



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Diogo Manuel Neto Ferreira da Silva Serôdio

A CIDADE DO FUTURO
AS NOVAS POLÍTICAS E FORMAS DE MOBILIDADE

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação, orientada pela Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva e apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Outubro de 2020

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Diogo Manuel Neto Ferreira da Silva Serôdio

A CIDADE DO FUTURO AS NOVAS POLÍTICAS E FORMAS DE MOBILIDADE

**THE CITY OF THE FUTURE
NEW POLICIES AND FORMS OF MOBILITY**

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pela Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Outubro de 2020



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação marca o encerramento de um percurso académico cheio de amizades e bons momentos proporcionados por pessoas que não poderia esquecer nesta hora.

Em primeiro lugar, um agradecimento especial à orientadora desta dissertação, pela qual tenho o maior respeito e admiração, a Professora Doutora Ana Maria César Bastos Silva, pela constante disponibilidade demonstrada durante todo este percurso, bem como a liberdade, motivação e conselhos que me deu.

Não poderia deixar também de agradecer a algumas das pessoas que me apoiaram e animaram este caminho. É certo que este espaço não é suficientemente grande para agradecer a todas, mas sei que assim que lerem este agradecimento saberão que é a elas que me refiro.

Aproveito assim para agradecer ao Andrei Daniel, à Jéssica Pinto e ao Guilherme Cerveira pelos momentos passados, ao Bernardo Coelho pelas reflexões e desafios encarados em conjunto e ao Luís Abreu pelo apoio e companheirismo.

Aos 5 agradeço ainda por todas as longas conversas que tivemos.

Ao Tiago Braz, ao Tiago Silva e ao Daniel Pereira pelas longas horas passadas a trabalhar com bastantes momentos de descontração que nunca irei esquecer.

À Rita Malaguerra, pelos longos anos de amizade, crescimento e aprendizagem.

A todos vós agradeço pela amizade.

Agradeço ainda à minha família, aos que estão e aos que partiram, mas que serão sempre um exemplo para mim.

Por fim, tempo para agradecer a duas pessoas em especial.

À Sara Andrade pela motivação e apoio incondicional com o qual tenho a sorte e felicidade de poder contar.

E o agradecimento mais importante, à minha Mãe, a pessoa que sempre me apoiou durante todo este percurso e que sei que estará sempre do meu lado em todos os momentos da minha vida.

Obrigado!

RESUMO

Os sistemas de mobilidade enquanto serviço encontram-se em permanente mudança desde o momento em que a humanidade percebeu a sua extrema importância para o desenvolvimento das sociedades. Aliando isto ao facto de se viver atualmente a quarta revolução industrial, Indústria 4.0, é perfeitamente expectável que resulte numa alteração à escala global no paradigma da mobilidade. Outro grande catalisador desta mudança é o crescimento descontrolado que grande parte das cidades sofreu nas últimas décadas, necessitando agora de uma reorganização urgente do seu espaço e das suas redes.

Com estas noções fundamentais como pano de fundo, associadas à crescente consciencialização ambiental e incentivo a estilos de vida mais saudáveis, existe uma crescente aposta nos modos pedonais e cicláveis. No entanto, estes modos possuem raios de ação bastante reduzidos, o que leva à necessidade de existirem não só plataformas, mas também redes e equipamentos capazes de suportar uma aposta na multimodalidade e na intermodalidade.

Ainda num campo paralelo, assistem-se também a duas mudanças nos veículos convencionais, a melhoria da eficiência energética e a automação. O maior requisito para a primeira passa por conseguir energias “limpas” oriundas de fontes renováveis e poderá ter benefícios visíveis a curto/médio prazo, no entanto a segunda trata-se de um enorme desafio, não só a nível de engenharia, mas com implicações éticas, legais e acima de tudo, na segurança dos utilizadores.

Assim, esta dissertação pretende efetuar uma análise não só ao estado da arte, mas simultaneamente identificar e avaliar prós e contras associados às novas formas de mobilidade.

É ainda apresentado um estudo de caso, que tenta com base nas formas de mobilidade apresentadas na revisão bibliográfica, encontrar soluções que permitam melhorar o sistema de mobilidade na cidade de Coimbra, introduzindo também alterações à rede viária que além de facilitarem a aplicação dessas mesmas formas, conferem uma coerência global ao sistema de transportes. A definição de dois circuitos com potencial para integração de veículos autónomos, na resposta a necessidades diferenciadas, evidenciou as potencialidades destes veículos, na sua integração na rede geral dos transportes públicos.

Palavras-chave: Veículo Autónomo, Veículo Autónomo Conectado, Intermodalidade, Multimodalidade, Sistemas de Mobilidade

ABSTRACT

Mobility systems as a service are in constant change from the moment humanity realized their extreme importance for the development of societies. Combining this with the fact that we are currently living through the fourth industrial revolution, Industry 4.0, it is perfectly expected to result in a change on a global scale in the paradigm of mobility. Another major catalyst for this change is the uncontrolled growth that most cities have experienced in recent decades, now requiring an urgent reorganisation of their space and networks.

With these fundamental notions as a backdrop, associated with growing environmental awareness and encouraging healthier lifestyles, there is a growing commitment to pedestrian and cycle modes. However, these modes have very reduced radii of action, which leads to the need to exist not only platforms, but also networks and equipment capable of supporting a bet on multimodality and intermodality.

Still in a parallel field, there are also two changes in conventional vehicles, the improvement of energy efficiency and automation. The biggest requirement for the first is to achieve "clean" energy from renewable sources and may have visible benefits in the short/medium term, but the second is a huge challenge, not only at engineering level, but with ethical, legal and above all, user safety implications.

Thus, this dissertation aims at carrying out an analysis not only of the state of the art, but at the same time identifying and evaluating pros and cons associated with new forms of mobility.

A case study is also presented, which tries, based on the forms of mobility presented in the bibliographical review, to find solutions to improve the mobility system in the city of Coimbra, also introducing changes to the road network which, besides facilitating the application of these same forms, confer an overall coherence to the transport system. The definition of two circuits with potential for the integration of autonomous vehicles, in response to differentiated needs, has highlighted the potential of these vehicles, in their integration into the general public transport network.

Keywords: Autonomous Vehicle, Connected Autonomous Vehicle, Intermodality, Multimodality, Mobility Systems

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura da Dissertação	3
2. NOVAS FORMAS DE MOBILIDADE URBANA	5
2.1 Introdução	5
2.2 Mudanças e Otimização da Mobilidade.....	5
2.2.1 Promoção dos Modos Ativos.....	6
2.2.2 Medidas de Apoio à Eficiência do Veículo Individual	9
2.2.3 Transportes Públicos	14
2.3 Intermodalidade – Sistemas de Informação e Bilhética Integrada.....	15
2.4 Impactes da Pandemia de COVID-19 no Sistema de Transportes	16
2.5 Considerações Finais	18
3. VEÍCULOS AUTÓNOMOS E CONECTADOS	20
3.1 Introdução	20
3.2 Veículos Autónomos.....	21
3.2.1 Níveis de Automação.....	21
3.2.2 Tecnologia	23
3.3 Veículos Autónomos Conectados	29
3.3.1 Tipos de Conexão	29
3.4 Possíveis Benefícios dos Veículos Autónomos	32
3.4.1 Aproveitamento do Tempo de Viagem	32
3.4.2 Volumes de Tráfego e Sinistralidade.....	34
3.4.3 Impacto no Planeamento das Cidades	36
3.5 Obstáculos e Preocupações	36
3.5.1 Considerações Iniciais	36
3.5.2 Ambiente Construído.....	37
3.5.3 Legislação.....	38
3.5.4 Ética.....	40
3.5.5 Cibersegurança	42
3.5.6 Opinião Pública	45

