	Parque <i>Indoor</i> [33]	7
Fig. 2.4	Execução do alg. de Dijkstra a partir de A até H [27]	15
Fig. 2.5	Exemplo de uma procura bidirecional [28]	16
Fig. 2.6	Ilustração Algoritmo A* [29]	17
Fig. 2.7	Display informativo do número de lugares livres [10]	18
Fig. 2.8	Sinal luminoso [10]	18
Fig. 2.9	Mapa da aplicação móvel [10]	19
Fig. 2.10	Área de cobertura do LA Express Park [18]	21
Fig. 3.1	Interface gráfica do UrbanSim [30]	24
Fig. 3.2	Simulação de um cenário com drones	27
Fig. 3.3	Simulação de uma rede de sensores	27
Fig. 4.1	Modelo Conceptual	37
Fig. 4.2	Modelo de Domínio	38
Fig. 5.1	Tipos de sensores do CupCarbon	44
Fig. 5.2	Sensor gerador e sensor interpretador de números	45
Fig. 5.3	<i>Scripts</i> associadas ao sensor S1 e S2 da Figura 5.2	45
Fig. 5.4	Evento natural responsável por gerar valores de temperatura	46
Fig. 5.5	<i>Market vs Route from markets</i>	47
Fig. 5.6	Representação inicial do problema	48
Fig. 5.7	Momento da escolha da rota - Perfil A	50
Fig. 5.8	Momento da escolha da rota - Perfil B	51
Fig. 5.9	Momento da escolha da rota - Perfil C	53
Fig. 6.1	Áreas de Estacionamento	55
Fig. 6.2	Rotas do cenário final	56
Fig. 6.3	Sensores do cenário final	58
Fig. 6.4	Exemplo de sensores intermédios	58
Fig. 6.5	Exemplo de um sensor transmissor	59
Fig. 6.6	Valores da qualidade do ar	60
Fig. 6.7	Valores da temperatura	60
Fig. 6.8	Rota 1 e 2	62
Fig. 6.9	Cenário final	63

Fig. 6.10	Cenário A - Primeiro ponto de decisão	66
Fig. 6.11	Alternativa 1 - Segundo ponto de decisão	67
Fig. 6.12	Destino final do nodo mobile - Alternativa 1	67
Fig. 6.13	Alternativa 2 - Segundo ponto de decisão	68
Fig. 6.14	Destino final do nodo mobile - Alternativa 2	68
Fig. 6.15	Cenário B - Primeiro ponto de decisão	69
Fig. 6.16	Cenário B - Segunda decisão	70
Fig. 6.17	Cenário B - Última decisão	70
Fig. 6.18	Cenário B - Posição final do nodo móvel	71
Fig. 6.19	Nodo de decisão S1 e nodo mobile	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tipos de estacionamento em função do tempo	11
Tabela 2	Vantagens e desvantagens dos vários sensores	14
Tabela 3	Comparação entre as várias ferramentas de simulação	26
Tabela 4	Escala de material de apoio	26
Tabela 5	Atributos dinâmicos e estáticos	39
Tabela 6	Valores registados no parque interior	50
Tabela 7	Valores registados no parque exterior	50
Tabela 8	Pesos atribuídos às variáveis no cenário A	65
Tabela 9	Pesos atribuídos às variáveis no cenário B	69

LISTA DE CÓDIGO FONTE

6.1	Código do sensor intermédio S ₂₃	58
6.2	Código do sensor transmissor S ₅	59
6.3	Cálculo da classificação da rota	62
6.4	Script associada a um sensor mobile	64
6.5	Script de um nodo de decisão	64
6.6	Script associada ao sensor 1	74

INTRODUÇÃO

Atualmente existem várias cidades que disponibilizam às populações soluções inteligentes para facilitar o seu dia-a-dia. Das cidades na vanguarda das Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) incluem-se Amesterdão e Barcelona. Estas cidades têm atualmente uma série de projetos promissores na área da mobilidade, energia, educação, resíduos, entre outros. Atualmente, a cidade de Braga está a aderir ao conceito de *Smart Cities* tendo presentemente vários projetos em mão, sendo eles: (i) a monitorização autónoma em tempo real das condições ambientais, conseguindo assim identificar mais facilmente os problemas ambientais com base num sistema constituído, atualmente, por uma rede de 9 sensores; (ii) a vigilância da qualidade da água, mais propriamente no rio Este, sendo a rede deste sistema constituída por um conjunto de sensores que recolhem em tempo real vários parâmetros, como por exemplo, o ph, a condutividade da água, os níveis de oxigénio e a temperatura.

Neste contexto surge a ideia de estudar a gestão do estacionamento nas várias zonas da cidade de Braga, tendo em vista definir uma solução que permita resolver problemas de engarrafamentos, de poluição, de gastos de combustível e de tempo dos automobilistas para encontrar um lugar de estacionamento da forma mais cómoda possível.

1.1 MOTIVAÇÃO

Desde a revolução industrial que as pessoas tiveram a necessidade de se deslocarem para áreas específicas onde era possível terem uma melhor qualidade de vida, quer a nível profissional, a nível de educação e a nível de cuidados de saúde. Daqui surgiu o conceito de cidade, local onde todas estas pessoas se aglomeraram. Um dos principais problemas da maioria das cidades é a densidade populacional. Com este aumento começaram a surgir vários problemas, como por exemplo, ambientais, socioculturais e governamentais. Surgiu assim a necessidade de reinventar a forma como as cidades estavam a ser geridas no intuito de resolver ou amenizar os problemas existentes. Desta forma, é imprescindível o uso das novas tecnologias a "nosso" favor com o objetivo da modernização dos serviços e gestão dos recursos garantindo um desenvolvimento mais sustentável das cidades. Daqui surgiu

o conceito de *Smart Cities*, que têm como objetivo tornar uma cidade mais auto sustentável, melhorando desta forma a qualidade de vida da população.

Atualmente vivemos num mundo cada vez mais acessível, existindo um aumento do número de cidades em desenvolvimento, por exemplo, Noruega, Áustria, Suíça, Holanda, Estados Unidos, entre outros. Este desenvolvimento permite aos cidadãos o acesso a vários recursos, por exemplo, a facilidade em adquirir um automóvel. Daí começam a surgir novos problemas nas grandes cidades, por exemplo, a nível de trânsito, poluição do ar, poluição sonora, poluição visual e, a nível de lugares de estacionamento. O número de lugares de estacionamento não acompanha o aumento do número de automóveis em circulação. Com isto, hoje em dia encontrar um lugar de estacionamento nas áreas metropolitanas pode ser um grande desafio para os automobilistas, podendo a procura tornar-se caótica se realizada em hora de ponta. O tipo de procura mais utilizada é a designada procura às "cegas", que consiste em fazer uma procura sequencial por um lugar na zona perto do destino final do automobilista [11]. Este tipo de procura é muito negativa para o automobilista pois, este perde muito tempo, gasta muito combustível, contribui para o congestionamento automóvel na área em questão, para não falar no aumento da poluição que este gera. De maneira a eliminar este tipo de problemas surgiram duas ideias chave:

- orientar/dar indicações (através de painéis informativos nos locais) aos automobilistas para os lugares livres de estacionamento [8];
- *Reservation-based Smart Parking System (RSPS)* [11], através deste sistema é possível que o automobilista reserve um lugar de estacionamento mesmo antes de sair de casa.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto de mestrado é estudar e desenhar cenários de gestão inteligente de estacionamento em ambiente urbano, que considerem aspetos como o número de lugares vagos numa dada área e o nível de poluição dessa respetiva área, para disponibilizarem em tempo real informação útil sobre estacionamento aos condutores de veículos. Para o efeito recorrer-se-á a um ambiente de simulação com interface gráfica, que será utilizado para prototipagem, teste e comparação de cenários de estudo.

Para atingir o principal objetivo proposto, uma série de outros objetivos têm de ser realizados:

- estudo do estado de arte de vários projetos implementados até ao momento;
- levantamento e estudo sobre várias ferramentas de simulação em ambiente gráfico;

- escolha da ferramenta que mais se adequa às necessidades deste problema;
- ambientação à ferramenta de simulação;
- construção do protótipo de testes em ambiente simulado e definição dos cenários em avaliação;
- análise dos resultados obtidos.

1.3 METODOLOGIA

De forma a atingir os objetivos delineados anteriormente este projeto será dividido em duas fases. Na primeira fase será feito um estudo do Estado da Arte, envolvendo a análise de casos práticos relacionados com o tema abordado neste projeto. Pretende-se, deste modo, obter um maior conhecimento sobre o domínio do problema, dos seus desafios e aspetos em aberto. Ainda nesta primeira fase vai ocorrer de forma paralela a ambientação à ferramenta de simulação escolhida, com experimentação de casos práticos mais simples.

Na segunda fase será definida a arquitetura do modelo de estacionamento inteligente e construído o respetivo protótipo. Serão propostos e avaliados os cenários de gestão inteligente de estacionamento, sendo realizadas as várias simulações e testes tendo em vista a análise comparativa de resultados para assim definir uma ou mais soluções para o problema inicial. De referir que no decorrer das duas fases identificadas será realizada de forma gradual a escrita da dissertação.

1.4 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

O presente documento encontra-se dividido em vários capítulos.

No Capítulo 1 é realizada uma breve introdução ao problema, de seguida são descritos os diferentes objetivos do projeto de dissertação e, a finalizar, é descrita a metodologia adotada para a realização do projeto, por exemplo, a forma como este vai ser dividido.

O Capítulo 2, Estado de Arte, começa com uma revisão bibliográfica sobre o tema geral *Smart Parking*, abordando de seguida os dois tipos de parques *outdoor* e *indoor*, *parking Management*, métricas de desempenho, desafios, gestão dos estacionamentos, os tipos de sensores mais usados na gestão dos parques e, a finalizar, são abordados três exemplos de projetos com sucesso de *Smart Parking*.

No Capítulo 3 são descritas as várias ferramentas de simulação. No início deste capítulo é realizada uma análise a cada ferramenta e, no final são comparadas as vantagens e desvantagens de cada uma delas. Após isto, é escolhida a ferramenta que mais se adequa ao problema, de acordo com alguns critérios.

No Capítulo 4 são descritos os tipos de clientes do sistema, os requisitos funcionais e não funcionais. De seguida, é proposto o modelo de domínio e o modelo conceptual com a descrição de cada entidade envolvida e suas relações. A fechar o capítulo são identificados os atributos dinâmicos e estáticos mais relevantes no sistema, por exemplo, índice de qualidade do ar, temperatura, estado do tempo, segurança da área de estacionamento, entre outros.

No Capítulo 5 é realizada uma pequena introdução à ferramenta escolhida, sendo realizada uma análise às características mais importantes desta ferramenta. De seguida, é apresentado um protótipo do sistema, neste protótipo são realizados três perfis de simulação distintos. Cada perfil, pretende simular um automobilista com diferentes preferências, por exemplo, preferência no parque que tiver a melhor qualidade de ar, ou, preferência pelo parque que apresentar um maior número de lugares livres.

No Capítulo 6 é descrito o cenário final de teste e seus resultados. O capítulo inicia com uma breve introdução da área de estudo no cenário, de seguida são explicados todos os detalhes do cenário, bem como todos os nodos envolvidos e rotas desenhadas. O cenário é composto por duas áreas, uma é referente à simulação dos automobilistas a deslocarem-se para a área comercial Braga Parque e, a segunda é, referente à simulação dos automobilistas a deslocarem-se para as áreas de estacionamento localizadas no centro da cidade de Braga. Este capítulo termina com uma análise às dificuldades encontradas relativas à parte do desenvolvimento.

No último capítulo, o Capítulo 7, é apresentada uma discussão geral sobre este projeto de mestrado, lembrando os objetivos iniciais. A fechar o capítulo são detalhados todos os aspetos a melhorar em trabalhos futuros.

ESTADO DE ARTE

Atualmente encontram-se múltiplas empresas a explorar vários projetos piloto na área de gestão inteligente de estacionamento (*Smart Parking*), por exemplo, SFpark em São Francisco [1], *LA Express Park* em Los Angeles [2], SIMERT em Espanha, entre outros. Com a constante evolução das tecnologias e suas virtualizações entramos numa área atualmente muito em voga, a Internet das Coisas (*Internet of Things*) [37]. Ao acompanhar toda esta evolução surgiu a ideia do *Smart Parking*, onde é possível gerir os lugares de estacionamento em tempo real, poupando assim tempo, custos, poluição e congestionamentos. Estes projetos piloto estão a ser implementados nos dois tipos de parques existentes, sendo eles, os parques *Indoor* e os parques *Outdoor*.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DE PARQUES

Parques Outdoor

Estes parques são os mais comuns na via pública (Figura 2.1) nomeadamente nas áreas mais próximas dos centros das cidades. São os mais procurados para o acesso ao comércio local, encontram-se normalmente dispostos ao longo das ruas de forma paralela ou perpendicular. Podem ser gratuitos ou pagos/taxados que é o mais comum para permitir um maior controlo dos lugares de estacionamento. No caso de taxados/pagos, são designados por Zona Azul ou Área Azul. Neste tipo de parques existe limite de tempo (15 minutos, 30 minutos, 1h ou 2h) com o intuito de obrigar a uma rotatividade dos automóveis, para que haja uma melhor mobilidade e acesso à zona de comércio e de serviços.

Cada área de estacionamento dispõe normalmente de um parquímetro (Figura 2.2), que está associado a N lugares. O parquímetro tem apenas a função de impor um limite de tempo indiretamente ao e cobrar as respetivas taxas associadas a um tempo limitado.



Fig. 2.1. Estacionamento *Outdoor* [32]



Fig. 2.2. Exemplo de um parquímetro [31]

Parques Indoor

Este tipo de parques (Figura 2.3) é o mais comum em sítios, por exemplo, em centros comerciais, hospitais, aeroportos, entre outros. Podem ser taxados ou não dependendo assim da política local. Atualmente a maioria destes parques dispõe de sistemas onde informam os automobilistas do número de lugares livres (tempo real) em cada área do parque, permitindo assim ao automobilista tomar as suas decisões em função da informação disponibilizada.



Fig. 2.3. Parque *Indoor* [33]

2.2 GESTÃO DE PARQUES

Uma pesquisa recente mostrou que, nas horas de maior tráfego automóvel, aproximadamente 40% do tráfego é gerado por automobilistas que procuram um lugar livre para estacionar [5] e que, o tempo de cruzar uma área de grande afluência automóvel e encontrar um estacionamento demora cerca de 3.5 a 14 minutos [25]. Uma outra pesquisa realizada na cidade de Los Angeles mostrou que, a distância total feita pelos automóveis na procura de estacionamento era equivalente a dar 38 voltas ao mundo, resultando na emissão de aproximadamente 730 toneladas de dióxido de carbono durante o período de um ano [23]. Como existe um maior número de automóveis em relação ao número de lugares de estacionamento, a procura de estacionamento torna-se um processo moroso para os automobilistas, nomeadamente nas horas de maior congestionamento automóvel. Um pesquisa [25] mostrou que os automóveis ligeiros passam a maioria do tempo estacionados cerca de 95% do tempo e, relativamente aos automóveis pesados essa percentagem é de cerca de 85%.

Para tentar solucionar esse problema ao longo da última década, foram apresentados vários modelos de orientação de procura de estacionamento inteligente, sendo eles:

Modelos de Orientação

- Procura Cega (*Blind Search*): é um tipo de procura usada quando os automobilistas não têm qualquer informação sobre a localização dos lugares livres de estacionamento. Neste caso, os automobilistas fazem uma procura até uma distância limite (subjéctiva entre cada motorista) do seu destino. Só terminam a procura quando encontrarem um local de estacionamento. Caso não encontrem um lugar fazem uma nova procura numa nova área (perto da anterior)[6];
- Partilha de Informação de Estacionamento (*Parking Information Sharing - PIS*): neste método existe a partilha de informação entre os veículos, estes estão equipados com sensores que conseguem detetar os lugares de estacionamento [7]. Após a recolha da informação, o automóvel envia a informação para os restantes automóveis que se encontrem naquela área. Este método gera problemas em hora de ponta, pois se existir um número pequeno de lugares de estacionamento pode levar a que os restantes automóveis se desloquem para a mesma área, levado assim ao congestionamento da mesma. Este fenómeno é designado por "*multiple-chasing-single space*" [6];
- Buffered PIS (BPIS): este método foi desenvolvido para resolver o problema do "*multiplicar-chasing-single space*" no PIS. É um método parecido com o PIS, mas este tem uma pequena modificação, é reduzido o número de vagas disponíveis em relação ao número real de vagas. Desta forma é criado um *buffer* para tentar minimizar os problemas

de congestionamento. Mesmo assim, em casos extremos, pode haver problemas, pois se o *buffer* for muito grande a taxa de ocupação dos lugares livres é muito baixa. Da mesma forma, se o *buffer* for demasiado pequeno, volta a haver o problema do "*multiplicar-chasing-single space*" [6][22];

- Reservation-based Smart Parking System (RSPS): este método permite a um automobilista fazer uma reserva de um lugar de estacionamento de forma antecipada (antes de chegar à área de estacionamento). Um dos critérios com maior peso para este método é a distância ao destino final (distância entre o estacionamento e o destino pretendido). O sistema tenta escolher o lugar de estacionamento livre mais próximo do destino desejado do automobilista [6];
- Parking Service Providers (PSPs): este método de orientação disponibiliza dois tipos de informação em tempo real através de uma plataforma online. Fornece o estado do número de lugares livres da área de estacionamento (escolhida pelo automobilista) e, a probabilidade de estes mesmos lugares estarem livres quando o automobilista chegar à área. É considerado um sistema dinâmico, pois garante que o automobilista seja redirecionado para uma nova área de estacionamento se a área inicial começar a ficar ocupada, evitando assim que o automobilista chegue ao local e não consiga obter um lugar de estacionamento, diminuindo assim o congestionamento automóvel dessa mesma área [23].

Obtenção de estacionamento

Atualmente existem três formas para um automobilista obter um lugar de estacionamento, estas dependem da forma de como as áreas de estacionamento são geridas.

- Direta: é a mais usual e a mais simples. Um automobilista obtém um lugar de estacionamento quando chegar ao local e escolhe um lugar livre de acordo com as suas preferências. Este método tem como base o modelo de orientação "procura cega" (*Blind Search*);
- Reserva: este método é usado atualmente em algumas cidades. Com este método é possível ao automobilista reservar um lugar de estacionamento antes de iniciar a sua viagem. Neste método o automobilista requisita um lugar de estacionamento com um dada hora de início e fim;
- Previsão: com exceção da reserva, a previsão é a forma mais comum de se obter um lugar de estacionamento. Atualmente os sistemas de gestão de estacionamento recolhem uma grande quantidade de dados (*Big Data*), por exemplo, as áreas de estacionamento mais procuradas em determinados períodos de tempo, ou até mesmo o

comportamento de cada automobilista (tipo de estacionamento preferido, zonas preferidas, horários mais usados, etc). Usando toda esta informação recorrendo a técnicas de *Machine Learning*, o sistema consegue fazer várias previsões indicando um lugar de estacionamento ao automobilista da forma mais eficiente possível, diminuindo assim o tempo de procura e o o trânsito na área envolvente.

Atualmente existem vários modelos que são usados para fazer estas previsões. Wu [8][24] introduziu 5 métodos de previsão, são eles:

- taxa de geração de estacionamento;
- população de veículos;
- uso da área e análise do impacto do tráfego;
- viagem de interesse baseada em dados de origem-destino;
- regressão multi-variável baseada em materiais históricos.

2.3 MÉTRICAS DE DESEMPENHO

Segundo Hongwei Wang e Wenbo He [11], existem duas métricas essenciais para avaliar o desempenho dos métodos implementados nos sistemas de estacionamento inteligente. Estas refletem a disposição dos automobilistas, a preocupação sobre o congestionamento do trânsito e, poluição ambiental. São elas:

- Distância a pé: é a distância entre o estacionamento e o destino final que o automobilista pretende ir. É uma importante métrica, pois os automobilistas tendem a procurar os estacionamentos mais perto do seu destino final. Esta métrica é a métrica mais importante no modelo RSPS, pois os automobilistas selecionam o estacionamento de acordo com esta métrica[6][22];
- Volume de Tráfego: o volume de tráfego é a quantidade de tráfego gerada pela procura de um lugar de estacionamento por parte dos automobilistas. Este fator não é negligenciável, é associado ao congestionamento do tráfego é à poluição do ar. O sistema de estacionamento baseado em reserva de lugar (RSPs) tem como um dos objetivos principais a redução do tráfego na área em questão, bem como, satisfazer as necessidades dos automobilistas (facultar um lugar perto do destino)[6][22].

2.4 TIPOLOGIA DA PROCURA DE ESTACIONAMENTO

Existem diferentes tipos de estacionamento [4], a caracterização destes depende do motivo da viagem. É considerado um estacionamento de curta duração se este for inferior a uma

hora, de média duração se for entre uma e quatro horas e, de longa duração se for um estacionamento com uma duração superior a quatro horas (Tabela 1).