3.6	Período de Transição – Distribuição de Bens e Serviços	46
3.7	Considerações Finais	47
4.	ESTUDO DE CASO – EXPANSÃO DO SISTEMA DE MOBILIDADE DA CIDADE DE COIMBRA	48
4.1	Introdução	48
4.2	Caracterização e Diagnóstico do Sistema de Mobilidade em Coimbra	48
4.2.1	Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC)	49
4.2.2	Modos Ativos	50
4.2.3	Sistema de Mobilidade do Mondego (SMM)	52
4.3	Visão Global sobre o Sistema de Mobilidade Urbana	53
4.3.1	Princípios Estratégicos Gerais	53
4.3.2	Promoção dos Modos Ativos	54
4.3.3	Centrais Intermodais Aeminium e Coimbra B	55
4.3.4	Expansão do Sistema de Mobilidade do Mondego	56
4.3.5	A Entrada dos Veículos Autónomos no Sistema de Transportes Públicos	61
4.4	Proposta de Intervenção na Rede Viária	64
4.5	Medidas Complementares	67
4.6	Considerações Finais	67
5.	CONCLUSÕES	69
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclovía inspirada na obra “Starry Night” de Van Gogh, Eindhoven, Holanda (CNN Travel@2014).	7
Figura 2.2 – Estação Figs, Figueira da Foz (On Centro@2020), <i>E-scooters</i> Flash, Coimbra (DinheiroVivo@2019).	9
Figura 2.3 – Esquema de componentes de um veículo elétrico (US Department of Energy@2020).	10
Figura 2.4 – Esquema de componentes de um veículo com célula de hidrogénio (US Department of Energy@2020).	10
Figura 2.5 – Esquema de <i>Park&Ride</i> em Stourton, Leeds, Reino Unido (South Leeds Life@2018).	13
Figura 2.6 – Daimler Mercedes Vision Urbanetic Concept (Automotive News Europe@2019).	14
Figura 2.7 – Vancouver SkyTrain (Richmond News@2018) e Dubai Metro (Watson@2020).	15
Figura 2.8 – Dados referentes aos inquiridos (BCG@2020).	17
Figura 2.9 – Mudanças na mobilidade urbana imediatamente após o levantamento das quarentenas (BCG@2020).	17
Figura 2.10 – Mudanças na mobilidade urbana a curto e médio prazo (BCG@2020).	18
Figura 3.1 – Níveis de automação SAE (SAE@2018).	23
Figura 3.2 – Sensores usados num veículo de teste Volvo-Uber (Wevolver@2020).	24
Figura 3.3 – Identificação de obstáculos por câmara convencional (Nvidia@2019) vs Identificação de obstáculos por câmara térmica (FLIR@2017).	25
Figura 3.4 – Câmara convencional vs Câmara térmica (FLIR@2017).	25
Figura 3.5 – Exemplo de funcionamento de um sistema SONAR (PhysicsCentral@2020).	26
Figura 3.6 – Exemplo de uma <i>Cloud</i> 3D gerada por um LIDAR, (Renishaw@2020).	27
Figura 3.7 – Raios de ação de diferentes sensores (Wevolver@2020).	28
Figura 3.8 – Esquema de Sistema V2V (Cadillac Pressroom@2020).	30
Figura 3.9 – Exemplo de informação dada ao condutor (Cadillac Pressroom@2020).	30
Figura 3.10 – Carregador V2G (EDP@2020) e Esquema de tecnologia V2G (EVConsult@2020).	31
Figura 3.11 – Comunicação V2X (RCR@2020).	32
Figura 3.12 – HMT Cycle (Bellet et al., 2019).	39
Figura 3.13 – The Trolley Problem (Frank O'Connell) (New York Times@2013).	41
Figura 3.14 – Exemplos de decisão para veículos autónomos (MIT@2014).	41
Figura 3.15 – Principais alvos de ataques informáticos (McAfee@2018).	43
Figura 3.16 – Exemplo de ataque informático executado por investigadores de segurança da McAfee (McAfee@2018).	44
Figura 3.17 – Ford Fusion Hybrid e Nuro R2 (Forbes@2020).	46
Figura 4.1 – Localização e vista aérea da cidade de Coimbra (Imagens Adaptadas do Google Earth).	49

Figura 4.2 – Autocarro elétrico BYD K9UB-DW e Troleicarro Solaris Trollino 12 (SMTUC@2020).	50
Figura 4.3 – Resumo geral do traçado de ciclovias de Coimbra (PEDU CMC, 2017).	51
Figura 4.4 – Rede prevista do Sistema de Mobilidade do Mondego com linha suburbana destacada a azul.	53
Figura 4.5 – Localização das Estações Aeminium (Sul) e Coimbra B (Norte) (Imagem Adaptada do Google Earth).	56
Figura 4.6 – Sistema urbano aprovado para o SMM.	57
Figura 4.7 – Sistema urbano proposto para o SMM.	59
Figura 4.8 – Zonas de possível expansão do SMM (Imagem Adaptada do Google Earth).	59
Figura 4.9 – Localização da ponte proposta para a ligação entre Aeminium e a zona ribeirinha (Imagem Adaptada do Google Earth).	60
Figura 4.10 – Rota Proposta para o Shuttle Hospitalar com percurso de retorno a amarelo (Imagem Adaptada do Google Earth).	62
Figura 4.11 – Rota proposta para o Shuttle Hospitalar com percurso de retorno a amarelo após construção do Nó do Hospital Pediátrico (Imagem Adaptada do Google Earth).	62
Figura 4.12– Rota proposta para o Shuttle do Botânico com percurso de retorno a azul claro (Imagem Adaptada do Google Earth).	63
Figura 4.13 – Rota proposta para o Shuttle do Botânico com percurso de retorno a azul claro após inversão de sentidos nas Ruas da Alegria, Olivença e Couraça da Estrela (Imagem Adaptada do Google Earth).	64
Figura 4.14 – Localização e perfil longitudinal do túnel proposto da Casa do Sal (Imagem Adaptada do Google Earth).	65
Figura 4.15 – Localização do proposto Nó do Hospital Pediátrico (Imagem Adaptada do Google Earth).	66
Figura 4.16 – Proposta de alteração de sentidos nas Ruas da Alegria, Olivença e Couraça da Estrela (Imagem Adaptada do Google Earth).	67
Figura A.1 – Rede Geral dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC@2020).	A-1
Figura B.1 – Postos de estacionamento de bicicletas (PEDU CMC, 2018).	B-1

ABREVIATURAS

- ADAS – *Advanced Driver Assistance Systems* (Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor)
- ARU – Área de Reabilitação Urbana
- BMW – *Bayerische Motoren Werke AG*
- CAN – *Controller Area Network*
- CMC – Câmara Municipal de Coimbra
- ENMAC – Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável
- GNSS – *Global Navigation Satellite System* (Sistema de Navegação por Satélite)
- GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)
- HUC – Hospitais da Universidade de Coimbra
- IA – Inteligência Artificial
- IC – Itinerário Complementar
- IP – Itinerário Principal
- IMU – *Inertial Measurement Unit* (Unidade de Medição Inercial)
- LAS – *Lane Keep Assist System* (Sistema de Centragem de Via)
- LIDAR – *Light Detection and Ranging*
- LRR – *Long Range Radar* (Radar de Longo Alcance)
- MIT – *Massachusetts Institute of Technology*
- MRR – *Mid Range Radar* (Radar de Médio Alcance)
- NHTSA – *National Highway Traffic Safety Administration*
- ONU – Organização das Nações Unidas
- PEDU – Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano
- RADAR – *Radio Detection and Ranging*
- SAE – *Society of Automotive Engineers*
- SLAM – *Simultaneous Localization and Mapping*
- SMM – Sistema de Mobilidade do Mondego
- SMTUC – Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra
- SONAR – *Sound Navigation and Ranging*
- SRR – *Short Range Radar* (Radar de Curto Alcance)
- UC – Universidade de Coimbra
- URE – *User Range Error* (Erro de Alcance do Utilizador)
- V2G – *Vehicle-to-Grid*
- V2I – *Vehicle-to-Infrastructure*
- V2V – *Vehicle-to-Vehicle*
- V2X – *Vehicle-to-Everything*
- VA – Veículo Autónomo
- VAC – Veículo Autónomo Conectado

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Desde cedo que a mobilidade se assumiu como uma das áreas cruciais da engenharia para o desenvolvimento da humanidade, quer através de estradas, vias férreas, canais, rotas marítimas ou aéreas. Logicamente cada uma delas apresenta os seus desafios próprios, sendo possivelmente o maior deles, conseguir a coexistência de todas em perfeita harmonia. Instintivamente quando são abordados assuntos desta natureza, a primeira ideia é a ligação de lugares separados por grandes distâncias, no entanto é importante não esquecer que este tipo de desafios existe em vários patamares da hierarquia da mobilidade.

Assim, aparece o problema da mobilidade urbana, onde com a migração de pessoas de zonas mais isoladas para as cidades e o conseqüente “*urban sprawl*” começa a surgir cada vez mais uma necessidade de apostar em meios de mobilidade mais capazes de satisfazer a procura tentando em simultâneo ter uma maior consciência ambiental na tentativa de mitigar o excesso de poluição. Com o objetivo de passar essa mesma tentativa de combater a emissão excessiva de gases poluentes do papel para a prática, tem-se assistido ultimamente ao desencorajamento do uso do veículo privado, desincentivo esse por vezes algo excessivo particularmente quando não são oferecidas alternativas viáveis ou eficazes. Sabendo assim que o mundo tende sempre a caminhar para um equilíbrio estável, é necessário garantir que existam meios para que o mesmo seja alcançado da forma mais célere e calma possível.

Reconhece-se então a necessidade da disponibilização de vários modos de mobilidade urbana e a garantia de que as populações têm não só acesso físico a esse mesmo vasto leque de opções, mas que estas sejam também acessíveis economicamente. Nesta sequência aparece um dos maiores desafios da atualidade para os planeadores urbanísticos, conjugar dois ramos da mobilidade, as novas formas que vão aparecendo com o rápido avanço tecnológico e as formas atuais que pintam o cenário da mobilidade como o conhecemos nos dias de hoje, mas que vão, também elas, sofrendo mutações tecnológicas.

Fazendo essa importante distinção, dentro das novas formas de mobilidade podem ser encontradas as plataformas de partilha de veículos, quer sejam veículos automóveis quer sejam bicicletas, sendo que além de um planeamento cuidadoso necessitam também de uma boa organização espacial dos parques que servem de apoio a estes serviços, e no caso das bicicletas, as redes de ciclovias que inevitavelmente acabam por cruzar com as redes viárias existentes e/ou previstas para o futuro.

No segundo ramo desta distinção dentro da mobilidade urbana, sendo também possivelmente o mais abrangente, encontram-se alguns modos como os mais conhecidos dos utilizadores mas que são alvos de uma constante mudança, sendo eles; o *Park&Ride* que almeja a diminuição do número de veículos no interior dos meios urbanos; os transportes públicos passando inevitavelmente por uma aposta mais forte nos mesmos reforçando a dimensão, a renovação e a qualidade das frotas, frequência e abrangência geográfica das linhas e; a nível ambiental, com o aumento da eficiência energética dos veículos, e o incentivo ao uso de bicicletas tornando-as modos mais atrativos para um raio finito de ação, mitigando algumas das suas desvantagens em parte por recurso à eletrificação, como o curto alcance ou o claro desgaste físico para os utilizadores em zonas mais inclinadas.

Assim, é apresentada outra das palavras chave quando se aborda a mobilidade do futuro, a eletrificação. Como é sabido esta tem passado muito ultimamente também pelos veículos automóveis, sendo que a par dela, tem havido também uma grande aposta quer por parte dos fabricantes, quer por parte de empresas associadas, na automação. A automação desde há muito que já existe em vários meios de transporte como o caso de alguns sistemas de metro espalhados pelo mundo, mas é nos veículos automóveis que esta apresenta o seu pináculo em termos de esforços e recursos. A par de desafios na área da engenharia, a automação traz também questões éticas e legislativas, tornando-se assim num tema complexo, mas que é necessário ser descomplicado com a maior brevidade possível.

- **Efeitos da Pandemia de COVID-19**

No início do presente ano, com o aparecimento da pandemia provocada pela COVID-19, o mundo rapidamente necessitou de se adaptar mudando hábitos para fazer face a um inimigo até aqui desconhecido. Com essa mudança de hábitos, uma das áreas mais afetadas foi precisamente a mobilidade com o número de viagens diárias a ter quedas até então inimagináveis, quer por força das quarentenas impostas, quer pelo facto de muitas empresas terem aderido ao teletrabalho como forma de evitar a concentração de pessoas nos seus edifícios cumprindo assim com o distanciamento físico necessário.

No entanto, à medida que o conhecimento sobre a pandemia vai evoluindo e o mundo começa a querer voltar à normalidade, ou ao mais próximo da mesma possível, muitas são as questões que se levantam no que diz respeito às formas de mobilidade, desde o futuro dos transportes públicos ou qualquer outro modo que envolva partilha até à procura dos utilizadores por essas mesmas formas caso algumas empresas optem por manter o teletrabalho, mesmo que em termos parciais.

Pelo facto desta dissertação ser redigida a par do desenvolvimento da pandemia, uma parte da atenção foi inevitavelmente virada para esta nova realidade, sendo feita uma análise mais detalhada no capítulo seguinte, referente às novas formas de mobilidade, visto que para poder dar uma resposta mais concreta a qualquer um destes problemas é necessário ter acesso a dados que apenas irão ser levantados pelas diversas entidades competentes nos meses que se avizinham.

1.2 Objetivos

O objetivo desta dissertação passa por, numa primeira fase, identificar os modos de mobilidade existentes, com maior potencial de desenvolvimento, bem como todos aqueles que, ainda em fase embrionária, se apresentam como novas formas de mobilidade, particularmente em meio urbano. Numa segunda fase é abordado o conceito de veículos autónomos e conectados, procurando entender não só a tecnologia envolvida, mas sobretudo aquelas que se pensam ser as suas principais potencialidades, limitações e condicionantes à sua aplicação no domínio urbano.

Em complemento é desenvolvida uma visão estratégica de mobilidade urbana, aplicada à cidade de Coimbra e para a qual se procura tirar partido, seja dos modos de mobilidade convencionais, seja daqueles que, se encontrando na fileira da frente em termos de desenvolvimento, permitam dar um novo impulso à mobilidade urbana económica e ambientalmente sustentável.

Esta dissertação constitui assim um momento de reflexão, por excelência, sobre aqueles que serão os modos de mobilidade disponibilizados num futuro próximo, procurando inferir aqueles que serão os seus potenciais benefícios, quando introduzidos num sistema de transportes urbano, tendo a cidade de Coimbra como pano de fundo dessa reflexão.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 Capítulos principais. No Capítulo 1, é apresentado o enquadramento do tema, discutida a sua relevância para a sociedade e para o estado dos conhecimentos atuais, fazendo também uma pequena introdução aos prós e contras deste tipo de solução que serão analisados com maior detalhe nos capítulos subsequentes. São também apresentados os objetivos principais da dissertação, abordada a metodologia utilizada e descrita a estruturação do documento.

No Capítulo 2, sintetiza-se, de forma estruturada o trabalho de recolha bibliográfica incidente sobre as diferentes formas de mobilidade numa perspetiva de futuro e qual o ponto de situação internacional e nacional.

No Capítulo 3, é apresentado o conceito de veículos autónomos e veículos conectados, qual a tecnologia por trás dos mesmos e da sua ligação a dispositivos externos, bem como os possíveis benefícios trazidos, mas também os obstáculos e questões levantadas pelos mesmos. Neste capítulo são também revistos alguns impactos ambientais e socioeconómicos que a introdução deste tipo de veículos no mercado pode trazer.

No Capítulo 4 é apresentado um estudo de caso, no âmbito do qual são apresentadas propostas de melhoria, de alteração ou de expansão do sistema de transportes de Coimbra, de forma a prepará-lo para responder às novas exigências da mobilidade urbana, numa época, onde a promoção dos transportes em massa e de modos ativos, integra a generalidade dos instrumentos estratégicos para a próxima década, seja a nível nacional, europeu ou mesmo internacional.

Por fim, no Capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões e perspetivam-se algumas recomendações a considerar no futuro.

2. NOVAS FORMAS DE MOBILIDADE URBANA

2.1 Introdução

Sendo a mobilidade um dos pilares do planeamento urbano, da coesão territorial e do desenvolvimento económico e sendo o espaço público, um bem escasso e cobiçado por todos os intervenientes, importa encontrar novas formas de mobilidade, que, sem pôr em causa o direito à acessibilidade de cada um, respondam de forma inclusiva e com elevado nível de eficiência, às necessidades básicas dos cidadãos. E se é certo que muitas destas parecem efetivamente novas formas que provêm de uma rápida evolução tecnológica, como o caso dos táxis autónomos ou dos metros ligeiros autónomos, importa perceber que na sua essência, estes modos apenas representam adaptações ou evoluções de formas de mobilidade já existentes como o táxi ou o metro convencional, onde a parte da automação apenas passa a substituir a atuação por parte do condutor.