Tipo de Estacionamento	Duração	Exemplo
Curta duração	<5 minutos	Entrada e saída de passageiros, atendimento de chamada telefónica, ida ao multibanco e ida ao quiosque
	5 - 30 minutos	Realização de compras e entrega de serviços
	30 - 60 minutos	Refeições e consultas
Média duração	1 - 4 horas	Reuniões de trabalho, compras e lazer
Longa duração	>4 horas	Trabalho e residentes

Tabela 1. Tipos de estacionamento em função do tempo

2.5 DESAFIOS

Os sistemas inteligentes de gestão dos parques de estacionamento são bastantes complexos, pois requerem a coordenação e sincronização entre várias partes (hardware e software). Em sistemas desta complexidade podem ocorrer diversos problemas, o que pode comprometer a integridade de todo o sistema. Por exemplo, conflitos de pedidos de reserva em simultâneo, é imprescindível o controlo de concorrência de todos pedidos feitos ao sistema.

Pontos a ter em conta no sistema:

- *Reservation Performance*: o sistema PSPs utiliza *Wi-Fi* ou dados móveis. Desta forma, os automobilistas podem ver em tempo real o estado do parque de estacionamento e fazerem uma reserva de um lugar de estacionamento. Existe um entrave, é quando um elevado número de utilizadores tenta em simultâneo reservar um lugar na mesma área. Neste caso o sistema tem de sincronizar todos os pedidos e realizar cada pedido com um certa ordem e critério. Isto reduz o desempenho do sistema, podendo causar conflitos. Para contornar este problema é usual utilizar um sistema distribuído, para minimizar a ocorrência de conflitos nas reservas de estacionamento. Desta forma, quando um automobilista realizar um pedido de reserva, o sistema reenvia o pedido para um sistema mais pequeno (subsistema) em que este está responsável apenas por uma área [11];
- *Data Collection and Local Presentation*: o sistema armazena um elevado número de informação essencial, nomeadamente todos os dados de métricas, desempenhos, estado atual do estacionamento, local de estacionamento, dados de utilizador, entre outros. Desta forma permite ao utilizador (automobilista) verificar qualquer informação em tempo real (ver lugares livres, reservar lugar). De modo a que esta informação esteja segura existem cópias de toda a informação em diferentes lugares (vários *backups*) criando assim redundância no sistema. Estes encontram-se todos sincronizados [11];

- Verificação da identidade dos utilizadores: a partir do momento em que um espaço é reservado, o sistema deve verificar a identidade do automobilista e, caso este esteja num lugar que não seja destinado a si, o sistema tem a capacidade de mandar um alerta. Tudo isto recorrendo à rede *Wi-Fi* ou dados móveis. Caso o utilizador não esteja conectado à rede por *Wi-Fi* ou mesmo por dados móveis, este é notificado via *Bluetooth* [11];
- Controlo de tempo das reservas: o automobilista reserva um lugar de estacionamento com uma hora de início e uma de fim. O sistema tem de ter a capacidade de controlar os horários de reserva garantindo a maior rentabilidade possível, permitindo um atraso ao automobilista de um tempo pré-definido de acordo com as políticas da área de estacionamento, após o término desse tempo o lugar de estacionamento fica disponível para um novo automobilista [22].

2.6 TIPOS DE SENSORES

Atualmente existe uma grande variedade de sensores que podem ser usados para monitorizar os parques de estacionamento. Cada sensor apresenta um conjunto de características o que leva a que existam sensores específicos para determinados ambientes. Por exemplo, existem sensores mais indicados para ambientes fechados, estes são mais usados na monitorização de parques *indoor* e, outros mais indicados para ambientes abertos (parques *outdoor*).

2.6.1 Infravermelhos

Sensores infravermelhos passivos (SIP), estes sensores são muito sensíveis à variação da radiação infravermelha emitida pelos veículos. Qualquer veículo seja a combustão ou elétrico apresenta na sua superfície várias áreas em que a temperatura é superior a zero graus, por exemplo, a zona do capô ou até a superfície dos pneus. Desta forma, é fácil para o sensor de infravermelhos detetar a presença do automóvel no lugar de estacionamento. Estes sensores são os mais usados em parques *indoor* [8][25].

2.6.2 Ultra-sónicos

Um sensor ultra-sónico é composto por um emissor e um recetor, podendo o emissor e o recetor estar no mesmo conjunto ou separados, isto depende do posicionamento relativo desejado e do que se pretende monitorizar. O emissor emite uma onda sonora a cada 60 milissegundos, esta onda está situada entre 25 kHz e 50 kHz. A onda emitida é refletida

pelas superfícies sólidas, por exemplo, a superfície dos automóveis. Após estas serem refletidas, um recetor recebe as ondas determinando assim distância e a posição do automóvel. Conseguindo assim detetar o automóvel na área de estacionamento [8][26].

2.6.3 *Acelerómetros*

Estes sensores são usados para detetar e monitorizar vibrações em sistemas mecânicos. Funcionam através da captação de vibrações no solo, quando um automóvel entra na área de cobertura do sensor este aplica uma força sobre o acelerómetro provocando diferentes vibrações. Este sensor é usado como complemento com outros sensores na deteção dos automóveis [8].

2.6.4 *Óticos*

Atuam sobre as alterações de luz. Este sistema é composto por dois sensores, um que emite um feixe de luz e outro que recebe. O feixe luminoso emitido neste tipo de sensores pode ser de três tipos, luz vermelha, laser vermelho e infravermelho. Cada tipo é indicado para determinado cenário. A luz vermelha é indicada para a deteção de objetos opacos de grandes e médias dimensões, o laser vermelho é indicado para fazer medições e deteções mais precisas (objetos de pequenas dimensões) e, infravermelha é usada para detetar objetos transparentes, como exemplo, vidros, plásticos, etc. Quando um veículo interromper o feixe de luz, o sensor deteta a presença do automóvel. Este tipo de sensor é indicado para ambientes com pouca luminosidade para evitar possíveis interferências, desta forma são mais indicados para parques *indoor* [8].

2.6.5 *Manómetros e Sensores Piezoelétricos*

Estes sensores captam as mudanças de pressão da superfície, aceleração, temperatura e esforço, convertendo-as numa carga elétrica. Desta forma, quando um automóvel entra na área de controlo do sensor este exerce uma pressão permitindo ao sensor identificar a presença do automóvel [8].

2.6.6 *Câmaras e Sensores Acústicos*

São os mais precisos, pois as câmaras têm a capacidade de detetar sem nenhuma margem de erro quando um automóvel está na sua área de visão, conseguindo detetar a posição do automóvel na área de estacionamento. Normalmente, também são usados em funciona-

mento paralelo sensores acústicos. Desta forma, o ruído é também usado para melhorar a precisão da deteção dos automóveis [8].

2.6.7 Comparação dos Sensores

Na Tabela 2 são identificadas as diferentes vantagens e desvantagens relativas aos sensores anteriormente descritos.

Sensor	Vantagens	Desvantagens
Infravermelho	- Fácil de implementar - Baixo custo de implementação - Bom desempenho em parques interiores	- Baixa precisão em parques exteriores devido à elevada temperatura na época de Verão
Ultra-sónico	- Fácil de implementar - Baixo custo de implementação - Consegue detetar mais que um automóvel	- Baixa precisão na deteção de automóveis elétricos
Acelerómetro	- Fácil de implementar	- Baixa precisão em parques exteriores devido às vibrações transmitidas por outros automóveis
Ótico	- Fácil de implementar - Bom desempenho em parques interiores	- Baixa precisão em parques exteriores devido à elevada luminosidade durante o dia
Piezoelectrico	- Fácil de implementar	- Alto custo de implementação - Baixa precisão na deteção de veículos de reduzidas dimensões
Câmeras e Sensores Acústicos	- Muito preciso - Vários tipos de informação extra - Bom desempenho em parques interiores e exteriores	- Elevado custo de implementação e de manutenção

Tabela 2. Vantagens e desvantagens dos vários sensores

Os sensores mais usados atualmente em parques *indoor* são os sensores infravermelhos e a junção das câmeras e sensores acústicos em parques *indoor* e parques *outdoor*.

2.7 ALGORITMOS DE SELEÇÃO DE ROTAS

Existem sistemas de apoio ao estacionamento que após a escolha e atribuição do lugar de estacionamento, o sistema orienta o automobilista para o respetivo lugar. Este deve orientar da forma mais curta e mais rápida. Para isso são usados vários algoritmos de planeamento de rotas a seguir descritos.

2.7.1 Algoritmo de Dijkstra

Este algoritmo foi desenvolvido pelo holandês Edsger Dijkstra em 1956 [34]. Resolve o problema do caminho mais curto num grafo orientado, trata-se de um algoritmo *greedy* pois só funciona em grafos com pesos não negativos. Este calcula o menor caminho entre dois destinos (A->H), como é exemplificado na Figura 2.4.

Complexidade: $O(|E| + |V| \log |V|)$, em que E é o número de arestas e V o número de vértices. Inicialmente todos os vértices são "marcados" a não visitados. Após isso, insere-se um vértice numa fila de espera e vai-se visitando todos os adjacentes marcando estes a visitados ($|V| \log |V|$) [27].

Exemplo prático:

Um automobilista antes de sair de casa reserva um lugar de estacionamento através do sistema. Havendo várias alternativas para chegar ao lugar reservado (vários caminhos), o sistema com base no algoritmo de Dijkstra mostra o melhor caminho ao automobilista para chegar ao respetivo lugar. Consoante ilustrado na Figura 2.4, o nodo A representa de uma forma simplista um automobilista a inicializar a sua viagem e, o nodo H representa o destino final (lugar de estacionamento).

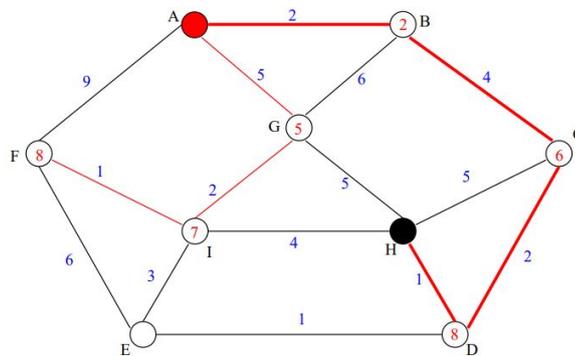


Fig. 2.4. Execução do alg. de Dijkstra a partir de A até H [27]

2.7.2 Bidirectional Search

Este algoritmo usa o algoritmo de *Dijkstra*, mas de um forma mais eficiente pois executa em simultâneo duas procuras. Uma procura do caminho mais curto desde a origem até ao destino, e do destino até à origem, como exemplificado na Figura 2.5. A procura do caminho mais curto termina quando as duas procuras se intersectam a meio do percurso [28].

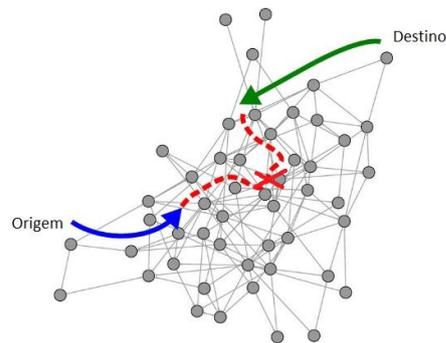


Fig. 2.5. Exemplo de uma procura bidirecional [28]

2.7.3 Algoritmo de Floyd-Warshall

Este algoritmo calcula o caminho mais curto (com menor custo) entre dois vértices num grafo orientado. Foi publicado por Robert Floyd em 1962 [35]. Este recebe como *input* um grafo numa representação matricial, o grafo não pode ter ciclos e pode ter pesos de arestas negativas (no Dijkstra este caso não é possível).

A ordem de complexidade é de:

$$\theta(|V^3|)$$

Onde V representa o número de vértices no grafo [27].

2.7.4 Algoritmo A^*

Este algoritmo foi datado a primeira vez em 1986 [36] por Peter Hart, Nils Nilsson e Bertram Raphael, designado por Algoritmo A. Passou a ser conhecido mais tarde por A^* .

É um algoritmo de procura, dá como solução um caminho entre um vértice inicial A e um vértice final B (Figura 2.6). Para isto recorre a aproximações heurísticas. Este algoritmo é usado muitas vezes na resolução de rotas entre várias localidades [28].

Exemplo da Execução do Algoritmo A^*

Seja:

Q = conjunto de nós a serem visitados;

S = estado inicial da pesquisa;

1. inicializar Q com o nó de pesquisa S como única entrada;

2. se não existir nenhum nó em Q parar. Caso contrário, escolher o melhor elemento de Q ;
3. se o estado (n) é um destino, retornar n ;
4. se não, remover n de Q ;
5. encontrar os vértices adjacentes do estado (n) que não foram ainda visitados, e gerar todos os adjacentes de n para cada vértice adjacente;
6. adicionar os caminhos encontrados a Q e voltar ao passo 2.

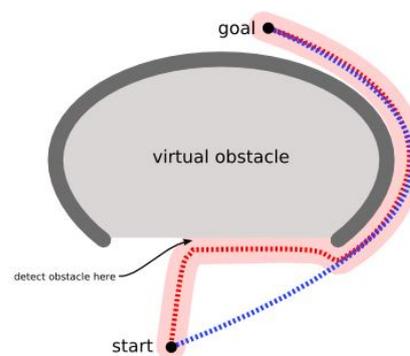


Fig. 2.6. Ilustração Algoritmo A* [29]

2.8 PROJETOS NA ÁREA

Atualmente existem inúmeros sistemas implementados de gestão inteligente de estacionamento (*Smart Parking*) em diversas cidades como exemplo, em São Francisco, Los Angeles, Paris, São Paulo, entre outras. Todos estes sistemas implementados têm três objetivos em comum. São eles:

1. facilitar a obtenção de um lugar de estacionamento ao automobilista seja na hora ou previamente (através de reserva);
2. reduzir o trânsito nas áreas de maior afluência (por exemplo áreas comerciais e centrais);
3. reduzir a poluição local (por exemplo ao reduzir o tempo de procura por um lugar de estacionamento).

De seguida são apresentados alguns desses sistemas de *Smart Parking* implementados.

2.8.1 Onde Parar

Este projeto foi implementado na cidade de São Paulo, nomeadamente nas ruas de Águas de São Paulo. O sistema permite saber em tempo real o número de vagas disponíveis em cada rua. No início de cada rua existe um painel informativo (Figura 2.7) onde é possível observar o número de vagas naquele preciso momento. Além disso, o sistema dispõe de uma aplicação móvel onde é possível ao automobilista ver através de um mapa virtual (Figura 2.9) o estado atual do número de vagas referente a cada rua e também, este obter as indicações necessárias para chegar à rua pretendida. Cada lugar de estacionamento é monitorizado por um sensor ótico e um pequeno sinal luminoso (Figura 2.8). Através deste sinal luminoso os automobilistas conseguem localizar de uma forma mais rápida a localização do lugar de estacionamento livre. Este sinal luminoso apresenta duas cores alternativas sendo elas, o verde ou o vermelho, consoante disponibilidade do lugar de estacionamento. (livre ou ocupado)[9][10].



Fig. 2.7. Display informativo do número de lugares livres [10]



Fig. 2.8. Sinal luminoso [10]

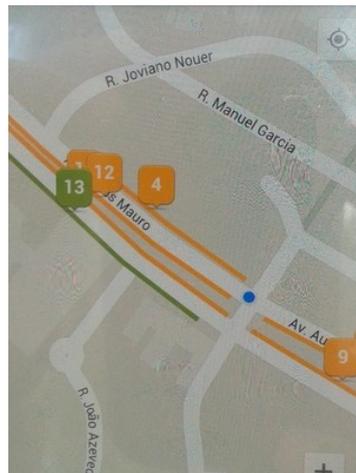


Fig. 2.9. Mapa da aplicação móvel [10]

2.8.2 SFpark

São Francisco é uma cidade localizada no estado da Califórnia, sendo a 2^a cidade com maior densidade populacional dos Estados Unidos. Conta com cerca de 6.633 habitantes por quilômetro quadrado. Desta forma a cidade sofre com altos níveis de congestionamento que são causados pelo excesso de veículos e também pela procura de lugares de estacionamento nas áreas centrais da cidade por parte dos automobilistas. De acordo com um estudo realizado [17], 34% do congestionamento é causado por automobilistas que procuram um lugar para estacionar. No sentido de solucionar o problema do congestionamento e da poluição local (causada pelos veículos à procura de estacionamento) surgiu o projeto SFPark.

Este tem como principal objetivo diminuir o tempo de procura por um lugar de estacionamento bem como também diminuir o tempo de circulação dos automóveis nas áreas mais críticas. O sistema disponibiliza informações em tempo real da localização das vagas de estacionamento disponíveis, permitindo assim ao automobilista tomar as suas próprias decisões. Este sistema foi implementado em áreas onde já existia a cobrança por sistemas convencionais (parquímetros). Cada lugar de estacionamento tem um sensor que capta o seu estado, para assim enviar a informação ao sistema.

O sistema tem a particularidade de atribuir tarifas dinâmicas. Os preços vão oscilando ao longo do dia. Por exemplo, fica mais barato estacionar os automóveis antes das 7:30h da manhã e depois das 19h, desta forma o sistema recompensa os automobilistas que não utilizem os seus automóveis nas horas de maior congestionamento. Com a implementação do SFPark foi possível fazer uma quantificação do número de lugares existentes na cidade, pois era muito difícil de estimar a quantidade de lugares de estacionamento existentes. Adicionalmente, a ocupação geral das ruas ficou melhor distribuída e o tempo de procura diminuiu drasticamente.

A implementação deste sistema teve um custo de cerca de 30 milhões de euros. Até ao ano de 2011 o sistema foi implementado em 7 mil dos 28 mil lugares de estacionamento com parquímetro na cidade de São Francisco, e em cerca de 12 mil vagas em parques de estacionamento (*indoor*). O que permite ao automobilista tomar as suas decisões mesmo antes de sair de casa, pois, por exemplo, se a área a que se pretende dirigir estiver muito cara é sinal que está muito congestionada, podendo assim o automobilista optar por usar os transportes públicos.

O SFPark é dividido em 4 partes principais:

- captação da informação: informação recolhida pelos sensores nos lugares de estacionamento;
- transferência da informação desde os sensores até servidores;
- armazenamento da informação e seu respetivo processamento;
- distribuição da informação: a informação neste sistema pode ser acedida de duas formas, nos *smartphones* e em *displays* dispostos em cada rua onde a informação é disponibilizada em tempo real.

O pagamento é também realizado de duas formas:

- pelos parquímetros disponibilizados nas ruas;
- ou via *mobile*: com *paypal*, cartão de débito ou crédito.

2.8.3 LA Express Park

Los Angeles é a segunda cidade com mais população dos Estados Unidos, conta com aproximadamente 3,8 milhões de habitantes. Um dos maiores problemas reportados nestas cidades é o trânsito, pois existe um elevado número de automóveis, gerando assim momentos caóticos nas horas de ponta.

No sentido de resolver este problema surgiu em 2012 o projeto LA Express Park [18]. Este projeto tem como objetivo reorganizar os espaços de estacionamento no centro da cidade, diminuir o congestionamento automóvel e reduzir consequentemente o nível de poluição da cidade. Este sistema controla uma área no centro da cidade (Figura 2.10) com cerca de 4.5 milhas quadradas (11.65 km²). O sistema controla os preços de cada lugar de estacionamento de forma dinâmica. Ou seja, os preços variam de acordo com vários fatores (por exemplo na hora da procura e a taxa de procura). Quando a procura pelos estacionamentos é elevada, o preço dos estacionamentos disparam, quando a procura é baixa os preços são

mais baixos. Desta forma o sistema incentiva os automobilistas a usarem os transportes públicos, pois fica mais barato para os automobilistas e o tráfego reduz drasticamente.

O sistema é composto por cinco componentes principais:

- parquímetros tecnológicos;
- sensores de lugares de estacionamento;
- sistema de assistência ao estacionamento em tempo real;
- sistema integrado de gestão de estacionamento;
- centro de gestão de estacionamento - LADOT.



Fig. 2.10. Área de cobertura do LA Express Park [18]

2.9 SUMÁRIO

Este capítulo começa com uma breve introdução aos dois tipos de parques existentes, sendo eles, os parques *outdoor* e os parques *indoor*. Os parques *outdoor* são áreas de estacionamento ao ar livre, os lugares de estacionamento destes parques estão normalmente localizados ao longo das ruas. Caso estes parques sejam taxados existem vários parquímetros responsáveis por cobrar o período de estacionamento. Isto garante a que exista uma rotatividade dos lugares ocupados. Geralmente o máximo de tempo que um automóvel pode estar a ocupar o lugar é cerca de duas horas. Já os parques *indoor* são normalmente parques com cobertura, a maioria são parques subterrâneos, geralmente estes parques são pagos, mas não existe limite de horas de estacionamento como no caso dos parques *indoor*.

Cerca de 40% do trânsito é gerado pelos automobilistas que procuram um lugar de estacionamento. Daqui foram abordados cinco tipos de modelos de procura de estacionamento, sendo eles, *Blind Search*, *Parking Information Sharing*, *Buffered PIS*, *Reservation-based Smart Parking System* e, *Parking Service Providers*.

Após isto foram identificados os sensores mais usados na gestão deste tipo de parques. Foram identificados cinco tipos de sensores. Destes cinco os mais usados são os sensores infravermelhos e a dupla câmeras e sensores acústicos. O primeiro é mais usado em parques *indoor* e o segundo conjunto em parques *outdoor* e *indoor*.