Assim, e porque muitas vezes é necessário olhar para o passado para se poder planear o futuro, também os planeadores das cidades, têm olhado para modelos já existentes e tentado dar-lhes uma nova vida como o caso do *Park&Ride* ou mesmo das tão conhecidas ciclovias. Uma vez apostando na implementação de vários modos de mobilidade, é então necessário ter em mente os conceitos de multimodalidade e intermodalidade, permitindo assim aos utilizadores planear as suas deslocações usufruindo de vários modos de transporte, devidamente coordenados entre si.

No entanto, é também necessário não esquecer que uma grande parte da população continua a preferir dispor dos seus próprios meios de transporte privados, o que leva a que estas formas sejam cada vez mais vistas como complementares aos sistemas de mobilidade já existente, tentando alcançar assim a sustentabilidade ambiental, algo que pode passar não necessariamente pela redução do número de veículos nas cidades mas sim, pelas novas fontes de energia usadas para alimentar os mesmos como a eletricidade ou o hidrogénio.

2.2 Mudanças e Otimização da Mobilidade

O processo de gestão da mobilidade urbana requer a adoção de um vasto conjunto de soluções de transporte adequados à população, à economia e ao ambiente, os quais não exigem necessariamente avultados investimentos devendo ainda resultar numa equilibrada relação custo-benefício. De entre o conjunto de estratégias aplicáveis, conta-se com medidas de desincentivo ao uso do veículo individual, restrição ao estacionamento, combinação de soluções alternativas, devidamente complementadas por medidas de valorização e recriação dos espaços

públicos em favor dos peões, ciclistas e dos transportes coletivos. Outros exemplos recaem sobre medidas de organização e incentivo à partilha do automóvel privado – *carpooling*, serviços de aluguer de automóveis partilhados – *car sharing*, partilha de bicicletas – *bike sharing*, serviços de transporte público a pedido com horários e rotas ajustáveis às necessidades dos utilizadores, etc. Também as medidas baseadas no planeamento de infraestruturas ou serviços de apoio aos vários modos de transporte, como os parques de estacionamento periféricos – *Park&Ride* e estacionamentos para bicicletas merecem destaque, quando devidamente coordenados e complementados, com outros modos de transporte. Todos estes conceitos esbarram nos termos de transporte multimodal e de transporte intermodal como estratégias para atingir flexibilidade temporal conjugada com a minimização de custos.

2.2.1 Promoção dos Modos Ativos

- **Circulação Pedonal**

Atendendo a que o peão é o elemento mais vulnerável no contexto da mobilidade urbana, é necessário planear a cidade tendo sempre como prioridade a segurança e a acessibilidade dos percursos que lhe são atribuídos. Planear a integração/coordenação dos modos de mobilidade apresentados nas subsecções seguintes passa essencialmente por permitir que o peão possa usufruir destes modos para percorrer distâncias mais longas, que não sejam exequíveis através do modo pedonal garantido também que os espaços pelos quais transita sejam seguros e agradáveis.

Neste sentido, várias cidades estão a tentar reduzir o número de veículos automóveis que circulam nos seus centros, devolvendo esses espaços aos peões, contribuindo para a sua vivificação e requalificação urbana, enquanto se reflete numa melhoria da qualidade ambiental (qualidade do ar e poluição sonora) e de vida local. Alguns exemplos disso, segundo a *The Culture Trip* (*The Culture Trip@2018*) são Florença (Itália) onde o seu centro histórico apenas permite a circulação de veículos de residentes, autocarros ou táxis e, Nova Iorque (EUA), considerada a cidade mais pedonal do país e que conta com o exemplo de Manhattan, que apesar de enorme volume de tráfego a que responde, permite através do seu desenho da rede viária efetuar percursos facilmente percorríveis a pé. No mesmo artigo, sendo ainda citadas cidades como Marraquexe (Marrocos), Paris (França), Vancouver (Canadá), Buenos Aires (Argentina), Dubrovnik (Croácia), Melbourne (Austrália), Boston (EUA) ou Vientiane (Laos), como bons exemplos a seguir na promoção do modo pedonal.

- **Ciclovias, *Bike Sharing* e *e-Scooters***

De todas formas de mobilidade apresentadas neste capítulo, a bicicleta é de facto o meio de transporte mais antigo com a sua invenção a ser atribuída a Karl von Drais em 1817 (Live Science@2017), e o modo pedonal, o único acessível a todos, desde a nascença. Muito trabalho tem sido feito quer no *design* das bicicletas quer nas suas funcionalidades o que a tem tornado num meio de transporte de baixo custo e bastante fiável, ainda que seja apenas viável para o dia-a-dia em curtas distâncias. Assim, as cidades vêm nas bicicletas um aliado para reduzir a necessidade de veículos automóveis nos seus centros, algo bem visível no recente aumento de quilómetros de ciclovias construídas. Além da redução de tráfego automóvel e poluição, a bicicleta é, a par da mobilidade pedonal, associada a outros benefícios nas áreas da saúde, segurança e qualidade de vida (Terh and Cao, 2018).

Numa clara tentativa de atrair mais utilizadores para o modo ciclável, algumas cidades têm mesmo apostado em fazer destas, pontos turísticos, através de *designs* com maior impacto visual, não perdendo a sua funcionalidade, como é o caso da ciclovia construída em Eindhoven, Holanda (Figura 2.1), como tributo a Vicent van Gogh, inspirada na famosa obra “*Starry Night*” do pintor holandês. A ciclovia de 1 km de extensão, fruto de uma parceria entre a empresa Heijmans Infrastructure e o artista Daan Roosegaarde, conta com milhares de pedras brilhantes com tecnologia *glow-in-the-dark*, além de luzes LED alimentadas por energia solar (CNN Travel@2014). Esta parceria, que promove uma junção entre a engenharia e a arte, tem também trabalhado em “*Smart Highways*”, num conceito que combina a mesma tecnologia de luminosidade, com energia e sinais rodoviários que reagem ao estado do tráfego em tempo real.

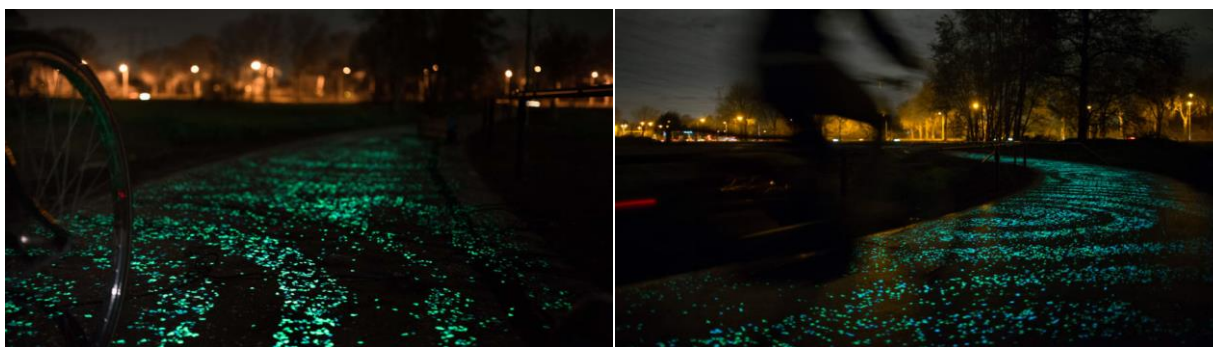


Figura 2.1 – Ciclovia inspirada na obra “*Starry Night*” de Van Gogh, Eindhoven, Holanda (CNN Travel@2014).

Mas se por um lado, como mencionado anteriormente, o campo de alcance de uma bicicleta convencional é curto, devido ao desgaste físico associado à mesma, as bicicletas elétricas têm vindo a ganhar visibilidade no preenchimento desta lacuna. Essa enorme vantagem de uma bicicleta elétrica pode ser, em muitos casos, o necessário para gerar um maior nível de aceitação

por parte de alguns utilizadores, fazendo com que estejam mais recetivos à mudança de meio de transporte para a maioria das suas viagens diárias. De facto, um estudo efetuado em Brighton, Reino Unido (Cairns *et al.*, 2017), concluiu que durante o período de teste de bicicletas elétricas, houve uma redução de 20% de milhas feitas em viagens de carro por parte dos envolvidos, bem como reduções na utilização de autocarros ou mesmo em caminhadas. Além disso, 38% dos participantes revelaram que esperam utilizar mais este meio de transporte no futuro, e pelo menos 70% gostariam de ter bicicletas elétricas disponíveis. No entanto, da análise destes dados pode ser retirada uma recomendação para o futuro, sendo que foi registada uma queda na utilização de transportes públicos, não se deve seguir a via do desinvestimento nos mesmos, uma vez que algo do género poderia ter efeitos negativos ao levar que alguns dos utilizadores preferissem mudar de meios de transporte podendo assim anular os benefícios que já teriam sido alcançados.

Assim, uma vez que os benefícios deste tipo de mobilidade são claros, além da aposta em ciclovias como referido anteriormente, algumas cidades têm também apostado nos seus programas de bicicletas partilhadas, como por exemplo na Figueira de Foz com o projeto Figas (Figura 2.2) cujo Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano (PEDU) se foca bastante na mobilidade ativa (On Centro@2020), Cascais com a MobiCascais, ou Coimbra com as propostas já presentes no Plano de Mobilidade Urbana Sustentável (PAMUS) e no PEDU.

Também a Estratégia Nacional para a Mobilidade Ativa Ciclável 2020-2030 (ENMAC), aprovada em julho de 2019, representa uma contextualização e um enquadramento legislativo que demonstra a vontade e o compromisso do Governo nacional para com o desenvolvimento do transporte ativo em Portugal. A ENMAC prevê a implementação de mais de 50 medidas a serem concretizadas ao longo da próxima década, para promoção do uso da bicicleta e alteração de hábitos de mobilidade dos portugueses. Com esta estratégia prevê-se atingir a meta dos 10000 km de ciclovias até 2030 e aumentar a percentagem de deslocações em bicicleta no território nacional de 1% para 7,5%, valor que corresponde à atual média europeia. Para o efeito, a Resolução da Assembleia da República n.º 61/2020, de 4 de agosto, recomenda ao Governo que priorize e acelere a execução da ENMAC, criando fontes de financiamento prevendo-se a disponibilização de 300 milhões de euros do Portugal Ciclável 2030 do Fundo Ambiental.

Ainda no tema da eletrificação de veículos que beneficiem da expansão das ciclovias aparecem as *e-scooters* (Figura 2.2). Introduzidas em várias cidades mundiais, são consideradas um modo prático e de fácil utilização, existindo mesmo muitos utilizadores que após a sua utilização em sistemas de *sharing* acabam por adquirir este tipo de equipamento. No entanto ainda que sejam consideradas um modo de transporte urbano bastante atrativo, é urgente que se atue na sua regulação. Resultados de um estudo (Gössling, 2020), indicam que as *e-scooters* criam conflito

em termos de espaço, velocidade e segurança, derivado de muitas cidades terem introduzido este modo sem consideração por políticas adequadas. Dentro das maiores preocupações, além de desarrumação e vandalismo, destaca-se a irresponsabilidade na condução das mesmas, muitas das vezes resultando em acidentes. Segundo um artigo (Forbes@2020), no período de 2014 a 2018, 3300 pacientes deram entrada em hospitais dos EUA com ferimentos relacionados a acidentes de *scooter*, um aumento de 365%, sendo que no total foram registados 39000 ferimentos nesse mesmo período, o que corresponde a um aumento de 222%.

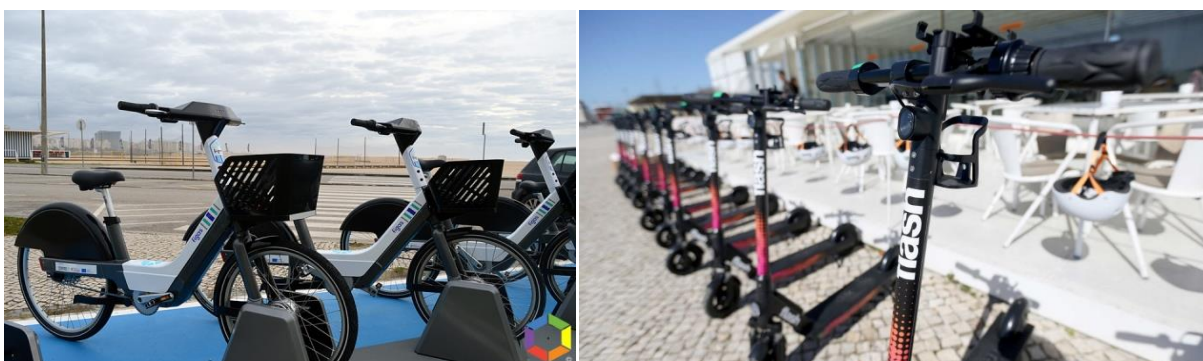


Figura 2.2 – Estação Figas, Figueira da Foz (On Centro@2020), *E-scooters Flash*, Coimbra (DinheiroVivo@2019).

2.2.2 Medidas de Apoio à Eficiência do Veículo Individual

- **Melhoria da Eficiência Energética**

Um dos maiores catalisadores da explosão dos veículos autónomos (VA's) é sem dúvida a eletrificação dos mesmos, conseguindo assim com as baterias usadas para alimentar os motores elétricos, garantir também fonte de alimentação para os vários sistemas e equipamentos utilizados que suportam a automação. No entanto, à medida que os veículos elétricos vão ganhando espaço no mercado e a tecnologia se vai desenvolvendo, outras soluções vão aparecendo como os veículos movidos a hidrogénio. Ainda que as semelhanças entre ambos os sistemas sejam significativas, também as diferenças se acumulam à medida que as tecnologias vão maturando. Em traços gerais, o funcionamento do veículo elétrico é bastante simples tendo baterias que alimentam o motor elétrico que, por sua vez, distribuí potência para os eixos como ilustrado na Figura 2.3.

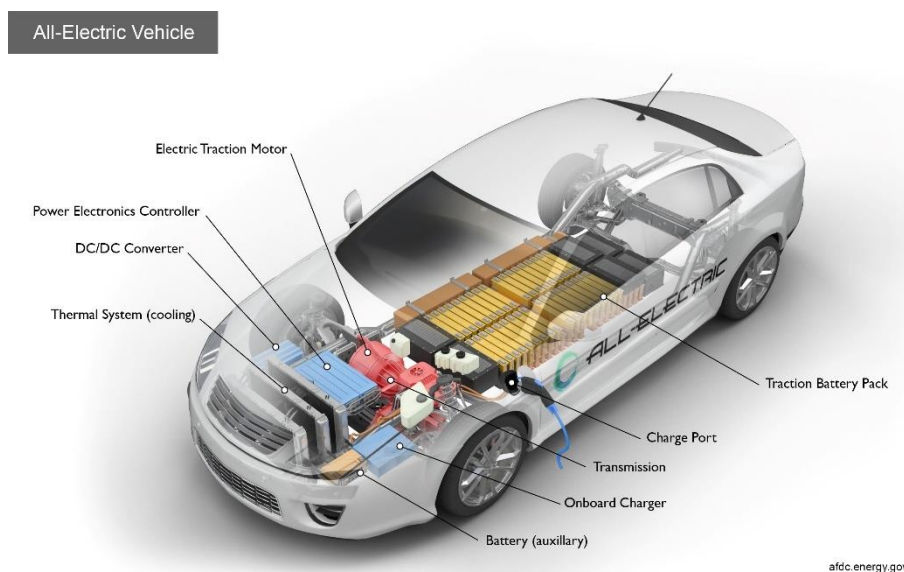


Figura 2.3 – Esquema de componentes de um veículo elétrico (US Department of Energy @2020).

Já o veículo a hidrogénio (Figura 2.4) combina a utilização do motor dos veículos elétricos com a utilização de tanque de combustível dos veículos convencionais para poder armazenar o hidrogénio necessário.