Para que alguns tipos de sistemas sejam eficientes a indicar um lugar de estacionamento é fundamental que estes forneçam as melhores indicações possíveis, desde o percurso com menor distância, ou até o percurso que apresente menos trânsito. Neste sentido foram apresentados os algoritmos mais usados no cálculo de rotas para os automóveis, algoritmos de *Dijkstra*, *Floyd-Warshall*, *A** e, algoritmo de *Floyd-Warshall*. A fechar este capítulo foram apresentados vários projetos implementados com sistemas de gestão inteligente de estacionamento. Por exemplo, o "Onde Parar" implementado na cidade de São Paulo, o "SFPark" implementado na Califórnia e o "LA Express Park" implementado em Los Angeles. Para que isto seja possível os parques possuem infraestruturas que possibilitam a difusão da informação em tempo real dos lugares de estacionamento (localização dos lugares livres). Para controlar a elevada procura dos estacionamentos em determinadas zonas estes parques usam a política do preço dinâmico. Esta consiste em fazer variar os preços de acordo com a taxa de procura e com os períodos do dia. Por exemplo, em horas de ponta os preços disparam. Desta forma vai encorajar os automobilistas a usarem os transportes públicos para se deslocarem até ao local pretendido.

No capítulo seguinte são abordadas as ferramentas de simulação mais conhecidas.

FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

Atualmente, existe no mercado existem uma grande variedade de ferramentas de simulação orientadas a *IoT* e Cidades Inteligentes. Por exemplo, o InterSCSimulator, UrbanSim, Cup-Carbon, SimCitym, Cities Skylines, entre outras. Um grande leque destas ferramentas são pagas, e outras são gratuitas. Ao longo deste capítulo serão analisadas as características de cada ferramenta, comparando as vantagens e desvantagens de cada uma. Após a análise e comparação entre as diferentes ferramentas, é feita a escolha da que mais se adequará para este projeto. Uma das principais características com mais peso para a escolha será o facto de a ferramenta ser gratuita.

3.1 URBANSIM

O UrbanSim [12] é uma plataforma de simulação gratuita em ambiente 3D. Esta foi desenvolvida por Paul Waddell na universidade da Califórnia. Nesta plataforma é possível simular o planeamento e análise do desenvolvimento urbano. Para o desenvolvimento da plataforma houve a participação de vários colaboradores das mais variadas áreas, fazendo com que seja possível construir simulações em ambiente gráfico com várias interações entre as mais variadas áreas, como exemplo, economia e ambiente. Por exemplo, é possível simular a interação entre a área de simulação (zona de estacionamento pretendida) com a economia local e o com meio ambiente dessa mesma zona. O UrbanSim permite aos utilizadores inserirem vários dados correspondentes à área a que estes pretendem estudar, após isso, é possível criar vários modelos dessa mesma área de acordo com os dados que foram inseridos. No final da simulação, o UrbanSim, fornece um grande conjunto de dados e além disso, é fornece um modelo 2D e 3D do cenário final (Figura 3.1). Esta plataforma tem a particularidade de ter um ótimo desempenho a nível de escalabilidade. Para que isto seja possível é usada uma plataforma onde é possível fazer simulações na nuvem, permitindo assim que sejam executadas várias simulações em simultâneo.

O UrbanSim já foi e é usado em vários projetos um pouco por todo o mundo, como exemplo, em Detroit, Michingan, Utah, São Francisco, Califórnia Washington, Paris, Bruxelas, Bélgica e em Zurique.

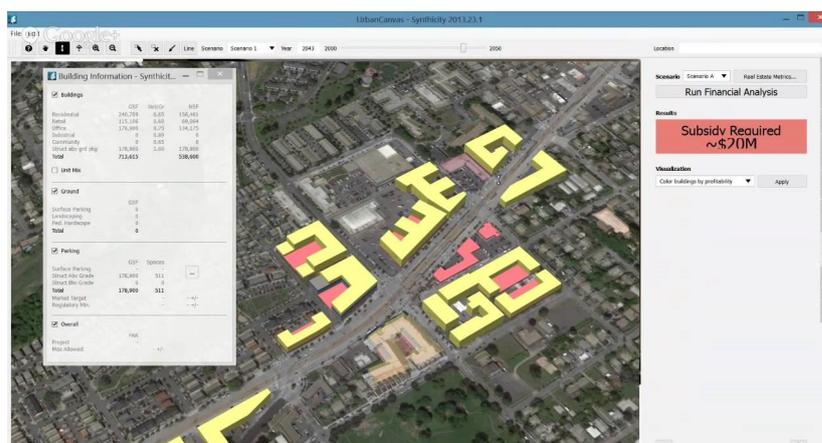


Fig. 3.1. Interface gráfica do UrbanSim [30]

3.2 SIMCITY

O SimCity é um simulador 3D em que o utilizador constrói e simula uma cidade [13]. Foi criado por Will Wright em 1989. O simulador conta atualmente com uma ampla gama de versões. Apesar de não ser gratuita é uma boa opção de simulação, pois é possível simular inúmeras coisas que acontecem no dia a dia nas grandes cidades. Permite simular o controlo de resíduos, controlo de sistemas elétricos, agricultura, construção de cidades a partir do zero e até mesmo simular protestos de cidadãos contra desflorestação e poluição. Este simulador é mais orientado para a área do *gaming*.

3.3 CITIES: SKYLINES

Cities Skylines é um ambiente de simulação de *smart cities* [14]. Foi lançado em 2015 pela Paradox Interactive. Permite aos utilizadores fazerem uma gestão muito completa de uma cidade. É possível simular todo um planeamento urbano, desde construção de estradas, serviços públicos, transportes públicos, orçamentos de saúde, gestão de emprego, simulação da poluição (terra, água e ruído). De uma forma mais particular, este ambiente de simulação permite a construção de parques de estacionamento e a sua posterior gestão, permitindo simular a ocupação do estado dos estacionamentos. Uma das desvantagens é não ser gratuita.

3.4 CITIES IN MOTION

Cities in Motion é um jogo de simulação de trânsito em *smarts cities*, foi lançado em 2011 pela Microsoft [15]. Um dos principais objetivos do simulador é permitir ao utilizador gerir

toda uma rede complexa de transportes públicos em 4 cidades europeias (Amesterdão, Berlim, Helsínquia e Viena). O utilizador pode construir e gerir toda uma rede de transportes (redes de metro, barcos, elétricos, táxis, autocarros), bem como a construção de parques de estacionamento locais. As redes de transportes afetam o negócio local, pois uma zona com bom acesso de transportes públicos e de parques de estacionamentos é uma boa zona de negócio. Desta forma é possível simular o crescimento da cidade de acordo com a gestão dos transportes e de parques.

Este simulador apresenta uma desvantagem, pois não é gratuita.

3.5 IOTIFY - SMART CITY SIMULATION

Iotify é um simulador que permite desenvolver simulações em nuvem [16]. Tem a particularidade de ter uma ótima escalabilidade pois permite correr em simultâneo várias simulações. Por exemplo, permite simular recolha de resíduos urbanos. Desta forma, é possível analisar o estado de cada caixote de lixo e traçar a rota mais eficiente para os camiões efetuarem a recolha, evitando assim deslocações dos camiões a zonas onde não seja necessário efetuar a recolha do lixo, diminuindo o custo da operação de forma significativa. Permite simular zonas de estacionamento inteligente onde é possível simular dados em tempo real, por exemplo, a localização dos estacionamentos livres, condições de estacionamento pois mesmo que haja um lugar livre as condições para o automobilista podem não ser favoráveis (temperatura elevada, humidade, precipitação). Permite também simular a iluminação pública e rede de transportes públicos.

Uma das desvantagens deste simulador é que a versão gratuita é muito limitada.

3.6 CUPCARBON

O CupCarbon é uma ferramenta de simulação que foi especialmente concebida para o estudo de aspetos relacionados com *Smart Cities* e *IoT*. Nesta ferramenta é possível simular rotas com nodos fixos e móveis, o que é uma característica essencial para este projeto. O CupCarbon disponibiliza dois ambientes de simulação:

1. o primeiro ambiente permite a construção de cenários de mobilidade e a geração de ocorrências naturais, como, por exemplo, UAVs (*Unmanned Aerial Vehicle*) mais conhecidos por *drones* (Figura 3.2), insetos, entre outros;
2. o segundo ambiente representa um ambiente de simulação de eventos em redes de sensores sem fios, que leva em consideração o primeiro ambiente.

A implementação de sensores é feita de uma forma muito intuitiva, usando a estrutura *Open Street Map* (OSM). Desta forma é possível implementar os sensores diretamente no

mapa. Para configurar os sensores é utilizada uma *script*. Com a versão atual, o CupCarbon permite configurar nós de forma dinâmica, podendo assim posicionar os nós em redes separadas ou até mesmo juntar redes diferentes. O CupCarbon permite também a construção de rotas em que estas rotas têm em conta o sentido do trânsito das respetivas ruas.

3.7 ESCOLHA DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

A escolha da ferramenta teve em conta um conjunto de parâmetros chave, sendo eles:

- ser gratuita;
- ter um bom suporte: receber *updates*, com correção de *bugs* e novas funcionalidades;
- ter uma interface *user friendly*: possuir uma interface gráfica intuitiva;
- disponibilizar material de apoio à aprendizagem: tutoriais, manual, guiões;
- ter uma boa comunidade de utilizadores: existência de um grupo considerado de utilizadores, havendo assim facilidade na discussão de ideias sobre a ferramenta ou até ajuda na resolução de problemas.

Ferramenta	Gratuita	User friendly	Material de apoio	Simulação de atributos em tempo real	Nodos móveis e fixos	Redes de sensores	Rotas alternativas
UrbanSim	Sim	Sim	2	Sim	Não	Não	Sim
SimCity	Não	Sim	2	Sim	Não	Não	Sim
Cities Skylines	Não	Sim	2	Sim	Não	Não	Sim
Cities in Motion	Não	Sim	2	Sim	Não	Não	Sim
Lotify Smart City Simulation	Sim	Não	1	Sim	Sim	Sim	Sim
CupCarbon	Sim	Sim	2	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 3. Comparação entre as várias ferramentas de simulação

Pouco	1
Intermédio	2
Muito	3

Tabela 4. Escala de material de apoio

Após uma análise e comparação das várias características de cada ferramenta (Tabela 3), chegou-se à conclusão que o CupCarbon é a ferramenta de simulação que mais se adequa ao problema. Sendo esta ferramenta gratuita, e, para além disso, é uma ferramenta mais orientada ao uso de sensores. Permite a criação de vários tipos de sensores móveis ou fixos, a criação de rotas alternativas para os sensores móveis se deslocarem, a simulação de eventos naturais, como exemplo, a evolução da temperatura ao longo do dia numa dada

área de estudo, a criação de várias redes de sensores (Figura 3.3), onde é possível simular a captação de vários dados em tempo real.

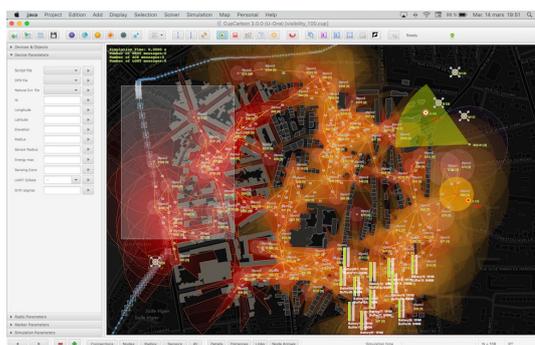


Fig. 3.2. Simulação de um cenário com drones

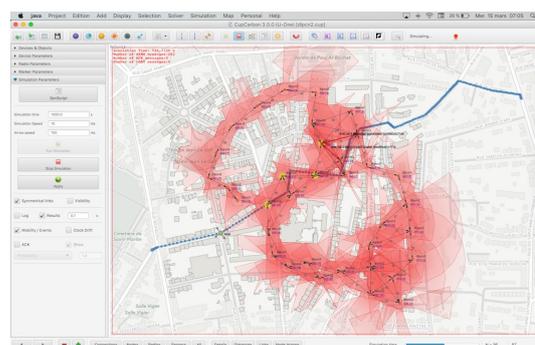


Fig. 3.3. Simulação de uma rede de sensores

3.8 SUMÁRIO

Para a resolução do problema proposto é essencial simular modelos de estacionamento e fazer uma posterior análise dos dados. Para isso, neste capítulo foram abordadas uma série de ferramentas de simulação, umas pagas e outras gratuitas. Após a análise e avaliação das vantagens e desvantagens de cada ferramenta procedeu-se à escolha da ferramenta que mais se adequa à resolução do problema, sendo ela o CupCarbon.

O capítulo seguinte é referente à arquitetura do modelo de estacionamento. É neste capítulo que são abordados os vários requisitos funcionais e não funcionais do sistema de estacionamento.

ARQUITETURA DO MODELO DE PARQUEAMENTO

Para se chegar a uma proposta para o modelo de estacionamento é essencial conhecer-se bem o problema em questão. Desta forma, este capítulo começa com uma breve descrição dos clientes e utilizadores do sistema, de seguida é feito um levantamento dos principais requisitos funcionais e não funcionais do sistema. E, para finalizar são caracterizados os atributos dinâmicos e estáticos do sistema.

4.1 CLIENTES

O principal cliente deste sistema são as empresas responsáveis pela gestão das áreas de estacionamento. Estas necessitam de um sistema que ajude a ter uma visão global em tempo real do espaço de ocupação das áreas de estacionamento. Para além disso, estas empresas têm a necessidade de ter uma boa distribuição dos automóveis, pois dessa forma é possível haver uma melhor distribuição dos automóveis pelas áreas de estacionamento, evitando assim os engarrafamentos, um outro cliente deste sistema são as câmaras municipais, estas têm a necessidade de distribuir da melhor forma possível o tráfego automóvel nas áreas críticas, por exemplo, nos centros de maior afluência (zonas centrais e zonas de comércio).

4.2 UTILIZADORES

O principal objetivo do sistema é ajudar os automobilistas a encontrarem um lugar de estacionamento o mais rápido possível e o mais próximo possível do destino desejado de acordo com as suas preferências (lugar ao sol, sombra, intervalo de distância). Desta forma, os utilizadores deste sistema são os automobilistas.

4.3 AMBIENTE DE IMPLEMENTAÇÃO

Embora possua características genéricas, o sistema será implementado considerando as ruas do centro da cidade de Braga, será um controlador em tempo real do estado de ocupação dos lugares de estacionamento destas mesmas ruas. As componentes do sistema (sensores e painéis informativos) terão de ser resistentes ao pó, à variação da temperatura e à chuva, pois a cidade de Braga é uma das cidades do país em que tem a maior índice pluviométrico anual, e estes serão sujeitos às condições climáticas locais. O sistema irá tirar partido de vários sensores implementados nas ruas, estando cada sensor associado a uma área de monitorização. A informação captada por cada sensor é enviada para um painel informativo local e para um servidor local, permitindo assim que a informação seja disponibilizada localmente (no painel local) e nas restantes plataformas (*browser* e aplicação móvel).

4.4 SITUAÇÃO ATUAL

Existem atualmente diversos parques (principalmente exteriores) na cidade de Braga que não possuem qualquer tipo de monitorização dos seus respetivos lugares. Estes parques apenas apresentam um parquímetro para efetuar a cobrança e, para além disso, obrigam a que haja uma rotatividade dos automóveis ali estacionados, não permitindo que estes estejam no mesmo lugar por um tempo superior a duas horas. Para uma melhor monitorização destes parques de estacionamento sugere-se um sistema composto essencialmente por duas partes, uma de recolha de dados e a outra de difusão dos dados recolhidos.

A primeira parte, a de recolha de dados, consiste no uso de sensores responsáveis por ler constantemente o estado (livre ou ocupado) de cada lugar de estacionamento. Enquanto que a segunda parte, a de difusão de dados, é a parte em que ocorre o envio da informação do estado do parque para os painéis informativos das ruas e para as restantes plataformas (via *browser* e *mobile*). Todo este processo deve ser supervisionado por uma pessoa (funcionário), para assim prevenir qualquer tipo de problemas, como por exemplo verificar os problemas de leituras.

4.5 FACTOS E PRESSUPOSTOS

Nesta secção serão abordados alguns dos factos mais importantes relacionados com este sistema de parqueamento bem como, algumas suposições que foram recolhidas durante a fase de levantamento de requisitos.

4.5.1 *Factos*

Segue a descrição de alguns factos associados ao sistema descrito [5][6]:

- 40% do tráfego é gerado por automobilistas à procura de um lugar de estacionamento;
- o método de procura mais utilizado é o de procura cega (*Blind Search*);
- a forma mais convencional dos automobilistas obterem estacionamento é na forma direta.

4.5.2 *Pressupostos*

Segue a descrição dos pressupostos associados ao sistema descrito:

- Existem atualmente vários projetos que apresentam funcionalidades similares às pretendidas;
 - SFPark - São Francisco;
 - LA Express Park - Los Angeles;
 - Onde Parar - São Paulo.
- Utilizadores não apresentam deficiências visuais;
 - Com deficiência visual, é impossível ao utilizador interagir com o sistema de apoio ao estacionamento.

4.6 OBJETIVOS CONCEPTUAIS

Indicam-se, de seguida, os objetivos associados ao sistema em consideração. Especificando, para cada um deles, uma descrição, um motivo e a forma de aplicação associados.

Descrição: O sistema deverá prever a acessibilidade via *Web* (utilizando um *browser*) e através de uma aplicação móvel.

Motivo: Permitir a portabilidade do sistema, difundir a informação através dos utilizadores (automobilistas) para que estes tenham acesso à informação em qualquer lugar.

Aplicação: Os utilizadores poderão aceder ao sistema através de diversos *browsers*, da aplicação móvel ou através dos painéis informativos colocados nas ruas.

Descrição: O sistema deve utilizar sensores de monitorização nos lugares de estacionamento.

Motivo: O utilizador precisa de estar informado do estado atual da área de estacionamento.

Aplicação: O sistema irá receber os valores das leituras dos sensores implementados nas áreas de estacionamento.

Descrição: O sistema deverá interagir com painéis informativos situados no início de cada rua.

Motivo: Os automobilistas devem poder obter a informação do estado de uma rua de uma forma simples e direta.

Aplicação: O sistema irá comunicar com os painéis integrados no início de cada rua, enviando-lhes os valores captados pelos sensores, disponibilizando aos utilizadores locais, isto é, aqueles automobilistas situados na área de estacionamento, a informação relativa à situação atual.

4.7 REQUISITOS FUNCIONAIS

De forma a perceber quais são as funcionalidades inerentes ao sistema, nesta secção são apresentados os vários requisitos funcionais identificados de acordo com as necessidades. O formato utilizado para a definição de cada requisito compreende, para além de uma descrição do requisito, um identificador numérico, a sua finalidade e uma pós-condição que permite verificar a correção da implementação do mesmo.

Número do requisito: 1

Descrição: O sistema será composto por um conjunto de diferentes tipos de sensores, por exemplo infravermelhos, óticos, acústicos, etc.

Finalidade: Captar os diversos parâmetros da área de estacionamento.

Pós-condição: Os dados são captados a cada instante e enviados para a base de dados local.

Número do requisito: 2

Descrição: Cada sensor deverá enviar a informação captada à base de dados associada.

Finalidade: Guardar os dados obtidos associados a cada sensor.

Pós-condição: Os dados serão recebidos a cada intervalo de tempo na respetiva base de dados.

Número do requisito: 3

Descrição: O sistema deverá enviar periodicamente as informações relativas ao estado do parque a todos os seus terminais moveis (via *mobile*).

Finalidade: Permitir a consulta do parque em tempo real à distância.

Pós-condição: Os dados serão recebidos via *mobile* a cada intervalo de tempo.

Número do requisito: 4

Descrição: O sistema deverá atualizar a informação exibida nos *displays* integrados nos parques.

Finalidade: Permitir a consulta do estado do parque em tempo real diretamente no local.

Pós-condição: Os dados serão atualizados nos *displays* a cada intervalo de tempo.

Número do requisito: 5

Descrição: O sistema deverá permitir ao utilizador escolher a característica preferencial do lugar de estacionamento (à sombra, ao sol, ou o mais perto possível do destino).

Finalidade: Permitir a escolha de um local de acordo com um critério definido pelo utilizador.

Pós-condição: O sistema deverá indicar a localização do lugar de estacionamento de acordo com o critério escolhido.

Número do requisito: 6

Descrição: O sistema deverá permitir ao utilizador fazer uma reserva prévia de um lugar de estacionamento.

Finalidade: Permitir a reserva de um lugar antes de iniciar viagem.

Pós-condição: O sistema deverá reservar um lugar de estacionamento para o automobilista no menor espaço de tempo possível.

Número do requisito: 7

Descrição: O sistema deverá considerar diversas métricas na escolha do lugar de estacionamento.

Finalidade: Utilizar um processo de escolha do lugar de estacionamento o mais adequado possível.

Pós-condição: O sistema usa várias métricas no processo de escolha do lugar de estacionamento.

Número do requisito: 8

Descrição: O sistema deverá usar um algoritmo pré-definido para a geração das indicações da rota ao utilizador.

Finalidade: Gerar indicações para a solução do melhor caminho (mais curto ou rápido).

Pós-condição: O sistema deve gerar uma rota no menor tempo possível.

Número do requisito: 9

Descrição: O sistema pode incluir parquímetros em algumas áreas, estes são responsáveis pela cobrança da tarifa.

Finalidade: Permitir a cobrança do estacionamento aos automobilistas e permitir que haja rotatividade dos automóveis.

Pós-condição: Taxar os lugares de estacionamento de acordo com o tempo que estiveram no local.

Número do requisito: 10

Descrição: A taxa dos paquímetros pode variar de acordo com a disponibilidade de lugares livres e com a qualidade do ar da área.

Finalidade: Diminuir a probabilidade de a área ficar congestionada e melhorar a qualidade do ar nas horas de ponta.

Pós-condição: Diminuir o número de carros na área em determinadas horas do dia.

Número do requisito: 11

Descrição: O sistema indicará o número de lugares disponíveis de uma forma inflacionada quando a percentagem de ocupação for superior a um determinado limite (por exemplo 80%).

Finalidade: Indicar o número de lugares disponíveis com uma margem de erro (existência de um *buffer*).

Pós-condição: O sistema deve indicar um número ligeiramente menor de lugares livres em relação ao número real.

Número do requisito: 12

Descrição: O administrador deve poder definir um valor para a margem (inflacionada) do número de lugares disponíveis.

Finalidade: Permitir ao sistema uma variação do número de lugares disponíveis de acordo com vários critérios definidos pelo administrador.

Pós-condição: Escolher um valor de acordo com as diferentes épocas do ano ou períodos do dia.

Número do requisito: 13

Descrição: Cada *display* deverá indicar o número de lugares livres, tempo médio para estacionar (valor estimado de acordo com o histórico registado), o valor da tarifa cobrada nesse instante, temperatura atual e o valor da qualidade do ar na área.

Finalidade: Permitir ao utilizador ter uma visão geral do estado do parque de estacionamento.

Pós-condição: Permitir ao utilizador escolher um lugar de forma rápida e o mais barata possível.

4.8 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS

Um aspeto importante é a forma como toda a informação é disponibilizada aos automobilistas. Uma das formas é através dos painéis informativos localizados nas áreas de estacionamento. Desta forma, é importante que a informação seja facilmente visualizada por parte dos automobilistas. Nasce assim a importância de definir os requisitos não funcionais do sistema. Estes requisitos são relativos ao desempenho, usabilidade, confiabilidade e segurança do sistema de gestão inteligente do estacionamento.

4.8.1 Aparência

É relativo ao aspeto visual e parte estética da maneira como a informação é disponibilizada, neste caso nos painéis informativos.

- a informação contida nos painéis informativos deve ser facilmente visível por parte dos automobilistas;
- os valores de cada parâmetro representados no ecrã devem ser acompanhados de ícones ilustrativos ao parâmetro associado;
- o fundo do ecrã deve ser de cor preta, e as letras devem ser de três tipos de cor possíveis (verde, amarelo e vermelho).

4.8.2 Usabilidade

Este tipo de requisito é referente à facilidade de utilização do sistema e, tudo o que permitir a uma utilização mais agradável por parte dos automobilistas.

- a aplicação móvel e a página *web* devem ser intuitivas para ser fácil de perceber por pessoas com baixo nível de alfabetização;
- ao fim de um período de tempo estipulado, por exemplo, 10 minutos de utilização com o sistema, o utilizador (automobilista) deve ser capaz de ver o estado dos parques e fazer uma reserva de lugar de estacionamento;
- a página *web* deve ser responsiva para assim se adaptar aos dispositivos móveis (*smartphone*).

4.8.3 *Requisitos Operacionais*

Estes requisitos são relativos a condições necessárias para o correto funcionamento do sistema, por exemplo, os aspetos relacionados com o contexto em que o sistema vai operar.

- o sistema deve operar, no máximo, entre -10°C e 50°C ;
- o sistema deve receber leituras dos sensores óticos, dos sensores de infravermelhos e dos sensores que captam a qualidade do ar;
- o sistema deve enviar o número de lugares livres a todos os *displays* da área;
- o sistema deverá armazenar os dados de carácter persistente com recurso a uma base de dados.

4.8.4 *Segurança*

Estes requisitos estão relacionados com o acesso e integridade dos dados. O sistema tem de possuir mecanismos que reduzam as probabilidades de o sistema ficar inoperacional a qualquer momento.

- o administrador tem de se autenticar para poder definir os valores do sistema (valor das tarifas);
- o sistema deverá estar protegido contra ameaças informáticas;
- a cada semana é realizado um backup de todos os dados do sistema.

4.9 MODELAÇÃO CONCEPTUAL

Nesta secção é apresentado uma proposta do modelo conceptual do sistema.

4.9.1 Modelo Conceptual

Após uma análise dos requisitos funcionais e não funcionais, procedeu-se à construção do modelo conceptual, ilustrado na Figura 4.1.

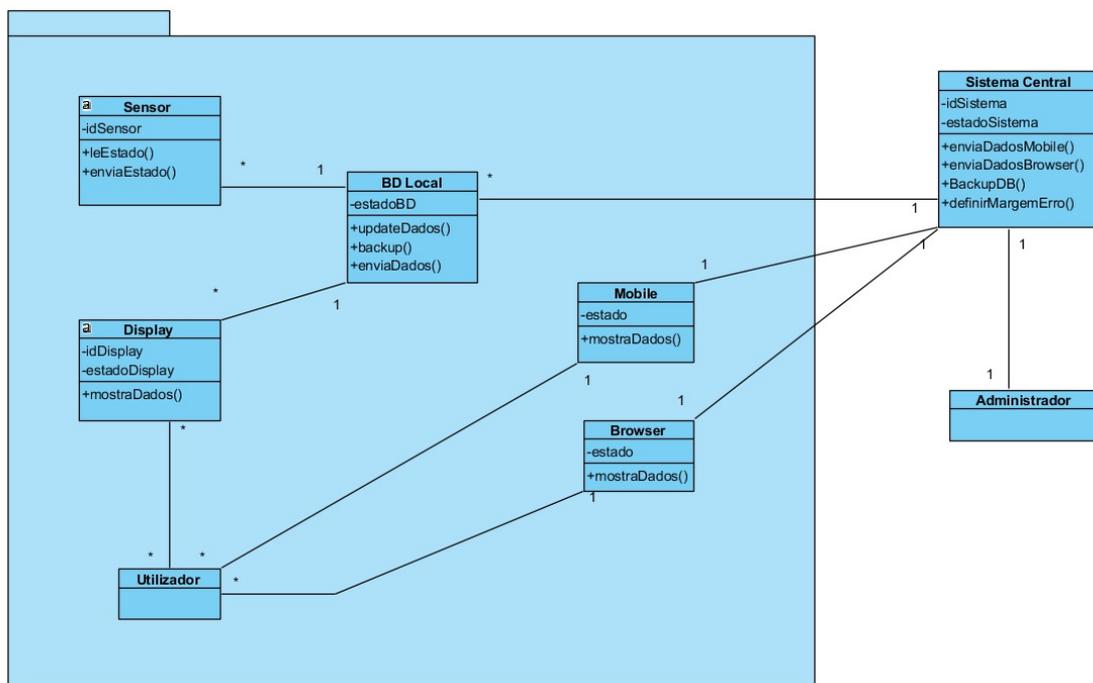


Fig. 4.1. Modelo Conceptual

Como se pode verificar, o sistema é composto por vários sensores (infravermelhos, óticos e de qualidade do ar). Estes enviam a cada X (unidades de tempo) as leituras para uma base de dados que está associada à área. Essa base de dados envia os dados para os respectivos ecrãs colocados nas ruas e envia também os valores para uma base de dados central (sistema central). Este é responsável por enviar os dados à aplicação *mobile* e para a página *web*. O sistema central é também responsável por enviar as indicações aos utilizadores da localização do lugar de estacionamento livre. O administrador monitoriza o sistema num todo a partir do Sistema central.

4.10 MODELO DE DOMÍNIO

A partir da análise dos requisitos funcionais e não funcionais, foi elaborado um modelo de domínio, que caracteriza as entidades existentes no sistema e as relações entre as mesmas, sendo tal apresentado de seguida (Figura 4.2), seguindo o formato UML.

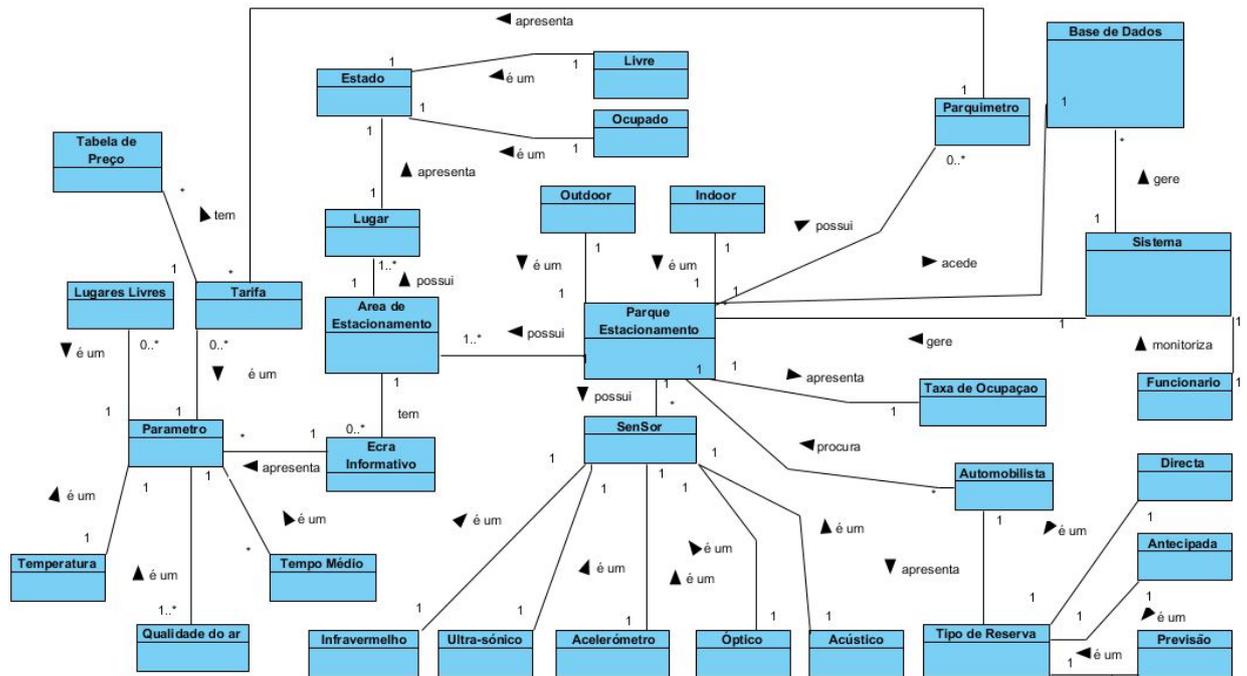


Fig. 4.2. Modelo de Domínio

Como se pode verificar pelo modelo ilustrado na Figura 4.2, existe um funcionário (administrador) do sistema, este é responsável pela monitorização de todo o sistema e também por modificar os vários parâmetros, por exemplo, as tarifas dos parquímetros. O sistema é capaz de gerir vários parques de estacionamento em simultâneo, cada parque pode ser de dois tipos *indoor* ou *outdoor*. Cada parque possui várias áreas de estacionamento, estas possuem um número fixo de lugares de estacionamento. Cada lugar de estacionamento tem um estado a cada instante (livre ou ocupado). Para que haja uma monitorização da taxa de ocupação, cada parque possui vários tipos de sensores, por exemplo, sensores de infravermelhos, óticos, acústicos, entre outros. Estes são os responsáveis por captarem o estado de cada lugar de estacionamento em tempo real. Os parques que são pagos apresentam vários parquímetros que são responsáveis pela cobrança das respetivas tarifas. As tarifas oscilam ao longo do dia, por exemplo, nas horas de maior afluência os preços de estacionamento são mais elevados, para tentar diminuir a quantidade de automóveis nessa mesma zona. Para guardar toda a informação relativa ao parque existe uma base de dados responsável por armazenar toda essa informação, por exemplo, histórico dos valores da qualidade do

ar, da temperatura, do número de lugares livres, ou até mesmo os automobilistas registados no sistema do parque. Um automobilista pode obter um lugar de estacionamento de três formas diferentes. A direta, a mais simples de todas, é quando um automobilista adquire um lugar de estacionamento no próprio local através de uma simples observação. A antecipada ou de reserva, em que o automobilista tem a possibilidade de reservar um lugar de estacionamento mesmo antes de sair de casa através da aplicação móvel. A previsão, consiste numa previsão feita pelo sistema onde este indica aos automobilistas as áreas onde é mais rápido obter um lugar de estacionamento. Cada área de estacionamento tem vários ecrãs informativos, estes apresentam quatro tipo de informações (número de lugares livres/disponíveis), a tarifa que está a ser cobrada no dado momento, o tempo médio de estacionamento, a temperatura local e a qualidade do ar dessa mesma área.

4.10.1 Atributos Dinâmicos e Estáticos

Na Tabela 5 são apresentados os atributos dinâmicos e estáticos mais relevantes para o sistema. O significado de cada um destes atributos é a seguir descrito.

Tabela de Atributos	
Dinâmicos	Estáticos
Tarifa dos Parquímetros	Número Total de Lugares
Taxa de Ocupação	Número de Parques
Distância de Estacionamento	Estacionamento Paralelo ou Perpendicular
Distância ao Destino	Estacionamento Indoor ou Outdoor
Tempo de Estacionamento	Facilidade de Acesso (ao estacionamento)
Tempo de Viagem	Vigilância (do parque ou rua)
Segurança	
Índice de Congestionamento	
Qualidade do Ar	
Estado do Tempo	
Temperatura do Parque	

Tabela 5. Atributos dinâmicos e estáticos

Dinâmicos

- Tarifa dos Parquímetros: é o valor cobrado a cada minuto de estacionamento. O valor oscila de acordo com vários fatores, por exemplo, nas horas de maior congestionamento as tarifas são maiores para que os automobilistas procurem outras áreas de estacionamento;
- Taxa de Ocupação: a taxa de ocupação é a percentagem de lugares livres existentes no parque ou rua, esta taxa varia de acordo com o número de lugares ocupados;

- Distância ao Estacionamento: é a distância que o automobilista percorre até chegar ao estacionamento;
- Distância ao Destino: é a distância que o automobilista percorre desde o lugar de estacionamento até ao destino final;
- Tempo de Estacionamento: tempo médio em minutos que um automobilista pode demorar até estacionar o seu automóvel;
- Tempo de Viagem: tempo médio em minutos que um automobilista demora a chegar ao lugar de estacionamento;
- Segurança: atributo que define o nível de segurança do lugar de estacionamento, tendo em conta o histórico de acontecimentos na área. Por exemplo, número de assaltos anual, nível de vandalismo, etc;
- Índice de Congestionamento: número inteiro de 1 a 5 que define o fator de congestionamento do parque num determinado momento (1 pouco congestionado, 5 muito congestionado);
- Índice de Qualidade do Ar: o Índice de Qualidade do AR (IQA) é um indicador padronizado do nível de poluição do ar em uma dada área. Este índice resulta de uma média aritmética calculada tendo em conta vários parâmetros (número de partículas suspensas ao nível do solo, dióxido de carbono, etc). Os parâmetros usados para calcular o índice podem variar consoante a agência ou entidade responsável pelo cálculo do índice, desta forma o índice pode ter pequenas diferenças. O índice apresenta 6 intervalos diferentes [19] sendo eles: bom (0-50), moderado (51-100), poluição ligeira (101-150), poluído (151-200), muito poluído (201-300) e perigoso (>300);
- Estado do Tempo: o tempo é um dos fatores que influencia a escolha do lugar de estacionamento. A escolha do lugar de estacionamento (*indoor* e *outdoor*) é influenciada por este fator. Um automobilista prefere um lugar de estacionamento coberto quando está a chover;
- Temperatura do Parque: temperatura atual no parque de estacionamento, este valor é capturado por vários sensores implementados no parque de estacionamento. Este é um fator importante, nomeadamente nos parques *indoor*.

Estáticos

- Número Total de Lugares: número inteiro que indica o número de lugares de estacionamento total (capacidade) de uma área ou parque de estacionamento;

- Número de Parques: número total de parques de estacionamento ou número de ruas com áreas de estacionamento;
- Estacionamento Paralelo ou Perpendicular: atributo que define o tipo de estacionamento, se é do estilo perpendicular ou paralelo à via;
- Estacionamento Indoor ou Outdoor: diferentes automobilistas têm diferentes de preferência do tipo de estacionamento, se é coberto ou ao ar livre;
- Facilidade de acesso: para um automobilista a escolha de um lugar de estacionamento depende do nível de acesso, pois o lugar de estacionamento pode estar localizado numa área de difícil acesso;
- Vigilância: atributo que define se o parque ou rua de estacionamento têm vigilância contínua.

Para a construção de cenários mais realistas é fundamenta a utilização dos atributos enumerados na Tabela 5. É com base nestes atributos que se obtém cenários mais próximos da realidade. Vejamos o seguinte exemplo:

Com os seguintes atributos:

- Estado do Tempo;
- Qualidade do Ar;
- Tipo de Estacionamento (paralelo ou perpendicular).

Um automobilista A desloca-se para uma área de estacionamento, a escolha pelo lugar vai depender de várias condições, por exemplo, se estiver a chover pode ter preferências por um parque *indoor*. Após se deslocar para o parque *indoor*, caso o automobilista tenha problemas respiratórios, pode ter preferências pela zona onde a qualidade do ar é a melhor (atributo Qualidade do Ar) e, dependendo da experiência ou até da idade do automobilista, este pode preferir um lugar perpendicular, pois, os lugares de estacionamento paralelos à via requerem um pouco mais de "experiência" na altura de estacionar.

Interação com Utilizador

Para que o sistema consiga recomendar um local de estacionamento é essencial este possuir várias informações relativas a cada automobilista, por exemplo, as preferências de cada um. Esta recolha é realizada em duas fases, a primeira é no ato de primeira inscrição do automobilista no sistema. Na primeira inscrição o automobilista fornece uma série de informações básicas, por exemplo, o nome, a data de nascimento, matrícula do automóvel, morada, número de telemóvel e conta *paypal*. Após isto é realizado um pequeno questionário onde são realizadas diferentes perguntas, por exemplo, preferências de estacionamento, tempo de carta, ou até mesmo sobre problemas de saúde (problemas de obesidade ou problemas respiratórios).

A segunda fase ocorre quando um automobilista inicia uma procura de estacionamento. O sistema realiza simples perguntas, por exemplo, o estado de humor através do uso de ícones ilustrativos.

Através da recolha destes dados o sistema consegue calcular o lugar de estacionamento que mais se adequa a cada automobilista.

4.11 SUMÁRIO

Este capítulo iniciou-se com a caracterização dos clientes e respectivos utilizadores do sistema. Sabe-se que as câmaras municipais não têm nenhum controlo em tempo real do estado dos lugares de estacionamento que gerem. Assim, um dos principais clientes deste sistema são as câmaras municipais. Da mesma forma, as empresas privadas que gerem parques de estacionamento necessitam de um mecanismo que ajude a ter um controlo dos parques de estacionamento em tempo real. Um outro potencial cliente são as empresas privadas que têm na sua posse a gestão de parques de estacionamento.

Já os utilizadores, são os próprios automobilistas, estes têm a necessidade de encontrar um lugar de estacionamento de acordo com vários atributos, sendo eles, distância desde o lugar de estacionamento até ao destino final, tarifas cobradas, estado de tempo (sol ou chuva), nível de segurança, etc.

Após a caracterização dos clientes e utilizadores, realizou-se o levantamento de requisitos, os funcionais e não funcionais. Desta forma, é possível começar a traçar de forma mais clara as funcionalidades do sistema. A fechar o capítulo procedeu-se à recolha dos atributos dinâmicos e estáticos do sistema, bem como a sua respetiva descrição.

No seguinte capítulo será apresentado a parte de desenvolvimento do protótipo no CupCarbon. Após com uma breve introdução ao CupCarbon onde são detalhadas as suas principais funcionalidades, são apresentados três tipos de cenários, que abordam três perfis de utilizadores diferentes.

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Após concluída a fase de ambientação à ferramenta de simulação CupCarbon prosseguiu-se para a fase de desenvolvimento de um protótipo funcional, pois para ser possível chegar a um cenário geral do problema é necessário fazer uma construção gradual de vários cenários de teste, onde cada cenário engloba alguns dos atributos definidos anteriormente na Tabela 5, por exemplo, a temperatura atual da área de estacionamento, o número de lugares livres e a qualidade do ar (IQA). Para isso, neste capítulo são construídos três cenários diferentes iniciais. Cada cenário corresponde a um perfil de utilizador diferente. Cada utilizador tem as suas preferências na hora de escolher um lugar de estacionamento. Por exemplo, um utilizador (A) prefere deslocar-se a um parque onde existe um elevado número de lugares de estacionamento livres, já um outro utilizador (B) pode preferir procurar um lugar de estacionamento num parque onde a qualidade do ar é melhor mesmo havendo menos lugares disponíveis nesse parque em relação ao parque alternativo.