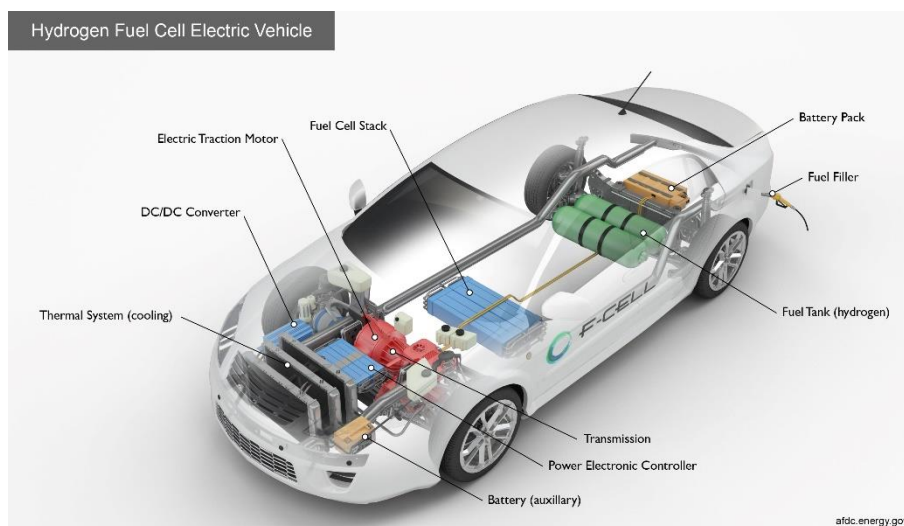


Figura 2.4 – Esquema de componentes de um veículo com célula de hidrogénio (US Department of Energy @2020).

Todas estas especificações significam que durante a sua utilização, os veículos elétricos não envolvem reações químicas, apenas uma reação elétrica devido à transferência de energia das baterias para o motor. Já os veículos movidos a hidrogénio, devido à reação química ocorrida na célula de combustível, onde é misturado o hidrogénio com o oxigénio, produzindo assim

eletricidade, acaba por produzir secundariamente moléculas de H₂O, libertando apenas água e calor. Estas diferenças entre os dois sistemas levam então à questão mais importante para uma mudança na mobilidade que almeja atingir a descarbonização, sendo ela qual então o melhor sistema, ecológica e economicamente. Apesar de parecer uma questão de resposta fácil, na verdade esta está muito longe de o ser, sendo possível verificar no Quadro 2.1, as maiores diferenças entre ambos os sistemas.

Quadro 2.1 – Características dos veículos elétricos e com célula de hidrogénio.

	Veículo Elétrico	Veículo com Célula de Hidrogénio	Fontes
Combustível	Eletricidade	Hidrogénio	(youmatter@2020)
Emissões	-	Água e Calor	(youmatter@2020)
Alcance	161 – 321 km (Valor médio)	483 km (Valor médio)	(youmatter@2020) (Tesla@2020)
	567 km – WLTP (Tesla Model 3 Performance)	666 km – WLTP (Hyundai Nexo)	(Watts On@2020)
Preço	58 000 € (Tesla Model 3 Performance, Alemanha)	61 435 € (Hyundai Nexo, Alemanha)	(Tesla@2020) (Watts On@2020)
Tempo de Abastecimento	275 km em 15 min (Tesla Model 3 Performance com Supercharger) 4 horas (BMW i3) 8 horas (Nissan Leaf)	5 – 10 min	(youmatter@2020)

De notar que para analisar de forma objetiva o quadro anterior alguns aspetos importantes devem ser identificados. Em primeiro lugar, apesar de o combustível utilizado por um veículo a hidrogénio ser de facto este mesmo elemento químico, é necessária a utilização de energia elétrica para que o mesmo seja obtido a partir do eletrólise da água, ou através de biomassa, admitindo que este deixa também de ser retirado de combustíveis fósseis. Em segundo lugar, é preciso ter em mente a diferença entre capacidade de armazenamento de energia, campo onde o hidrogénio tem uma clara vantagem visto 1 kg de hidrogénio conseguir armazenar 236 vezes mais energia que 1 kg de uma bateria de Lítio (youmatter@2020). Por último, ainda que o processo de obtenção do hidrogénio seja algo complexo e que requer energia da rede que pode não vir de fontes renováveis, o que leva a que este não seja para já um combustível totalmente “limpo”, é também importante referir que são essas mesmas fontes que produzem energia para os veículos elétricos, fazendo com que estes partilhem esse ponto fraco além do problema

acrescido das baterias em fim de vida. Em adição, uma maior aposta nos veículos a hidrogénio poderia, em última análise, passar por uma possível poupança na construção e manutenção da rede de distribuição de energia uma vez que esta não necessitaria de ser canalizada em grandes quantidades para os postos de carregamento, mas sim para centrais de produção de hidrogénio, o que perfaz uma menor quantidade de pontos de procura com índices conhecidos e estáveis.

- ***Car Sharing***

Inicialmente definido como o “*uso organizado e coletivo de um veículo por um número não especificado de passageiros e condutores, gerido por um acordo que estipula como são partilhados os custos de combustível, eletricidade e operacionais*” (BMW@2020), o *car sharing* tornou-se bastante mais popular a nível comercial, no qual os utilizadores não têm a necessidade de partilhar o seu veículo privado, nem a viagem com outros utilizadores como no caso do *person-to-person car sharing*. Ainda que este também não necessite de ser acordado pessoalmente, mas com a possibilidade de o ser através de plataformas para o efeito é compressível e expectável que a maioria das pessoas não tenha à-vontade para partilhar o seu veículo, na maioria das vezes, por questões de segurança. Assim, o *comercial car sharing*, ao funcionar com veículos propriedade de uma empresa do ramo acaba por se tornar num modo de mobilidade mais apelativo, sendo que segundo a mesma fonte se espera que em 2021 existam 6 milhões de utilizadores registados em plataformas de *car sharing* só na América do Norte. Embora esse número não seja muito expressivo, quando comparado com a população daquele continente e quando se toma consciência que uma parte significativa desses utilizadores não fará desse modo de transporte a escolha habitual, não deixa de ser um sinal positivo.

Percebe-se assim, que das novas formas de mobilidade, apesar do *car sharing* ser possivelmente a mais conhecida do público é também possivelmente a menos utilizada. Segundo (Namazu *et al.*, 2018) as principais razões dadas pelos inquiridos num estudo apresentado nesse mesmo artigo foram, por ordem, a utilização do veículo privado para viagens longas/lazer, deslocações para o trabalho, prazer de conduzir, conveniência e flexibilidade e uso no trabalho. No entanto, este é um modo de mobilidade com bastante potencialidade, principalmente não só para quem não tenha veículo privado, mas também para utilizadores que se desloquem, em viagens esporádicas, através de meios que não o veículo automóvel, mas necessitem de um durante a sua estadia, ainda que não por tempo suficiente que implique alugar.

- ***Park&Ride e Kiss&Ride***

O conceito de *Park&Ride* aparece pela primeira vez em 1927 quando Austin MacDonald da Universidade da Pensilvânia sugeriu que “*o automobilista da cidade... pode... conduzir o seu*

carro até à beira do congestionamento do trânsito, estacioná-lo num espaço conveniente, e fazer uso de algum outro meio de transporte, provavelmente o trolley, para completar a sua viagem. Tal arranjo resulta num mínimo de tempo perdido e num máximo conforto para o automobilista; também traz uma redução no congestionamento de tráfego”. No início dos anos 40, já o tema se encontrava bastante debatido no Reino Unido, sendo que nos anos 50 e 60 com o contributo de trabalho de Buchanan foram desenvolvidas algumas soluções e em 1966 aparece o primeiro serviço permanente de *Park&Ride* em Leicester, no entanto apenas nos anos 90 este conceito se espalhou a nível nacional (Manns, 2010). Desde então e devido ao facto de atualmente as *Smart Cities* estarem tão presentes na discussão pública, este tópico tem também reaparecido com bastante relevância.

Como se percebe pela afirmação de MacDonald, o conceito baseia-se na construção de parques de estacionamento em espaços periféricos (Figura 2.5), onde os utilizadores possam deixar os seus veículos e seguir viagem para o centro da cidade, recorrendo aos transportes públicos. A sua disponibilização traduz-se em vários benefícios, como o aumento de qualidade na mobilidade urbana, a redução do stress na condução e a libertação do espaço público para outras funções (Sinhasane, 2020). Estas conclusões derivam dos três benefícios fundamentais quantificados, expectáveis pela iniciativa CIVITAS cofinanciada pela União Europeia, sendo eles a redução do número de carros a entrar no centro da cidade, o aumento da utilização de transportes públicos e a melhoria da qualidade do ar (CIVITAS@2020).