5.1 DETALHES TÉCNICOS DO CUPCARBON

5.1.1 Tipo de Nodos

O CupCarbon é uma ferramenta ideal para a simulação de vários casos de estudo vocacionados para as Smart Cities. Este permite o uso de diferentes sensores (*Sensor Node*, *Media Sensor*, *Base Station*, *Sensor Gas*, *Sensor Weather*, *Mobile Sensor* e *Market*)(Figura 5.1).



Fig. 5.1. Tipos de sensores do CupCarbon

Nas várias simulações ao longo deste capítulo serão usados o *Sensor Node*, o *Sensor Gas*, o *Mobile Sensor* e o *Market* (primeiro, quarto, sexto e sétimo da Figura 5.1).

Cada sensor tem associado a si uma *script*, e é nesta *script* que é programado o comportamento do sensor. Este pode gerar valores, ler valores, enviar mensagens ou até mesmo tornar-se num nodo móvel.



Fig. 5.2. Sensor gerador e sensor interpretador de números

No exemplo apresentado na Figura 5.2, o Sensor 1 (direito) tem associado a si a *script* "gera.csc" (Figura 5.3). Esta *script* gera números aleatórios entre 0 e 100 enviando esses valores gerados para o Sensor 2 (esquerdo). Este sensor tem associado a *script* com o nome "leCap.CSC" (Figura 5.3), que tem a função de ler o número recebido do Sensor 1, mudando o estado do respetivo sensor (escala de cores do Sensor 2).

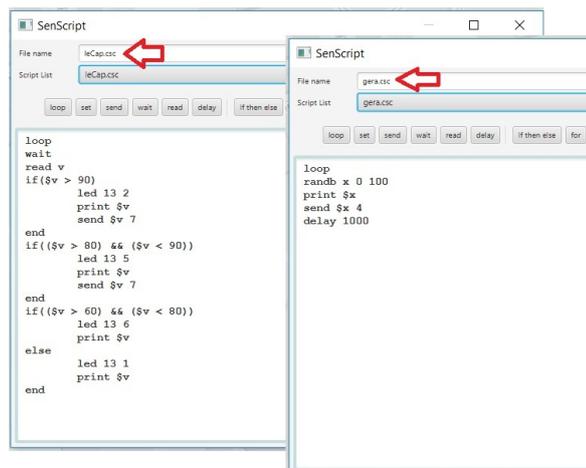


Fig. 5.3. Scripts associadas ao sensor S1 e S2 da Figura 5.2

5.1.2 Eventos Naturais

Para que seja possível simular valores reais, por exemplo, da variação da temperatura, é necessário usar o *Sensor Gas* ou sensor de volumetria. Este sensor é um gerador de eventos naturais, possui uma *script* associada. Esta *script* contém valores gerados seguindo um algoritmo pré-definido pelo CupCarbon, estes valores gerados seguem uma distribuição normal. Para se obter os valores é necessário a escolha de alguns parâmetros (intervalo definido, periodicidade, média e o desvio de padrão).



Fig. 5.4. Evento natural responsável por gerar valores de temperatura

Na figura anterior (Figura 5.4), está representado um evento natural. Este representa a evolução da temperatura num dado local. O Sensor 1 (*transmitter*) lê os valores da temperatura e envia ao Sensor 2 (*receiver*).

Nos casos de estudo, foram gerados 100 valores de temperatura com os parâmetros seguintes:

- média = 22°C;
- desvio de padrão = 4°C;
- período = 1 segundo.

5.1.3 Geração de Rotas

Para a construção de rotas no CupCarbon é usada a opção *Market*, esta solicita dois pontos no mapa (origem e destino) criando assim uma ligação entre estes dois pontos (Figura 5.5 - lado esquerdo). No entanto, esta opção apresenta algumas limitações, por exemplo, não tem em consideração a existência das ruas, nem dos sentidos das ruas a nível de trânsito

automóvel.

Para resolver o problema das ruas o CupCarbon possui uma opção chamada *Route from markets*. Esta opção cria uma rota a partir de dois pontos tendo em conta as ruas existentes no mapa e o sentido do trânsito (Figura 5.5 - lado direito). Após isto, é possível guardar a rota, e repetindo o processo é possível criar outras rotas alternativas.

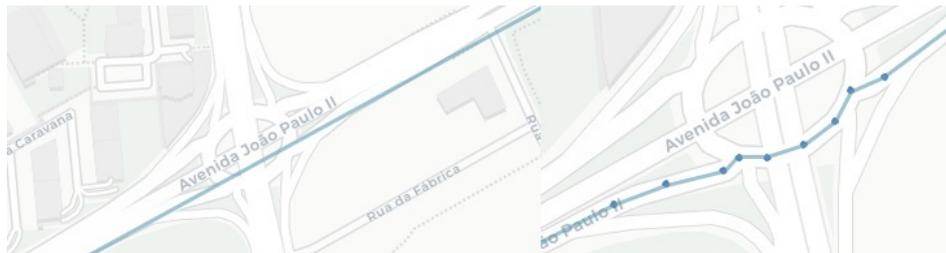


Fig. 5.5. *Market vs Route from markets*

5.2 PERFIS DE SIMULAÇÃO

Para cada um dos perfis de utilizadores simulados são usados os seguintes atributos:

- Índice de Qualidade do Ar (IQA);
- Temperatura Atual;
- Número de Lugares Livres.

Em cada perfil é conjugado o valor dos três atributos, de acordo com a preferência e prioridade de cada automobilista.

5.2.1 *Descrição do Problema*

Qualquer um dos três perfis simula o comportamento de um automobilista que se desloca desde a avenida João Paulo II até à zona comercial Braga Parque localizada na avenida Padre Júlio Fragata. Este automobilista tem duas opções de estacionamento sendo elas, o parque interior (*indoor*) que está localizado na parte subterrânea da área comercial, e o parque exterior (*outdoor*) localizado na parte Este da área comercial (Figura 5.6). A decisão da escolha do parque recai sobre três atributos (temperatura no parque, número de lugares livres e qualidade do ar).

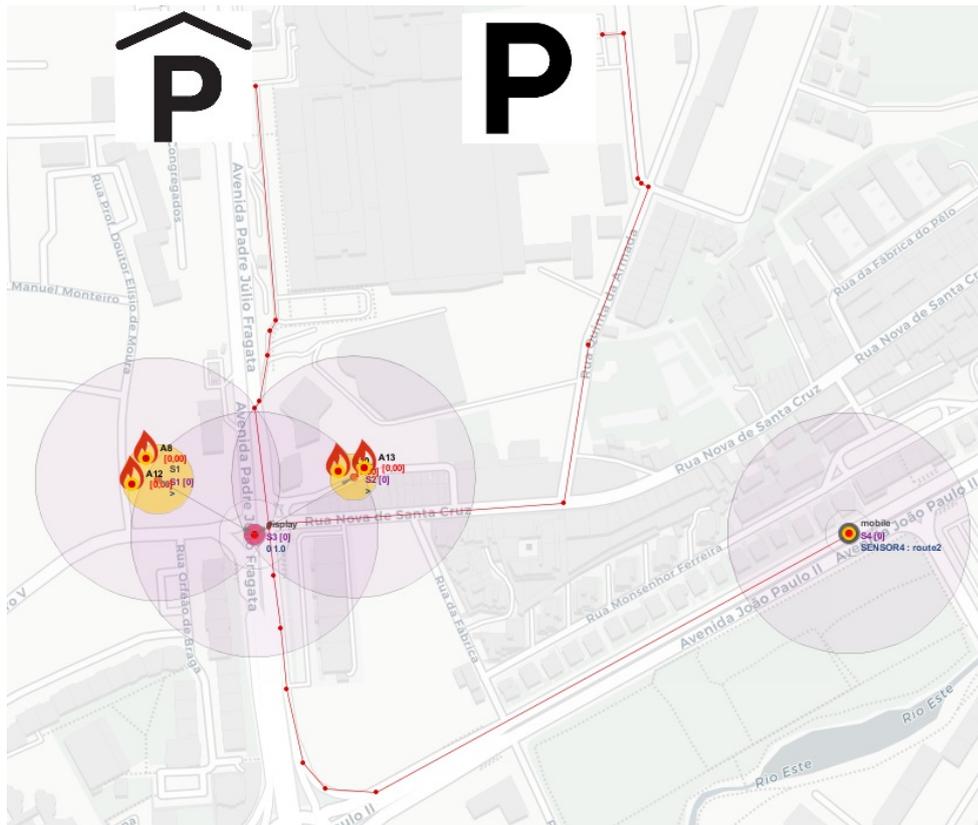


Fig. 5.6. Representação inicial do problema

5.2.2 Descrição da Representação Inicial do Problema

Neste ambiente estão representadas duas rotas alternativas. A rota 1 que tem como destino o parque interior e a rota 2 que tem como destino o parque exterior. O sensor móvel (S4) (Figura 5.6) representa um automóvel a dirigir-se em direção à área comercial. O *display* (sensor 3) recebe dados de dois nodos (S1 e S2). Este, recebe 3 tipos de dados destes dois sensores que são, o número de lugares livres naquele instante, a temperatura da área e o índice da qualidade do ar. Estes dados são tratados no sensor *display*, durante esse tratamento de acordo com os diferentes perfis (A, B ou C) é calculada a classificação de cada uma das rotas alternativas. Quando o sensor móvel (automobilista) entra na área de cobertura do sensor *display* escolhe uma rota a seguir, a rota escolhida é a que apresenta a classificação mais alta naquele dado momento.

Para gerar os valores do atributo temperatura e qualidade do ar recorreu-se a eventos naturais, um para o atributo temperatura e outro para o atributo referente à qualidade do ar. Para gerar o número de lugares livres recorreu-se ao comando *randb* que gera um valor *random* entre um intervalo definido. Para o parque interior o intervalo definido é $[0..80]$ e,

para o parque exterior o intervalo é [0..15]. O intervalo para este parque é menor pois o parque exterior existente na zona comercial é de reduzidas dimensões.

5.2.3 Cálculo da Classificação dos Parques

A fórmula usada para se obter a classificação de cada parque é a seguinte:

$$CI = X * NLL + Y * IQA + Z * T$$

- CI - Classificação do parque;
- NLL - Número de Lugares Livres;
- IQA - Índice da Qualidade do Ar;
- X - Peso percentual atribuído ao número de lugares livres;
- Y - Peso percentual atribuído ao atributo qualidade do ar (IQA);
- Z - Peso percentual atribuído ao atributo da temperatura (T).

5.2.4 Perfil A

Para este perfil, o automobilista tem as seguintes preferências na procura de estacionamento:

- 70% Número de Lugares Livres;
- 20% Qualidade do Ar;
- 10% Temperatura.

Este perfil pretende simular um tipo de automobilista em particular, um automobilista com pouco tempo de carta de condução. Este tipo de automobilista pretende encontrar uma área onde seja fácil de estacionar, por exemplo, um parque com baixa taxa de ocupação. Nesse sentido, este perfil tem um peso atribuído de 70% ao atributo número de lugares livres, é o atributo mais importante para a decisão do automobilista.

Nas Tabelas 6 e 7 estão representados os valores gerados para cada atributo. Os valores da Tabela 6 são referentes aos valores lidos no parque interior e, os valores da Tabela 7 são referentes aos valores lidos no parque exterior. Estes valores são usados para se obter a classificação (*rate*) de cada parque, usando a fórmula referida a cima.

Tabela de Valores Perfil A

t	Qualidade do Ar (IQA)	Temperatura °C	Lugares Livres	Rate
1	31	18	43	38.1
2	30	17	5	11.2
3	38	20	49	43.9
4	31	21	3	10.4
5	36	20	16	20.4

Tabela 6. Valores registados no parque interior

t	Qualidade do Ar (IQA)	Temperatura °C	Lugares Livres	Rate
1	29	25	3	10.4
2	30	25	11	16.2
3	27	24	13	16.9
4	28	22	7	12.7
5	29	30	2	10.2

Tabela 7. Valores registados no parque exterior

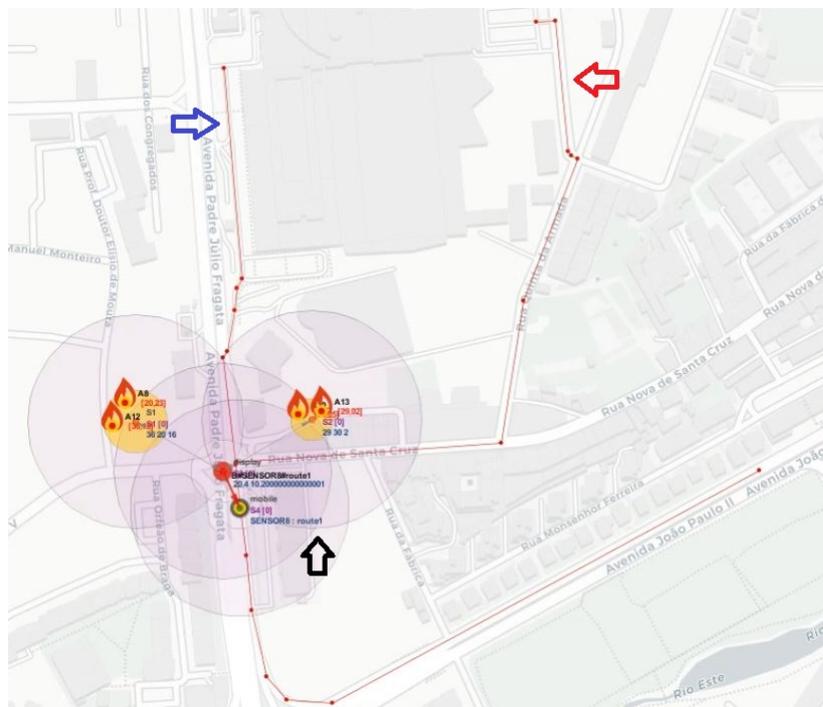


Fig. 5.7. Momento da escolha da rota - Perfil A

Discussão dos Resultados

O momento de decisão corresponde ao instante $t = 5$ nas Tabelas 6 e 7. Esse instante corresponde ao momento em que o automobilista (nodo móvel) toma a decisão da escolha do melhor parque para si (Figura 5.7). Este recebe a informação "**SENSOR8: route1**" que corresponde ao parque interior, pois nesse momento é o parque interior que apresenta a melhor classificação (20.4) em comparação à classificação do parque exterior (10.2).

5.2.5 Perfil B

Para este perfil, o automobilista tem as seguintes preferências na procura de estacionamento:

- 20% Número de Lugares Livres;
- 70% Qualidade do Ar;
- 10% Temperatura.

Este perfil pretende simular um automobilista que apresente problemas de saúde, por exemplo, problemas respiratórios. Este tipo de automobilista tem preferência pela área de estacionamento que apresente melhor qualidade de ar. Neste sentido, este perfil tem atribuído um peso de 20% ao atributo do número de lugares livres, 70% atribuído ao atributo da qualidade do ar e, 10% atribuído ao atributo da temperatura.

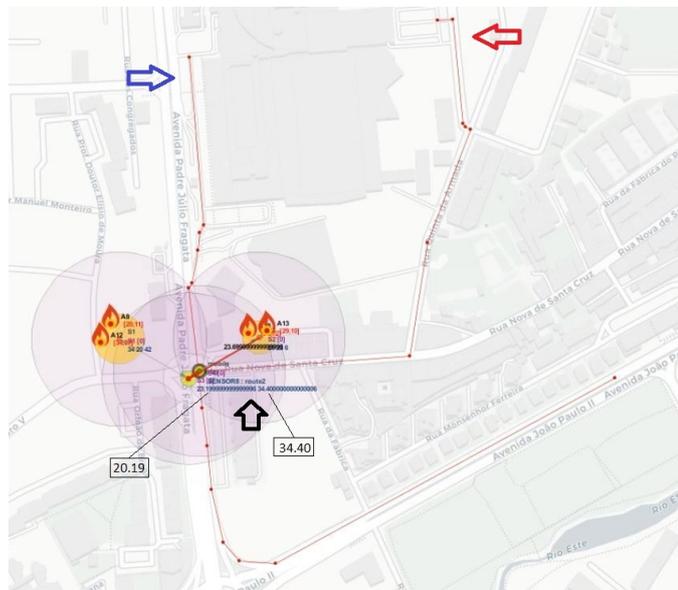


Fig. 5.8. Momento da escolha da rota - Perfil B

Discussão dos Resultados

Como se pode verificar pela Figura 5.8 (seta preta), o nodo móvel (automobilista) encontra-se no momento de decisão do parque de estacionamento. Nesse instante, o nodo móvel recebe dois valores que são referentes à classificação dos parques, do parque interior e do parque exterior. A classificação do parque interior é 20.19 e a classificação do parque exterior é de 34.4. Como a classificação do parque exterior é maior em relação à classificação do parque interior, este é o parque que mais se adequa às preferências do automobilista, escolhendo assim dirigir-se para este parque.

5.2.6 *Perfil C*

Para este perfil, o automobilista tem as seguintes preferências na procura de estacionamento:

- 20% Número de Lugares Livres;
- 10% Qualidade do Ar;
- 70% Temperatura.

Este perfil pretende simular uma automobilista que tenha, por exemplo, problemas de obesidade. Normalmente este tipo de pessoas têm algumas dificuldades em estarem em ambientes com elevada temperatura, por esse motivo, evitam o máximo este tipo de ambientes, tentando escolher ambientes mais frescos. Desta forma, este perfil tem um peso atribuído de 20% ao atributo número de lugares livres, um peso de 10% ao atribuído qualidade do ar e, um peso de 70% atribuído ao atributo temperatura.

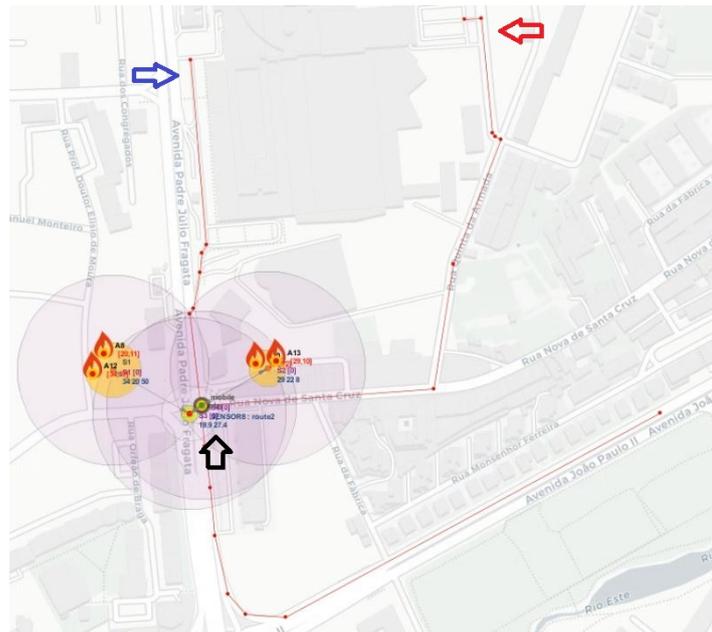


Fig. 5.9. Momento da escolha da rota - Perfil C

Discussão dos Resultados

Como se pode verificar pela Figura 5.9 (seta preta) a classificação do parque interior é 19.9 e a classificação do parque exterior é 27.4. Como a classificação do parque exterior é maior, o automobilista decide deslocar-se em direção a este parque, Figura 5.9 (seta vermelha). O que leva a concluir que a temperatura no parque exterior adapta-se melhor às necessidades deste automobilista. Apesar de os parques interiores terem geralmente mecanismos de controlo de temperatura, neste momento o parque que apresentava melhores condições ao automobilista era o parque exterior. Isto poderia acontecer por diversos motivos, como por exemplo, problemas nos mecanismos de controlo da temperatura naquele momento, o que levaria a que a temperatura do parque interior fosse elevada para este tipo de automobilista.

5.3 SUMÁRIO

Este capítulo começou com uma pequena introdução à ferramenta de simulação CupCarbon, analisando as principais características desta ferramenta. Após isso, começou-se por fazer uma breve descrição do problema em questão. Consiste na simulação do comportamento de três perfis diferentes de automobilistas. Estes deslocam-se em direção à área comercial Braga Parque, e de acordo com as exigências de cada um, estes têm de decidir que parque devem escolher de acordo com as suas necessidades. O perfil A pretende simular um automobilista que tenha pouco tempo de carta de condução, o perfil B pretende simular um automobilista que apresente problemas respiratórios e, o perfil C pretende simular um automobilista que tenha problemas de obesidade. Para a simulação destes três perfis é tido em conta três atributos essenciais, número de lugares livres do parque, qualidade do ar, e temperatura.

No seguinte capítulo será apresentado uma sugestão do cenário mais geral ao problema, um cenário mais realista.

CENÁRIOS DE TESTE E RESULTADOS

No Capítulo anterior foram apresentados de uma forma mais particularizada três perfis de utilizadores diferentes, onde cada perfil simula automobilistas com diferentes preferências. Neste capítulo é apresentado um cenário mais geral, sendo realizadas simulações em duas áreas estratégicas, a primeira é na zona comercial Braga Parque e a segunda na zona central da cidade de Braga.

6.1 ÁREAS DO CENÁRIO

Para que o cenário seja o mais próximo da realidade, são estudadas duas zonas estratégicas. A primeira zona (Figura 6.1 - esquerda) fica situada no centro da cidade de Braga. Esta engloba um conjunto de quinze parques (aproximadamente). A segunda zona (Figura 6.1 - direito) está situada na área comercial Braga Parque, sendo constituída por dois tipos de parques de estacionamento interiores e exteriores.



Fig. 6.1. Áreas de Estacionamento

6.1.1 Rotas Definidas

O cenário é composto por nove rotas independentes (Figura 6.2), sete na primeira zona (Figura 6.1 - esquerda) e, duas na segunda zona (Figura 6.1 - direita), estas têm como objetivo cobrir as duas zonas deste cenário (Figura 6.1).

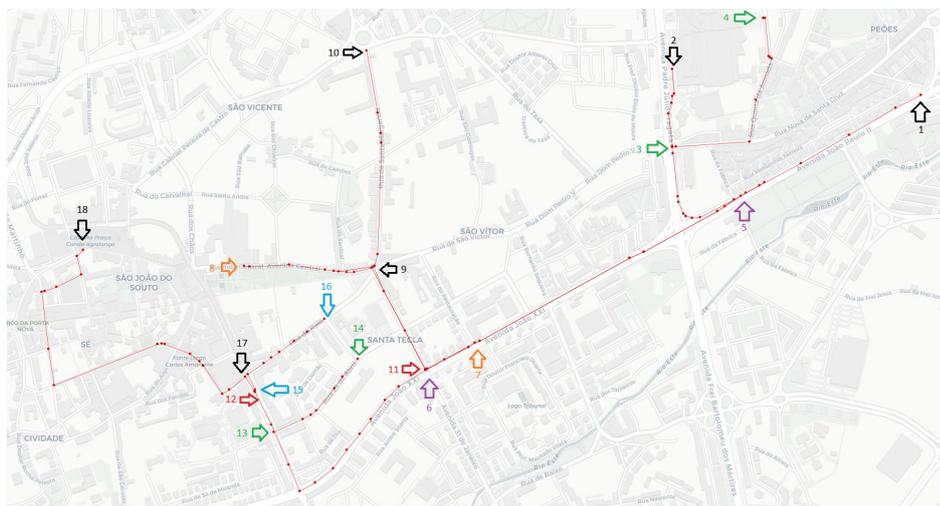


Fig. 6.2. Rotas do cenário final

- **Rota N°1** - rota 1/2 (preto), esta rota começa na Avenida João Paulo II e termina na rua Avenida Padre Júlio Fragata. Distância da rota: 1300 metros;
- **Rota N°2** - rota 3/4 (verde), esta rota começa na Avenida João Paulo II e termina na Rua Albano Belino (parte de trás da área comercial Braga Parque). Distância da rota: 635 metros;
- **Rota N°3** - rota 5/6 (roxo), esta rota começa na Avenida João Paulo II e termina na Avenida João XXI junto ao cruzamento com a Avenida 31 de Janeiro. Distância da rota: 1200 metros;
- **Rota N°4** - rota 7/8 (laranja), esta rota começa na Avenida João Paulo XXI e termina na Avenida Central ao lado do jardim. Distância da rota: 930 metros;
- **Rota N°5** - rota 9/10 (preto), esta rota começa no Largo Sra. A. Branca e termina no final da Rua de Sta. Margarida. Distância da rota: 668 metros;
- **Rota N°6** - rota 11/12 (vermelho), esta rota começa na Avenida João XXI na interceção com a Avenida 31 de Janeiro e, termina a meio da Avenida da Liberdade. Distância da rota: 847 metros;

- **Rota N°7** - rota 13/14 (verde), esta rota começa na Avenida da Liberdade e termina na Rua 25 de Abril. Distância da rota: 340 metros;
- **Rota N°8** - rota 15/16 (azul), esta rota começa na Avenida da Liberdade e termina no final da Rua do Raio. Distância da rota: 478 metros;
- **Rota N°9** - rota 17/18 (preto), esta rota começa na Avenida da Liberdade e passa por várias ruas, terminando na Praça Conde de Agrolongo. Distância da rota: 1320 metros.

No total as nove rotas perfazem 7718 metros. A distância de cada rota foi obtida com o auxílio da ferramenta *Google Maps*.

6.2 CENÁRIOS DE TESTE

Todas as rotas foram construídas para abordarem dois cenários, são eles:

Cenário A

Automobilista desloca-se a partir do início da Avenida João Paulo II para a zona comercial Braga Parque localizada na Avenida Padre Júlio Fragata. Este pretende encontrar um lugar de estacionamento nesta zona comercial de acordo com alguns fatores (número de lugares livres, qualidade do ar e temperatura da área de estacionamento).

Cenário B

Automobilista desloca-se a partir do início da Avenida João Paulo XXI para o centro da cidade. Este pretende encontrar um lugar de estacionamento o mais próximo do centro de acordo com alguns fatores (número de lugares livres, qualidade do ar e temperatura da área de estacionamento).

6.2.1 *Sensores Utilizados*

O cenário é composto por 45 sensores, Figura 6.3. Sendo que 30 sensores são sensores intermédios, com a função de passar a informação dos sensores que geram os valores ao sensores que disponibilizam a informação em tempo real. Dos sensores transmissores fazem parte 7, com a função de captar três tipos de informação do ambiente e transmitir essa informação. A finalizar, 6 sensores têm a função de receber a informação e enviar essa informação ao nó móvel quando este passar na sua respetiva periferia.

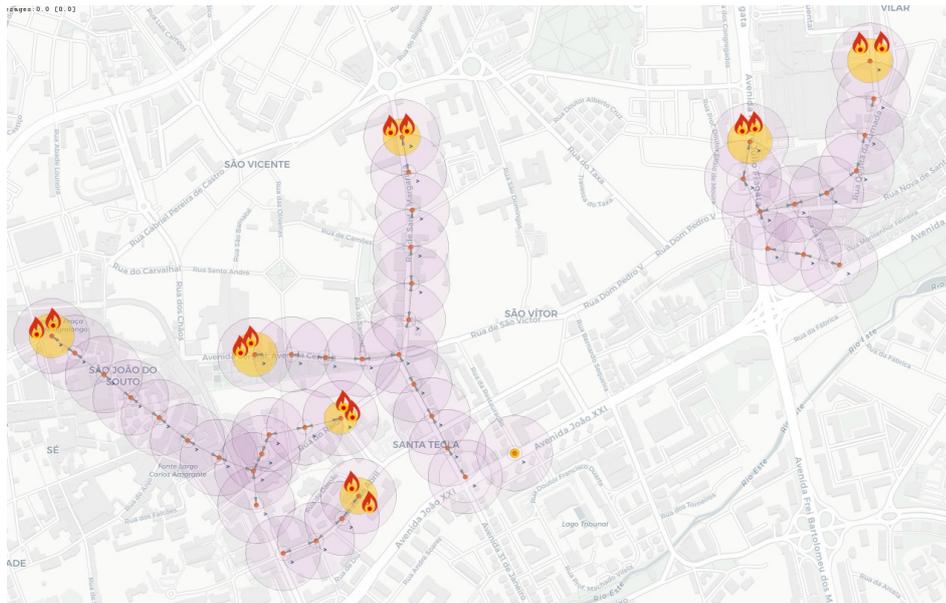


Fig. 6.3. Sensores do cenário final

6.2.2 Sensor Intermédio

Este tipo de sensor tem a função de transportar a informação para os restantes sensores.

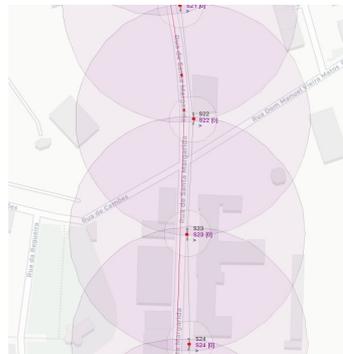


Fig. 6.4. Exemplo de sensores intermédios

```

1 loop
2 wait
3 read v
4 send $v 24

```

Código 6.1. Código do sensor intermédio S23

Na Código 6.1 é apresentado um exemplo da *script* que tem como função transmitir dados entre nodos. Neste caso é referente ao sensor com id = 23. O sensor fica à espera de dados, após receber lê e envia para o próximo sensor (id = 24 - linha 4).

6.2.3 Sensor Transmissor

Este tipo de sensor tem a função de recolher a informação em tempo real da área de estacionamento. No Código 6.2 é apresentado um exemplo de uma *script* do tipo transmissor. Esta *script* recebe dois dados sendo eles de origem de dois eventos naturais, o A6 e A7 representado na Figura 6.5. O A6 simula valores da temperatura do parque. A média dos valores é de 22 graus *celsius* e desvio de padrão de 4 graus (Figura 6.7). O evento natural A7 simula valores referentes à qualidade do ar do parque, com um valor médio de 48 e desvio de padrão 15 unidades (Figura 6.6).

Para além destes dois valores, é gerado um valor inteiro entre 0 e 90 que corresponde ao número de lugares livres na área de estacionamento. Estes valores descritos variam de acordo com a localização e capacidade da área de estacionamento em questão. Neste caso os valores pertencem à área de estacionamento da área comercial Braga Parque.

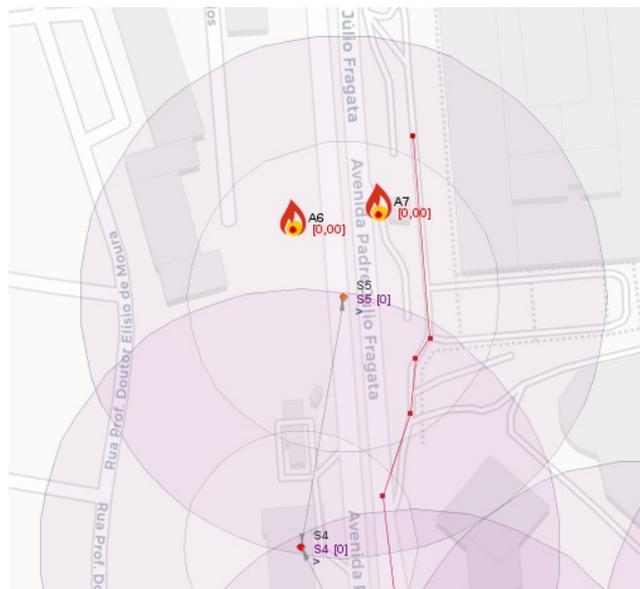


Fig. 6.5. Exemplo de um sensor transmissor

```

1 loop
2 set totbp 0
3 randb x 0 90
4 set flag $x
5 areadsensor v
6 if ($v!=X)

```

```

7 rdata $v a b c d e
8 int c $c
9 int e $e
10 mult c $c 0.4
11 div c $c 300
12 mult e $e 0.3
13 div e $e 50
14 mult x $x 0.3
15 div x $x 90
16 plus aux $c $e
17 plus totbp $aux $x
18 print $totbp
19 data res $totbp $flag BP
20 send $res 4
21 end
22 delay 1000

```

Código 6.2. Código do sensor transmissor S5

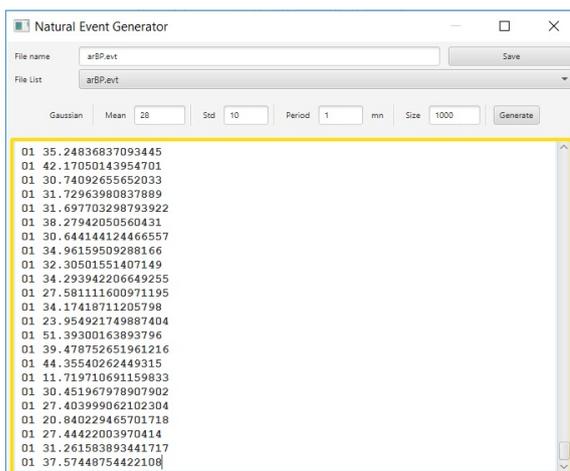


Fig. 6.6. Valores da qualidade do ar

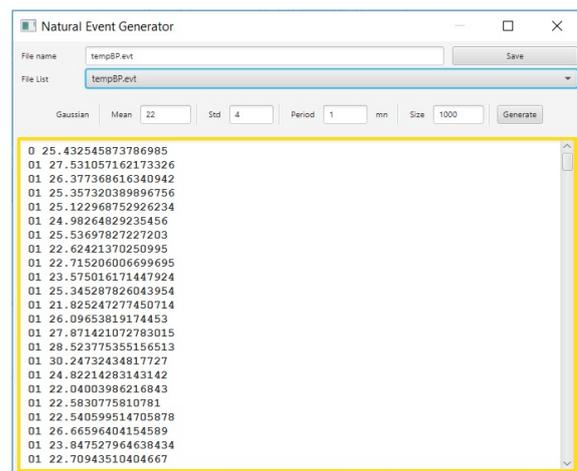


Fig. 6.7. Valores da temperatura

6.2.4 Classificação das Rotas

A tomada de decisão, isto é, a escolha da rota por parte do automobilista depende da classificação disponibilizada pelo sistema. Cada rota tem uma classificação, o automobilista quando se encontra num ponto de decisão escolhe a rota que tiver a pontuação mais elevada.

Cálculo da Classificação da Rota

Para o cálculo da classificação é usada a fórmula apresentada no capítulo 5:

$$CI = X * IQA + Y * TEMP + Z * NLL$$

Após normalização resulta na seguinte expressão:

$$CI = (X\% * IQA)/300 + (Y\% * T)/50 + (Z\% * NLL)/NTLL)$$

- o valor de **X** é o peso percentual atribuído ao índice da qualidade do ar (IQA), este depende do tipo de parque se é *indoor* ou *outdoor*. Por exemplo, em parques *indoor* o valor do IQA é mais importante em relação à temperatura (T). Neste caso, sendo na área comercial Braga Parque (*indoor*) o peso atribuído a esta variável é 40% (0.4) (Código 6.3 - linha 10). O valor do IQA é fornecido pelo evento natural A6 representado na Figura 6.6. O valor máximo considerado para o valor do IQA é de 300 unidades 6.3 - linha 11 [3];
- o valor do **Y** corresponde ao peso percentual atribuído à temperatura (T). O peso atribuído a esta variável é de 30% (0.3) (Código 6.3 - linha 12). O valor da temperatura é fornecido pelo evento natural A7 representado na Figura 6.7. O valor máximo considerado para a temperatura é de 50 graus 6.3 - linha 13;
- o valor do **Z** corresponde ao peso percentual atribuído à variável número de lugares livres, tendo um peso atribuído de 30% (0.3) (Código 6.3 - linha 14). O valor do NLL (Nº de Lugares Livres) depende da dimensão do parque em questão, por exemplo no parque de estacionamento (*indoor*) do Braga Parque o valor atribuído situa-se entre zero lugares livres e noventa (0 - 90) (Código 6.3 - linha 3). O valor do NTLL (Número Total de Lugares Livres) depende da capacidade máxima do parque em questão, que neste caso é 90 (Código 6.3 - linha 3).

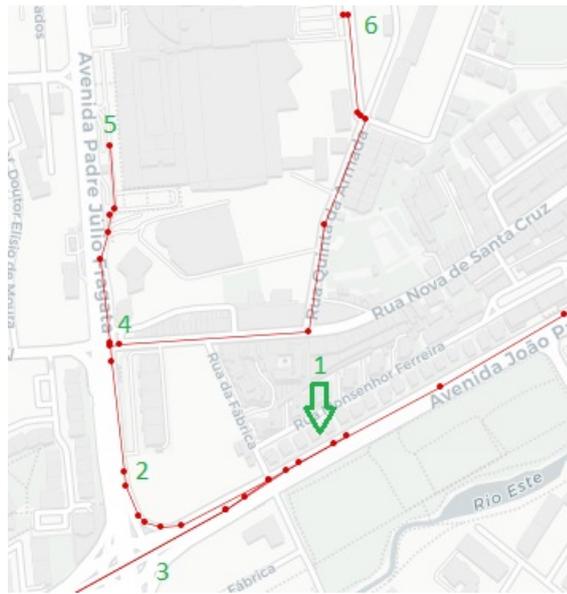


Fig. 6.8. Rota 1 e 2

```

1 loop
2 set totbp 0
3 randb x 0 90
4 set flag $x
5 areadsensor v
6 if($v!=X)
7 rdata $v a b c d e
8 int c $c
9 int e $e
10 mult c $c 0.4
11 div c $c 300
12 mult e $e 0.3
13 div e $e 50
14 mult x $x 0.3
15 div x $x 90
16 plus aux $c $e
17 plus totbp $aux $x
18 print $totbp
19 data res $totbp $flag BP
20 send $res 4
21 end
22 delay 1000

```

Código 6.3. Cálculo da classificação da rota

O Código 6.3 é referente à *script* associada ao parque de estacionamento subterrâneo da área comercial Braga Parque. Começa por ser calculado o peso do IQA (Código 6.3 - linha 10 e 11), o peso da Temperatura (Código 6.3 - linha 12 e 13) e o peso do número de lugares livres (Código 6.3 - linha 14 e 15). Estes pesos são guardados na variável final **totbp** (Código 6.3 - linha 2). De seguida é construída a mensagem que é enviada para os restantes nodos do cenário. Nesta mensagem "**data res \$totbp \$flag BP**" (Código 6.3 - linha 19) é enviada a pontuação calculada "**\$totbp**" (Código 6.3 - linha 17), o número de lugares livres no momento "**\$flag**" (Código 6.3 - linha 4) e, o nome do parque que neste caso é designado por "**BP**". A mensagem é enviada até ao nodo situado no número 4 (Figura 6.8). A informação relativa ao parque exterior (nº 6) é recolhida e enviada de igual modo até ao ponto número 4. Quando o nó móvel chegar ao ponto 4 recebe a classificação dos dois parques e escolhe a rota que tiver a classificação mais alta. O número de lugares livres é usado para ser enviado até ao nodo fixo que está localizado no ponto 1, assim desta forma, o nó móvel só se dirige na direção da área comercial Braga Parque (nº 2) se houver lugares de estacionamento livres (valor do **\$flag**). Caso não haja lugares livres na área comercial o nodo móvel segue na direção do centro da cidade de Braga (nº3).

6.3 CENÁRIO FINAL

Na Figura 6.9 é apresentado o cenário final com todos os seus 45 sensores e com as 9 rotas desenhadas. Neste cenário estão representados dois automobilistas, sendo eles o sensor móvel 1 e 2. O sensor móvel 1 inicia a trajetória no início da Avenida João Paulo II, e o sensor móvel 2 inicia a trajetória no início da Avenida João XXI.

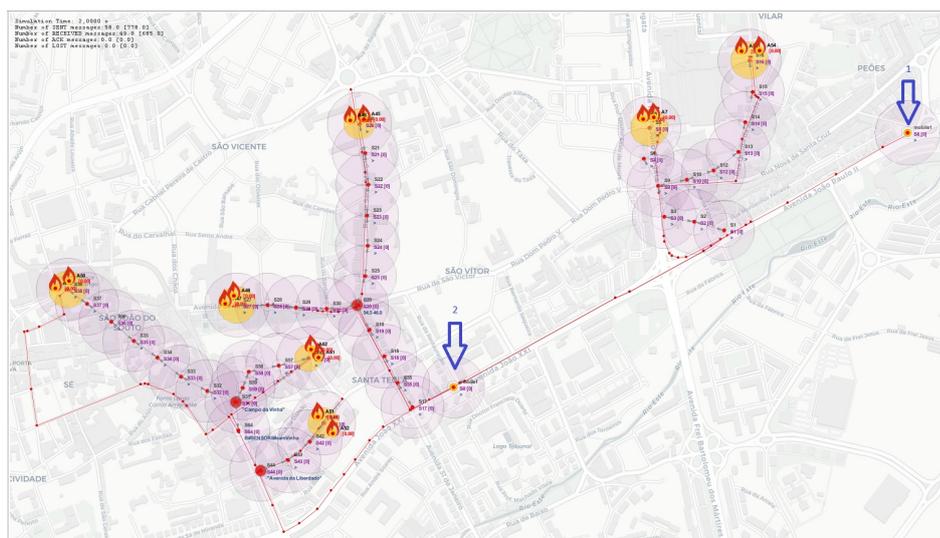


Fig. 6.9. Cenário final

6.3.1 Sensor Móvel

Cada um dos nós móveis começa numa rota predefinida. O primeiro parte da avenida João Paulo II (Figura 6.9 - n° 1) e, o segundo parte do início da Avenida João XXI (Figura 6.9 - n° 2), ambos percorrem a rota inicial até chegarem a um cruzamento. Quando chegam a um cruzamento recebem a nova rota que vão seguir de acordo com os critérios pré-definidos. Nestes cruzamentos existe um nó designado por nó de decisão/ponto de decisão. Estes nós são responsáveis por receber toda a informação dos parques que este gere. Em primeiro começa por receber as mensagens com todas as informações necessárias "**rdata \$a rateA lugA parqueA**" (Código 6.5 linha 8), onde o "**rateA**" é a classificação do parque A, "**lugA**" corresponde ao número de lugares livres do parque de estacionamento e "**parqueA**" é o nome do parque, por exemplo "BP" que corresponde a Braga Parque.