Figura 2.5 – Esquema de *Park&Ride* em Stourton, Leeds, Reino Unido (South Leeds Life@2018).

Ainda no campo da reorganização de lugares de estacionamento com vista ao descongestionamento da rede viária em zona mais propensas a esse efeito aparece o conceito de *Kiss&Ride*. Baseado no *Kiss&Fly* existente na grande maioria dos aeroportos, o *Kiss&Ride* designa-se por “*uma via que permite aos condutores deixar os alunos na escola de forma*

segura e rápida, aumentado o fluxo de trânsito e a segurança rodoviária na envolvente escolar” (CML@2020). Para que este modo tenha o efeito pretendido na diminuição da perturbação nas correntes de tráfego principais, existem algumas regras a cumprir como a certificação de que o aluno está pronto para sair, não estar parado mais de um minuto e não parar na via de trânsito, mas sim nos lugares reservados para o efeito. Respetivamente ao tempo de paragem, a diferença entre o *Kiss&Ride* (1 minuto) e o *Kiss&Fly* (até 10 minutos (ANA@2020)), mostra que este conceito, devido à sua versatilidade pode vir a ser aplicado a inúmeras situações. De salientar que o mesmo conta recentemente com várias aplicações práticas, junto às principais escolas da cidade de Coimbra.

2.2.3 Transportes Públicos

- **Táxis Autónomos**

Com a automação de veículos, as empresas de táxis têm vindo a aderir a este tipo de veículo (modelo de exemplo na Figura 2.6) ainda que com uma cota de mercado definida maioritariamente por questões socioeconómicas. Ao introduzir uma otimização de circuitos no sistema, o tempo de espera para os utilizadores tenderá a ser reduzido, uma vez que este irá fazer a seleção automática do veículo que se encontra não à menor distância física, mas à menor distância temporal.



Figura 2.6 – Daimler Mercedes Vision Urbanetic Concept (Automotive News Europe@2019).

Alguns estudos apontam para resultados bastante promissores como o caso de (Dandl and Bogenberger, 2019) em Munique, Alemanha, que concluiu que um táxi autónomo consiga igualar o rendimento de 2,7 a 3,8 táxis convencionais o que poderia ser traduzido numa redução

de taxas entre 29% a 35%, assumindo que o lucro se manteria igual ao atual e com os mesmos custos dos veículos convencionais. Ainda assim, é necessário ter em conta que estes valores poderão diferir da realidade quanto tidos em conta parâmetros dos condutores de veículos convencionais tais como a variabilidade, imprevisibilidade e adaptabilidade comportamentais.

- **Sistemas de Metro Autónomo**

Introduzido em 1981 na cidade de Kobe, Japão, o metro autónomo tem desde então vindo a tornar-se um meio de mobilidade cada vez mais apetecível em várias cidades. Barcelona (Espanha), Copenhaga (Dinamarca), Brescia (Itália), Paris (França), Vancouver (Canadá) e Dubai (UAE) cujos dois últimos se apresentam na Figura 2.7 são apenas alguns dos exemplos. Segundo a *International Association of Public Transport*, em abril de 2018 foi atingida a marca de 1000 km de linhas de metro autónomo em todo o mundo, distribuídas por 42 cidades em 19 países diferentes com a Europa e a Ásia a deterem 75% das linhas (Railway Technology@2018). Segundo um estudo efetuado pela (Wavestone@2017), a competitividade deste tipo de sistema é bastante clara, uma vez que apesar de ter um investimento inicial por quilómetro cerca de 12% superior ao do sistema de metro convencional acaba por compensar a longo prazo com um custo de manutenção por quilómetro 40% inferior. Quanto a pontualidade, nas linhas analisadas foram obtidos valores entre os 93% correspondente ao metro autónomo de Lausanne, Suíça e 99,73% para Taipei, Taiwan.



Figura 2.7 – Vancouver SkyTrain (Richmond News@2018) e Dubai Metro (Watson@2020).

2.3 Intermodalidade – Sistemas de Informação e Bihética Integrada

Mais do que criar novas formas de deslocação, o maior desafio atualmente incide na necessidade de as saber integrar e coordenar entre si, não só numa ótica de competitividade, mas também de complementaridade (Simões, 2009), (Borges, 2009). Neste sistema integrado assume particular relevância a integração dos sistemas de bilhética (o mesmo bilhete deverá

permitir circular em todos os operadores locais) e de informação, de forma a garantir que o utilizador tem acesso *online* à informação, atualizada em tempo real, a partir de qualquer canto do mundo. Para dar resposta a este problema, muitas cidades têm apostado no melhoramento dos seus sistemas de informação e bilhética integrada. Cite-se a título de exemplo, Coimbra, cujo sistema foi recentemente adjudicado à MEO e a Área Metropolitana de Lisboa, que em 2019 submeteu uma candidatura de 10 milhões de euros ao Programa Operacional Regional de Lisboa (Observador@2019). Segundo a mesma fonte, a plataforma de gestão é baseada “*num sistema de serviços abertos que disponibilizarão dados dinâmicos, e em tempo real, e na implementação de mecanismos seguros para as transações relacionadas com a bilhética*”. Esta frase resume de forma sintetizada, dois dos três pilares destes sistemas, sendo eles, o fácil e rápido acesso a dados fidedignos e a segurança. O terceiro deverá ser sempre a simplicidade de comunicação plataforma-utilizador, permitindo assim que possa existir um aumento na procura da utilização de transportes públicos. Segundo alguns estudos a longo prazo (Puhe, 2014) indicam que a existência de sistemas de bilhética integrada afeta positivamente a procura por este meio de transporte.

2.4 Impactes da Pandemia de COVID-19 no Sistema de Transportes

Tal como mencionado no capítulo introdutório, com o desenrolar da pandemia provocada pela COVID-19, o sector dos transportes sofreu impactes significativos. No âmbito de um estudo do *Boston Consulting Group* (BCG@2020), aplicado em grandes cidades dos EUA, China e Europa Ocidental (França, Alemanha, Itália, Espanha e Reino Unido), foram questionados 5000 residentes sobre os seus comportamentos em três períodos distintos (durante a quarentena, a curto e a médio prazo após o fim da mesma) ainda que a possibilidade de contrair o vírus se mantenha. Para o médio prazo foi assumido o período de 12 a 18 meses a partir do levantamento da quarentena admitindo que os tratamentos e a vacina já se encontrariam disponíveis tentando assim conseguir improvisar um cenário o mais próximo da realidade pré-pandemia possível. Na Figura 2.8 são apresentados os dados referentes aos inquiridos como idade, género, rendimento e tamanho da cidade em que residem.

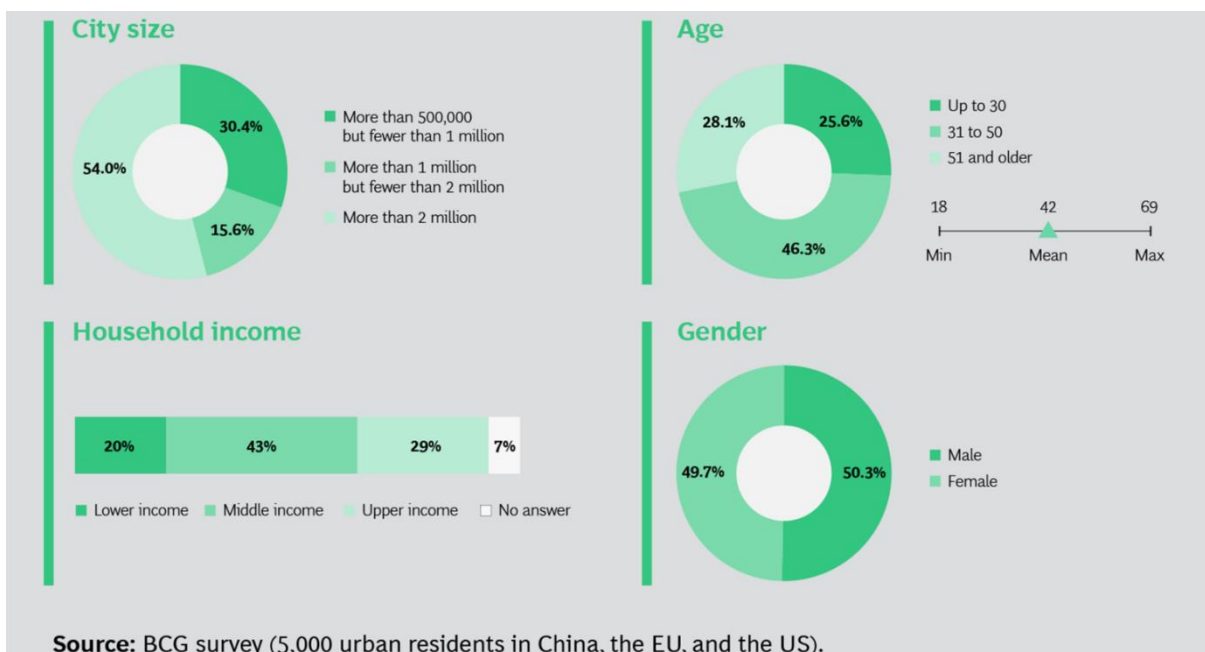


Figura 2.8 – Dados referentes aos inquiridos (BCG@2020).