Após receber de igual forma as informações do segundo parque "**rdata \$b rateB lugB parqueB**" (Código 6.5 - linha 9) é comparado a classificação de cada parque. O parque que apresentar a maior classificação é o parque escolhido para ser enviado ao nó móvel. É então construída a seguinte mensagem: "**data d B SENSOR8 bparque**", onde "**B**" é uma "*flag*" informativa, "**SENSOR8**" é o nome do sensor para quem é enviada a mensagem e, "**bparque**" é o nome da rota a seguir para chegar ao parque de estacionamento escolhido.

```

1 loop
2 wait
3 read d
4 rdata $d x n r
5 print $x
6 led 13 9
7 if($x==B)
8     print $n : $r
9     set last B
10    route $r
11 end

```

Código 6.4. Script associada a um sensor mobile

```

1 set lugTot 0
2 set flag 0
3 loop
4 wait
5 read a
6 wait
7 read b
8 rdata $a rateA lugA parqueA
9 rdata $b rateB lugB parqueB
10 plus lugTot $lugA $lugB
11 if($lugTot > 5)

```

```

12  set flag 1
13  else
14  set fag 0
15  end
16  send $flag 3
17  print $rateA $rateB
18  if($rateA > $rateB)
19    led 13 1
20    data d B SENSOR8 bparque
21    send $d 8
22  else
23    led 13 2
24    data d B SENSOR8 cinemaBP
25    send $d 8
26  end

```

Código 6.5. Script de um nodo de decisão

6.3.2 Cenário A

O cenário A corresponde a um automobilista que se desloca a partir da Avenida João Paulo II e este pretende estacionar na área comercial do Braga Parque. Neste cenário o peso atribuído ao IQA tem maior peso no parque interior (40%) do que no parque exterior (30%) (Tabela 8). Isto deve-se ao tipo de ambiente, como o subterrâneo é um espaço fechado, o ar tem maior dificuldade em ser renovado, o que pode levar tornar-se a ficar um ambiente perigoso para a saúde dos automobilistas. Já no parque exterior, como é um local aberto, a qualidade do ar tem muito pouca probabilidade de atingir valores perigosos para os automobilistas. E desta forma, o peso é maior para a temperatura pois em dias de sol as temperaturas podem ser bastantes elevadas, nomeadamente na altura do verão.

Parque	IQA	°C	Lugares Livres
Subterrâneo (indoor)	40%	30%	30%
Exterior (outdoor)	30%	40%	30%

Tabela 8. Pesos atribuídos às variáveis no cenário A

O automobilista parte do ponto 1 (Figura 6.10), chega ao ponto 2 (seta azul) e recebe como informação uma *flag*, esta pode ter o valor 0 ou 1. Se *flag* = 0 (verdade) existem lugares disponíveis num dos parques de estacionamento da zona comercial, se *flag* = 1 (falso) indica que não existe nenhum lugar livre (naquele momento) em qualquer um dos parques, evitando a acumulação de trânsito quando os parques se encontrem lotados. Neste caso,

é recebida uma $flag = 0$, fazendo com que o sensor móvel se desloque em direção à zona comercial Braga Parque, mensagem "**SENSOR8: bparque**" (Figura 6.10 - seta vermelha).

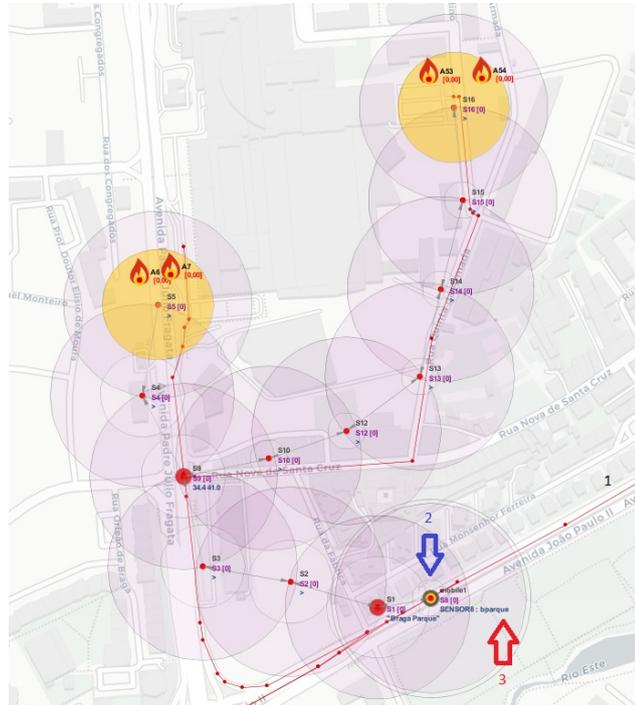


Fig. 6.10. Cenário A - Primeiro ponto de decisão

Alternativa 1

Após o nodo mobile seguir a direção da área comercial Braga Parque chega a um outro ponto de decisão (Figura 6.11 - seta azul). Este tem de decidir entre o parque de estacionamento interior e o parque de estacionamento exterior. Neste caso, verifica-se que classificação do parque interior (34.2) é maior que a classificação do parque exterior (32.2) Figura 6.11. Assim, o nodo mobile recebe a mensagem "**SENSOR8: bparque**", seguindo na direção do parque subterrâneo da área comercial.

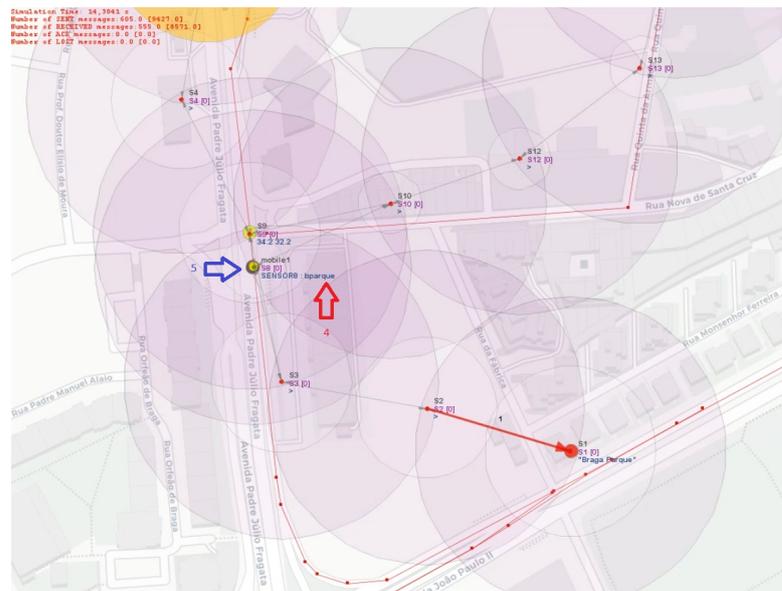


Fig. 6.11. Alternativa 1 - Segundo ponto de decisão

Após passar o nodo de decisão (Figura 6.11 - seta azul), o nodo móvel segue a rota até esta terminar, o que simboliza a chegada ao parque de estacionamento interior e, por conseguinte o estacionamento do respetivo automóvel (Figura 6.12 - seta azul).

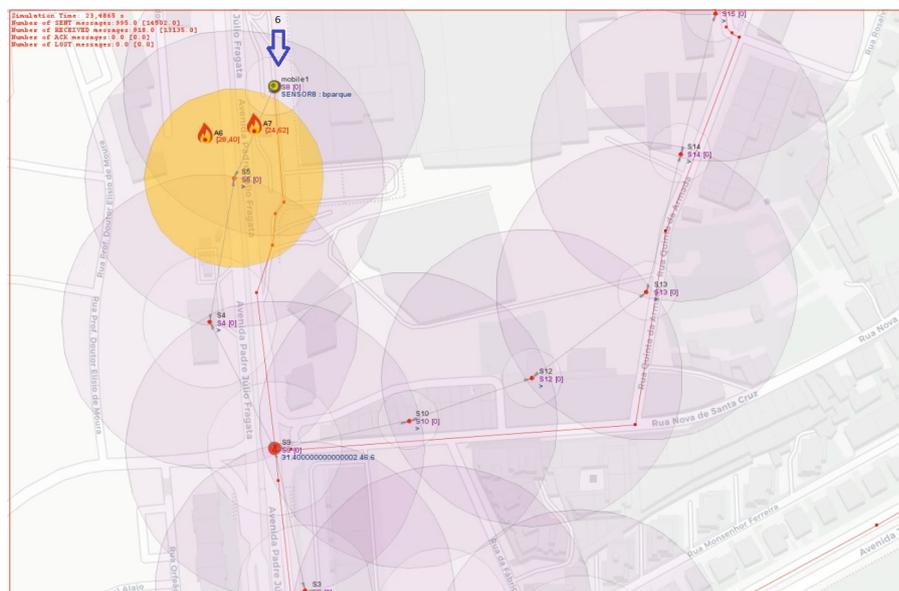


Fig. 6.12. Destino final do nodo mobile - Alternativa 1

Alternativa 2

A segunda alternativa neste cenário corresponde à escolha do parque exterior. Quando o nodo móvel chega ao segundo nodo de decisão, e o valor da classificação do parque exterior for superior à classificação do parque interior, o nodo móvel recebe a mensagem "SENSOR8: cinemaBP" (Figura 6.13 - seta vermelha), escolhendo assim o parque exterior da zona comercial.

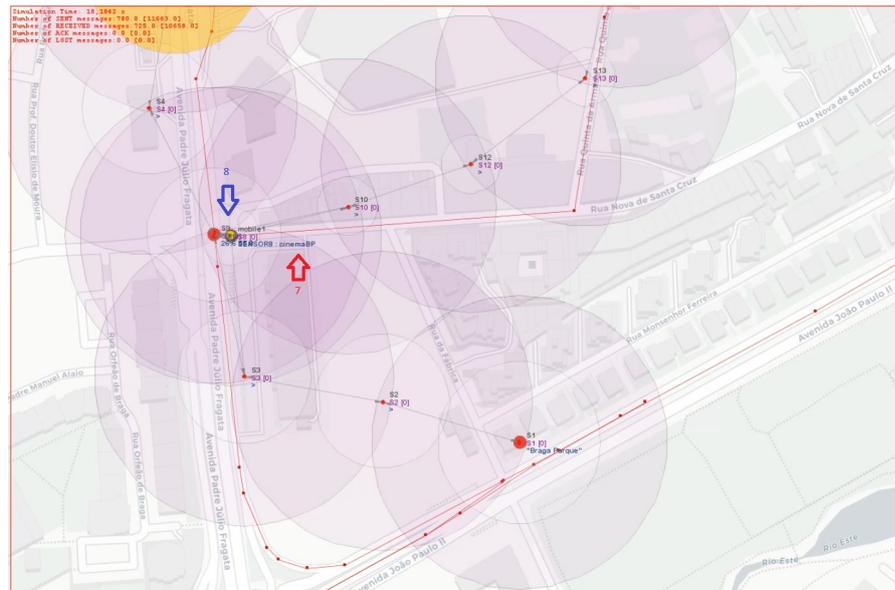


Fig. 6.13. Alternativa 2 - Segundo ponto de decisão

Após passar nodo correspondente ao segundo ponto de decisão (Figura 6.14 - seta azul).

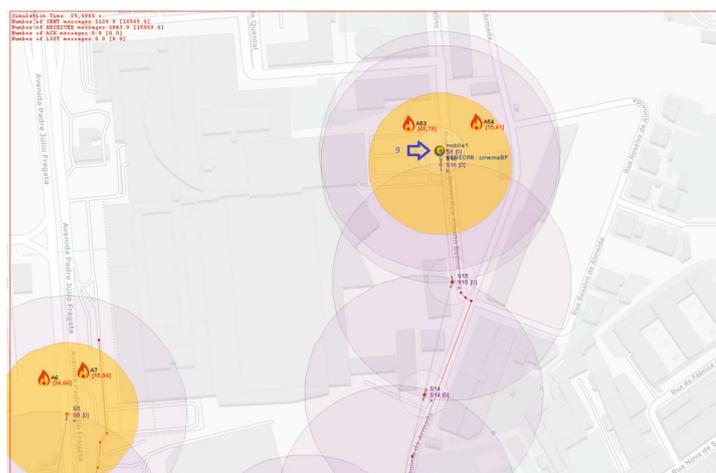


Fig. 6.14. Destino final do nodo mobile - Alternativa 2

6.3.3 Cenário B

O cenário B corresponde a um automobilista que se desloca a partir da Avenida João Paulo XXI, este pretende dirigir-se para o centro da cidade de Braga e estacionar o seu automóvel numa das 15 áreas de estacionamento disponíveis. Da mesma forma, neste cenário o peso atribuído ao valor da variável IQA e à temperatura seguem as mesmas regras aplicadas no cenário A. O peso atribuído ao valor do IQA para os parques interiores é 40%. E para os parques exteriores o peso atribuído é 30%, Tabela 9.

Parque	IQA	°C	Lugares Livres
Subterrâneo (indoor)	40%	30%	30%
Exterior (outdoor)	30%	40%	30%

Tabela 9. Pesos atribuídos às variáveis no cenário B

O automobilista parte da posição inicial assinalada pela seta de cor preta representada na Figura 6.15. Chega ao seu primeiro ponto de decisão (seta azul) e recebe a informação de que na área comercial Braga Parque não existem lugares de estacionamentos livres em nenhum dos parques (interior e exterior). Desta forma, o automobilista segue a rota em direção ao centro da cidade de Braga (seta verde).

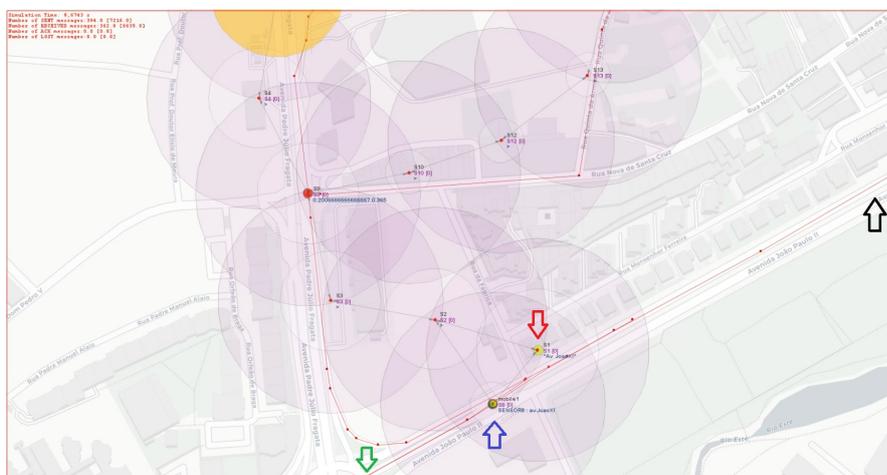


Fig. 6.15. Cenário B - Primeiro ponto de decisão

Após passar o primeiro ponto de decisão, o automobilista percorre a Avenida João XXI até chegar a uma nova interseção da avenida atual com a Avenida 31 de Janeiro (Figura 6.16 - seta vermelha). Nesta interseção, o automobilista pode optar por mudar de direção e seguir a Avenida 31 de Janeiro (Figura 6.16 - seta verde) ou, continuar a seguir a direção atual ao longo da Avenida João XXI (Figura 6.16 - seta azul). Neste caso, o automobilista ao chegar ao ponto de decisão recebe a classificação das duas rotas alternativas, e verifica

que neste caso a rota que apresenta uma maior classificação é a que segue pela Avenida 31 de Janeiro, seguindo assim pela rua 31 de Janeiro (Figura 6.16 seta verde).

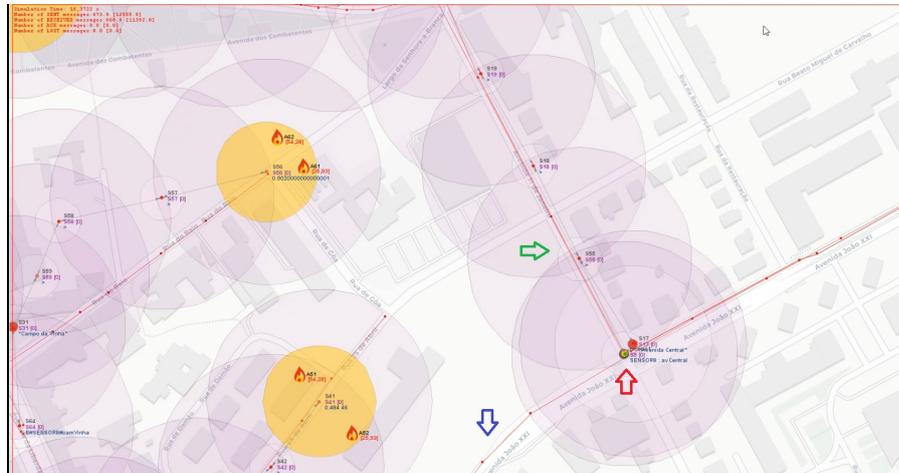


Fig. 6.16. Cenário B - Segunda decisão

O automobilista após optar seguir ao longo da Avenida 31 de Janeiro, chega ao último ponto de decisão (Figura 6.17 - seta verde). Este ponto de decisão recebe informações relativas a duas áreas distintas de estacionamento. A primeira (Figura 6.17 - seta vermelha) é referente ao parque subterrâneo da Avenida Central e, a segunda (Figura 6.17 - seta azul) é referente à área de estacionamento da rua Santa Catarina. Estes lugares de estacionamento são dispostos ao longo da rua de forma paralela.

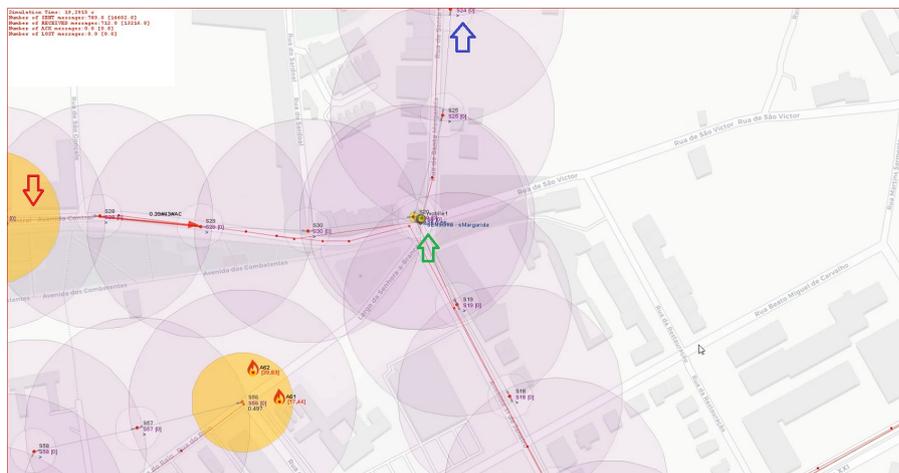


Fig. 6.17. Cenário B - Última decisão

Como o automobilista, no ponto de decisão anterior (Figura 6.17 - seta verde) recebeu a informação **SENSOR8: sMargarida**, este seguiu a rota que vai em direção à área de estacionamento exterior desta mesma rua, ou seja, vai estacionar nos lugares que existem ao longo da rua (Figura 6.18 - seta preta).



Fig. 6.18. Cenário B - Posição final do nodo móvel

6.4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De uma forma geral chegou-se à conclusão que qualquer tipo de automobilista consegue tirar benefícios do próprio sistema. Perante isto, de uma forma mais particularizada, identificou-se um subconjunto de utilizadores que mais carecem do sistema, como exemplo:

- Pessoas com problemas respiratórios: pessoas com asma ou pessoas obesas. Estas pessoas têm grandes dificuldades em respirar, por isso têm a necessidade de escolher uma área de estacionamento onde a qualidade do ar não seja maléfica para a sua saúde. O sistema proposto permite escolher a área de estacionamento que seja mais confortável para elas;
- Carros familiares: exemplo de grandes famílias que circulam em determinados automóveis designados como monovolumes. O automobilista nestas circunstâncias tem a necessidade de escolher a área de estacionamento com o maior número de lugares livres para poder assim estacionar com segurança;
- Jovens condutores: os automobilistas que tenham tirado a carta à pouco tempo têm necessidade de identificar as áreas de estacionamento com maior número de lugares livres, pois ainda apresentam pouca experiência de condução;
- Condutores idosos: tal como os jovens condutores, os automobilistas idosos têm mais dificuldades em estacionar, digamos que menos destreza. Dessa forma recorrem ao sistema para escolherem as áreas de estacionamento que mais se adaptam às suas dificuldades, que neste caso são as que têm maior número de lugares livres num dado momento.

Para se poder tirar mais conclusões e poder obter resultados "palpáveis" é imprescindível a implementação de um protótipo de pequena escala na vida real. Desta forma, seria possível testar o real comportamento do sistema, como este consegue auxiliar os automobilistas a escolherem o local de estacionamento. Através de um primeiro protótipo implementado é possível ter um *feedback* dos utilizadores sobre o sistema, em aspetos visuais e funcionais. Por exemplo, se as cores e tamanhos dos caracteres nos painéis informativos são de fácil visualização, se os algoritmos de classificação são eficientes ou devem ser otimizados para cumprir requisitos específicos.

6.5 LIMITAÇÕES DA SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução proposta apresenta algumas limitações, problemas que atualmente ainda não são possíveis de resolver. Dois problemas identificados, o primeiro é relativo ao trânsito, o sistema não possui meios para controlar o trânsito na área de monitorização, caso a maioria dos automobilistas ignorem as indicações do sistema. A segunda é relativo aos lugares atribuídos, não há maneira de evitar que um outro automobilista se "aproprie" de um lugar de estacionamento que não esteja destinado a sim. Uma possível solução passa por haver intervenção humana na área da fiscalização das áreas de estacionamento.

6.6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA NA CIDADE DE BRAGA

Para implementar este tipo de sistema no centro da cidade de Braga é necessário hardware especializado para realizar quatro tipos de tarefas diferentes, são elas:

- medição os dados da área de estacionamento (temperatura, qualidade do ar e estado do lugar de estacionamento);
- transporte da informação;
- agregação da informação (servidor responsável por receber informações de várias áreas de estacionamento);
- disponibilização da informação aos automobilistas.

Para captar os dados das áreas de estacionamento é economicamente mais fiável usar um sensor para cada parâmetro, o que também torna o sistema mais simples (facilidade de manutenção e menos custo inicial). Isto envolve, um sensor responsável para captar a temperatura atual da área de estacionamento, um sensor para captar os dados referentes à qualidade do ar e um outro sensor responsável por captar o estado (livre ou ocupado) de cada lugar de estacionamento. Para o transporte da informação pode-se recorrer a pontos de acesso, que transmitem a informação até ao ponto que agrega a informação das várias

áreas de estacionamento. O ponto agregador das informações é um simples servidor local, que recebe informações de várias áreas de estacionamento e, após receber estas informações, é responsável por analisar toda a informação e atribuir a pontuação de cada área de estacionamento. Após toda a informação ser tratada no servidor local, esta é enviada para os painéis informativos que estão localizados no início de cada rua, ou na entrada dos parques de estacionamento.

Numa política de otimização de recursos, pode-se recorrer a infraestruturas já instaladas na cidade de Braga, por exemplo, a sensores que controlam a qualidade do ar. De momento já existem instalados na cidade cerca de 9 estações [20] que monitorizam a qualidade do ar. Estes podem ser usados neste sistema para captar a qualidade do ar nas áreas de estacionamento. Para o transporte da informação pode-se recorrer ao sistema de *Wifi* grátis da cidade de Braga, este sistema é composto por um conjunto de 28 antenas [21], o que seria uma mais valia para o sistema de parqueamento pois abrangem uma grande área. Ainda no que diz respeito ao transporte da informação pode-se usar o sistema existente de fibra ótica usada atualmente na monitorização dos pilaretes que controlam o acesso a várias ruas do centro. Se forem usadas as estruturas já existentes é apenas necessário um investimento inicial para adquirir os servidores locais, para os painéis informativos e para os sensores que monitorizam o estado do lugar de estacionamento (livre ou ocupado).

A nível do software necessário para o sistema é aconselhável a leitura deste documento, pois aborda de uma forma detalhada os requisitos funcionais, não funcionais, os principais tipos clientes, utilizadores, arquitetura do sistema, os aspetos visuais, etc. O software é responsável por receber os dados, tratar os mesmos de acordo com critérios pré-definidos atribuindo assim uma classificação a cada área de estacionamento. E por fim enviar as classificações para os painéis informativos (*displays*) localizado nas áreas de estacionamento (ruas e parques).

6.7 DIFICULDADES ENCONTRADAS

De um modo geral, a maior dificuldade encontrada está relacionada com a fase inicial do desenvolvimento dos protótipos, relativa à ferramenta de simulação usada, o CupCarbon. Por esta ser uma ferramenta ainda relativamente recente o material de apoio é limitado, contado ainda com alguns bugs e limitações não previstas inicialmente. Por exemplo, relativamente ao nodo móvel, neste momento é impossível o nodo móvel receber valores e tomar as suas próprias decisões na escolha de rotas. A ideia inicialmente traçada seria o nodo móvel poder interagir com o ponto de decisão (Figura 6.19 - nodo S1), por exemplo, para receber os parâmetros (temperatura, IQA, nº de lugares livres) dos parques e, tomar assim uma decisão de acordo com a suas preferências, se preferia deslocar-se para

um parque com temperatura inferior a X °C ou com Y lugares livres. Desta forma, estaria a representar um perfil de um dado utilizador. Para contornar estas limitações optou-se por construir um nodo auxiliar que agrega todas as informações das rotas e analisando as mesmas. Após realizada a análise dessas informações, o nodo agregador forma uma *string* com a informação da nova rota a seguir e, envia essa *string* para o nodo móvel (Código 6.6 - linha 17 e 18).

Por exemplo, na Figura 6.19 o nodo móvel ao chegar ao nodo S_1 tem de fazer uma escolha de rota a seguir. Como não é possível este poder escolher, essa parte da decisão é feita no nodo S_1 . O nodo mobile apenas recebe a informação "SENSOR8 avJoaoXI" ou "SENSOR8 bparque" e, de acordo com o que recebe desloca-se para a respetiva rota.



Fig. 6.19. Nodo de decisão S_1 e nodo mobile

```

1 loop
2 randb x 0 1
3 if($x == 1)
4   set pref BP
5 else
6   set pref CN
7 end
8 wait
9 read v
10 print $v
11 if(($pref == BP) && ($v == 1))
12   led 13 2
13   print "Braga Parque"
14 else
15   led 13 1
16   print "Av JoaoXI"
17   data d B SENSOR8 avJoaoXI

```

```
18 send $d 8  
19 end
```

Código 6.6. Script associada ao sensor 1

Uma outra limitação da ferramenta de simulação CupCarbon é o facto de atualmente ser impossível haver comunicação exterior à ferramenta, por exemplo, no cenário proposto é essencial a existência de uma base de dados externa ao CupCarbon para simular o armazenamento de toda a informação relativa aos parques (registos de utilizadores e leituras de valores dos sensores). Desta forma, o cenário é um pouco simplista em relação à realidade.

Tirando os "entraves" a cima mencionados, no geral é uma avaliação positiva à ferramenta, pois, possui um *design* simples e fácil de perceber, bem como, a equipa responsável pela ferramenta mostrou-se muito acessível para poder ajudar nas dúvidas que iam surgindo ao longo do desenvolvimento.

6.8 SUMÁRIO

Este capítulo iniciou-se com uma breve introdução aos cenários de teste. Os cenários de teste são dois. Estes dois cenários englobam duas áreas estratégicas na cidade de Braga, a zona comercial do Braga Parque e a zona central da cidade. A zona central é composta por quinze parques de estacionamento exteriores e interiores, já a zona comercial do Braga Parque tem dois parques, o interior e o exterior. No total, estas duas zonas apresentam nove rotas distintas, duas na zona do Braga Parque e sete espalhadas na zona centro. No total são usados quarenta e cinco sensores, deles fazem parte sensores transmissores, sensores móveis e sensores intermédios. Após isso, prosseguiu-se com as simulações. Esta parte foi dividida em dois cenários de acordo com as zonas (A e B). O cenário A simula o comportamento de um automobilista que parte da Avenida João Paulo II em direção à zona comercial Braga Parque. Este cenário é dividido em duas alternativas. A primeira alternativa é quando a maior pontuação é do parque inteiro e, o automobilista segue em direção a este parque, a segunda alternativa é quando a maior pontuação corresponde ao parque exterior. O B cenário simula um automobilista a dirigir-se em direção ao centro da cidade de Braga e, este opta pelo parque que tiver a melhor classificação. A classificação é calculada com base na fórmula apresentada no capítulo anterior, para o cálculo da classificação entram três variáveis em jogo (número de lugares livres na área de estacionamento, temperatura da área de estacionamento e qualidade do ar). Após o término das simulações, procedeu-se a um pequeno estudo de como será possível aproveitar os recursos já existentes (sensores de temperatura, qualidade de ar, pontos de acesso e rede de fibra ótica) na cidade para implementar o sistema inteligente de estacionamento. Ao finalizar o capítulo são descritas as dificuldades mais relevantes que apareceram ao longo do desenvolvimento, sendo estas referentes às limitações do CupCarbon.

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O tema deste projeto de mestrado surgiu com a ideia de estudar a gestão do estacionamento nas várias zonas da cidade de Braga, tirando partido de *Smart Cities* e *IoT*. Conectando numa rede de sensores o estado de todas as áreas de estacionamento da cidade de Braga, é possível disponibilizar aos automobilistas os parâmetros essenciais para a escolha da área de estacionamento, por exemplo, lotação das áreas de estacionamento, temperatura, qualidade do ar, entre outros. Desta forma, definiu-se como objetivo principal deste projeto de mestrado estudar e desenhar cenários de gestão inteligente do estacionamento em ambiente urbano.

Este projeto está dividido em dois momentos chave. O primeiro momento é relacionado com o estado de arte. O segundo com a conceção e desenvolvimento da solução. O estado de arte foi dividido em duas partes. Na primeira parte é feito um estudo dos vários projetos relacionados com o *Smart Parking* nas *Smart Cities*. Aqui são analisados os projetos mais atuais e as tecnologias envolvidas, desde os sensores usados aos algoritmos de cálculo de rotas. Na segunda parte é feito um estudo das ferramentas de simulação existentes no mercado, sendo realizada uma análise a seis ferramentas de simulação diferentes. Após esta comparação foi feita a escolha da ferramenta que mais se adequa aos critérios deste projeto que neste caso foi o CupCarbon. A escolha desta ferramenta de simulação prende-se pelo facto de esta ter sido especificamente concebida para o estudo de aspetos relacionados com *Smart Cities* e *IoT*. Por esta ser uma ferramenta *user friendly*, sendo assim de fácil ambientação, e por ser uma ferramenta em que há uma comunidade ativa onde se pode trocar ideias e sugerir novas funcionalidades. O facto de ser uma ferramenta atualmente gratuita é outro dos critérios para a sua escolha.

O segundo momento chave deste projeto está relacionado com a conceção do modelo de estacionamento e a construção dos cenários de teste e seus resultados. Numa primeira fase é realizado um levantamento de todos os requisitos funcionais e não funcionais do projeto, identificando-se os principais clientes e utilizadores do sistema. Após isto segue-se a parte de desenvolvimento, sendo inicialmente desenvolvido um pequeno protótipo inicialmente. Neste protótipo são simulados três tipos de perfis distintos, onde cada um tem as suas preferências na escolha da área de estacionamento, por exemplo, se dão mais preferência

a uma área onde há mais lugares livres, ou se dão mais preferência por uma área onde a qualidade do ar é melhor. A segunda fase é referente à construção do cenário final. Este é um cenário mais complexo que se aproxima mais com a realidade. Este cenário é composto por nove rotas que cobrem duas áreas estratégicas da cidade de Braga relativamente ao fator de estacionamento. A primeira área está localizada no centro da cidade e a segunda localizada na área comercial Braga Parque.

A terminar este segundo momento são expostas as conclusões e identificam-se os principais problemas. De forma global, conclui-se que o estudo detalhado da arquitetura do modelo de estacionamento inteligente permitiu identificar os principais requisitos e atributos a considerar no mesmo. Os cenários definidos permitiram demonstrar a viabilidade de efetuar a prova de conceito sobre um ambiente de simulação e inferir o comportamento do sistema na presença de parques e rotas reais.

7.0.1 *Trabalho Futuro*

O projeto desenvolvido apresenta algumas limitações, sendo que muitas delas podem ser colmatadas em trabalhos futuros. Assim, para trabalhos futuros destaca-se a necessidade de melhorar alguns pontos, sendo eles:

- aumentar o número de atributos no cenário, por exemplo, tipo de estacionamento (paralelo ou perpendicular, nível de segurança da área de estacionamento, acessibilidade à área de estacionamento, valor da tarifa atual, entre outros);
- alargar o número de áreas de estacionamento;
- aumentar o número de rotas alternativas para chegar aos parques;
- aumentar o número de nodos móveis em simultâneo no cenário.
- recolha de inquéritos realizados por automobilistas, para assim ser possível tirar mais detalhes relevantes para o sistema.

De uma maneira geral, os objetivos estipulados neste projeto de mestrado foram alcançados, sendo que ainda existem algumas limitações que poderão ser supridas em trabalhos futuros.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - Sfpark.org. (2018). About – SFpark. [online] Available at: <http://sfpark.org/about-the-project/> [Accessed 25 Nov. 2017].
- [2] - Laexpresspark.org. (2017). LA Express Park™ | Save Time, Park Smarter. [online] Available at: <http://www.laexpresspark.org/> [Accessed 25 Nov. 2017].
- [3] - project, T. (2018). Poluição do ar em Portugal: Mapa da qualidade do ar em tempo real. [online] aqicn.org. Available at: <https://aqicn.org/map/portugal/pt/> [Accessed 26 Nov. 2017].
- [4] - Seco, Á., Gonçalves, J. and Costa, A. (2008). Manual do planeamento de acessibilidades e transportes. Universidade de Coimbra, Coimbra. [Accessed 26 Nov. 2017].
- [5] - Transalt.org. (2017). No vacancy: park slope’s parking problem | Transportation Alternatives. [online] Available at: <https://www.transalt.org/news/releases/126> [Accessed 27 Nov. 2017].
- [6] - Wang, H. and He, W. (2011). A Reservation-based Smart Parking System. *Department of Computer Science & Engineering, University of Nebraska-Lincoln, Nebraska. [Accessed 27 Nov. 2017].
- [7] - Wu, X., Balkumar, K., Luo, Q., Hampshire, R. and Saigal, R. (2016). An Evaluation of Information Sharing Parking Guidance Policies Using a Bayesian Approach. University of Michigan, Michigan. [Accessed 27 Nov. 2017].
- [8] - Lin, T., Rivano, H. and Mouël, F. (2017). A Survey of Smart Parking Solutions. Ieee transactions on intelligent transportation systems, Vol. 18. [Accessed 27 Nov. 2017].
- [9] - IT Forum 365 | Conectando todo o setor de TI. (2017). Águas de São Pedro: por dentro da primeira cidade inteligente do Brasil - IT Forum 365 | Conectando todo o setor de TI. [online] Available at: <https://itforum365.com.br/conectividade/internet-das-coisas/aguas-de-sao-pedro-por-dentro-da-primeira-cidade-inteligente-do-brasil> [Accessed 4 Dec. 2017].

- [10] - Piracicaba e Região. (2017). 'Estacionamento inteligente' mostra vagas desocupadas por aplicativo. [online] Available at: <http://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/2014/11/estacionamento-inteligente-mostra-vagas-desocupadas-por-aplicativo-guasdesaopedro.html> [Accessed 4 Dec. 2017].
- [11] - In-text: (Wang and He, 2011) Your Bibliography: Wang, H. and He, W. (2011). A Reservation-based Smart Parking System. University of Nebraska-Lincoln, NE, USA, pp.1-3.
- [12]- UrbanSim. (2018). Home. [online] Available at: <http://www.urbansim.com/home/> [Accessed 8 Jan. 2018].
- [13] - Pt.wikipedia.org. (2018). SimCity. [online] Available at: <https://pt.wikipedia.org/wiki/SimCity> [Accessed 8 Jan. 2018].
- [14] - Pt.wikipedia.org. (2018). Cities: Skylines. [online] Available at: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cities:_Skylines [Accessed 8 Jan. 2018].
- [15] - 2, C. (2018). Cities in Motion 2 | Paradox Interactive. [online] Paradoxplaza.com. Available at: <https://www.paradoxplaza.com/cities-in-motion-2/CMCMo2GSKcim2001.html> [Accessed 9 Jan. 2018].
- [16] - Iotify.help. (2018). Smart City Simulation | IOTIFY. [online] Available at: <https://iotify.help/network/smart-city/simulation.html> [Accessed 9 Jan. 2018].
- [17] - Lobão, F. and Aguchiku, P. (2015). Estacionamentos em grandes cidades - SFPark – São Francisco.
- [18] - Laexpresspark.org. (2018). What is LA Express Park™? | LA Express Park™. [online] Available at: <http://www.laexpresspark.org/about-la-expresspark/> [Accessed 13 Jan. 2018].
- [19] - Meteocercal.info. (2018). MeteoCercal - Cercal CDV - MeteoCercal - Air Quality Index. [online] Available at: http://www.meteocercal.info/wx_AirQualityIndex.php [Accessed 13 Jun. 2018].
- [20] - Ambientemagazine.com. (2018). Braga vai ter solução inovadora de monitorização de qualidade ambiental em tempo real | Ambiente Magazine. [online] Available at:

<https://www.ambientemagazine.com/braga-vai-ter-solucao-inovadora-de-monitorizacao-de-qualidade-ambiental-em-tempo-real/> [Accessed 14 Sep. 2018].

[21] - Rcc.gov.pt. (2018). Wifi Braga. [online] Available at: <http://www.rcc.gov.pt/Diretorio/Temas/ServicosCidadao/Paginas/Wifi-Braga.aspx> [Accessed 14 Sep. 2018].

[22] - Patil, M. and Sakore, R. (2014). Smart Parking System Based On Reservation. 2Department of Computer Engineering, Ramrao Adik Institute of Technology, Navi Mumbai, India [Accessed 22 Sep. 2018].

[23] - Lenka, R., Das, N., Mohanty, D., Barik, R., Agarwal, K. and Vipsita, S. (2017). PSPS: An IoT Based Predictive Smart Parking System. School of Computer Application, KIIT University, Odisha, India [Accessed 24 Sep. 2018].

[24] - Wu, Y. (2011). Analysis of Present Status and Prediction of Future Demand on Parking in the Central Area of Medium and Small City. College of Logistics and Transport Guangdong Communication Polytechnic Guangzhou, P.R.China. [Accessed 27 Sep. 2018].

[25] - Larisis, N., Perlepes, L., Kikiras², P. and Stamoulis, G. (2012). U-Park : Parking Management System Based on Wireless Sensor Network Technology. Department of Computer and Communications, University of Thessaly, Volos, Greece. [Accessed 27 Nov. 2017].

[26] - Kianpishah,, A., Mustaffa,, N., Limtrairut, P. and Keikhosrokiani, P. (2012). Smart Parking System (SPS) Architecture Using Ultrasonic Detector. Universiti Sains Malaysia(USM), International Journal of Software Engineering and Its Applications Vol. 6. Malaysia. [Accessed 28 Sep. 2018].

[27] - Barros, J. (2017). Algoritmos sobre Grafos, Algoritmos e Complexidade. Departamento de Informática, Universidade do Minho, Braga.

[28] - Sanders, P. and Schultes, D. (2016). Engineering Fast Route Planning Algorithms. Universit`at Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Germany. [Accessed 13 Jun. 2018].

[29] - Theory.stanford.edu. (2018). Introduction to A*. [online] Available at: <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/AStarComparison.html> [Accessed 13 Jun. 2018].

[30] - I.ytimg.com. (2018). [online] Available at: <https://i.ytimg.com/vi/VM6Idye933U/maxresdefault.jpg> [Accessed 20 Oct. 2018].

- [31] - Upload.wikimedia.org. (2018). [online] Available at: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bf/Parquimetro.jpg/220px-Parquimetro.jpg> [Accessed 27 Oct. 2018].
- [32] - Ondelisboa.com. (2018). [online] Available at: <http://www.ondelisboa.com/wp-content/uploads/2016/09/OndeLisboa-ViscondeSantarem.jpg> [Accessed 27 Oct. 2018].
- [33] - Icsa.pt. (2018). [online] Available at: <http://icsa.pt/client/image/000000001/1016.jpg> [Accessed 27 Oct. 2018].
- [34] - En.wikipedia.org. (2018). Dijkstra's algorithm. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm [Accessed 27 Oct. 2018].
- [35] - En.wikipedia.org. (2018). Floyd–Warshall algorithm. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Floyd%E2%80%93Warshall_algorithm [Accessed 27 Oct. 2018].
- [36] - En.wikipedia.org. (2018). A* search algorithm. [online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithmcite_note-nilsson-3 [Accessed 27 Oct. 2018].
- [37] - Santos, B., Silva, L., Celes, C., Borges, J. and Loureiro, A. (2017). Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Departamento de Ciência da Computação Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil [Accessed 27 Oct. 2018].



MATERIAL DE SUPORTE

A.1 MANUAL DE UTILIZAÇÃO

De seguida são explicados os passos necessários para inicializar uma simulação do cenário final recorrendo à ferramenta de simulação *CupCarbon*.

1. download e extração da plataforma de simulação;
2. download do código fonte;
3. abrir a ferramenta de simulação. Abrir o executável localizado na pasta *cupcarbon\cupcarbon.jar*;
4. carregar o cenário *Project -> Open Project -> Pasta do projeto -> file.cup*;
5. para apresentar as rotas desenhadas selecionar no menu lateral esquerdo *Market Parameters -> Draw all routes*;
6. seleção dos parâmetros de simulação. Selecionar no menu lateral esquerdo *Simulation Parameters*, selecionar a *checkbox -> Mobility \Events*;
7. escolha dos parâmetros de simulação. Selecionar no menu lateral esquerdo *Simulation Parameters*. Escolher valores relativos à velocidade de simulação (*Simulation Speed* e *Arrow Speed*). Exemplo: *Simulation Speed = 500, Arrow Speed = 50*;
8. por fim selecionar no menu superior *Simulation -> Run Simulation*.