Numa primeira análise à mobilidade urbana imediatamente após a quarentena (Figura 2.9), é possível verificar que a maior quebra de procura se regista nos transportes partilhados, designadamente nos transportes públicos urbanos. Em contraste com estes valores aparecem os veículos automóveis e bicicletas privadas bem como a mobilidade pedonal, resultados que contrariam as políticas estratégicas mais recentes implementadas por várias cidades à escala global.

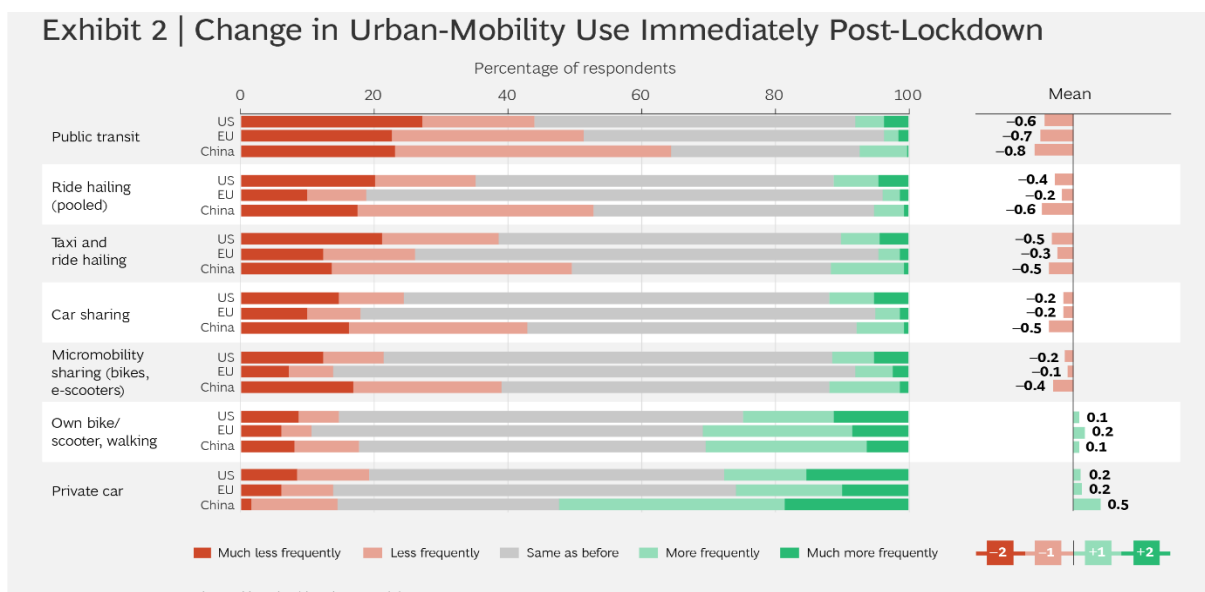


Figura 2.9 – Mudanças na mobilidade urbana imediatamente após o levantamento das quarentenas (BCG@2020).

O resultado anterior acaba assim por reforçar a necessidade de uma análise detalhada das alterações registadas/previstas à gestão da mobilidade urbana, promovendo sistemas mais polivalentes e que se adaptem de forma rápida e eficaz às mudanças na procura. Quando analisados os períodos de curto e médio prazo (Figura 2.10) verifica-se que o espectro de respostas é bastante semelhante, notando-se também uma redução nas quebras de uso com o avanço do tempo, algo que poderá ser justificado pela retoma da normalidade sendo que para médio prazo, neste estudo, foi assumida a existência de vacina e tratamentos. Mais uma vez, também neste caso os veículos individuais, sejam automóveis ou bicicletas têm um claro aumento de popularidade, aumento esse que sofre uma ligeira quebra a médio prazo, podendo este ser justificável com o aumento na utilização de transportes públicos, assumindo assim uma vez mais o seu papel central no sistema de transportes urbanos.

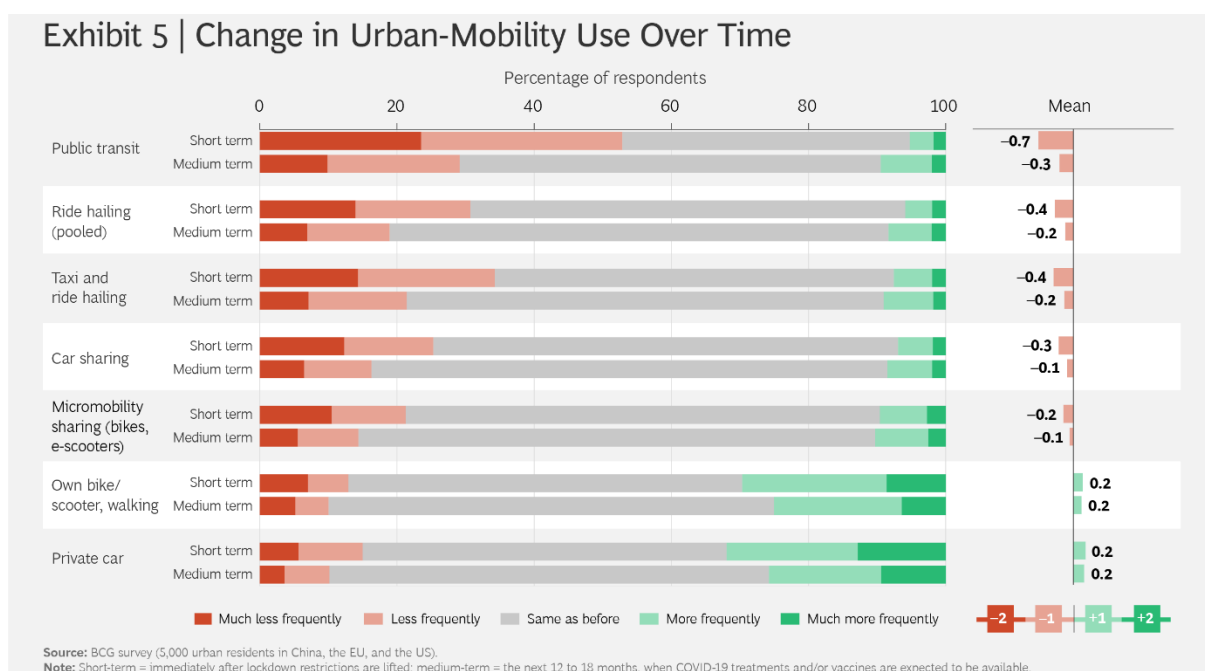


Figura 2.10 – Mudanças na mobilidade urbana a curto e médio prazo (BCG@2020).

2.5 Considerações Finais

Neste capítulo percebe-se que a evolução dos modos de mobilidade urbana, particularmente nas últimas décadas e que até aqui vinham a evoluir isoladamente, passaram a ser conjugados e articulados entre si, numa perspetiva de integração e complementaridade. Desde modos que potenciam a saúde, bem-estar e benefícios ambientais, desde as bicicletas convencionais ou com assistência elétrica, até aos metros autónomos que almejam uma otimização de segurança, custos e pontualidade, os planeadores urbanísticos têm nestes modos não só um desafio importante, mas também a responsabilidade de oferecer uma resposta de qualidade à procura existente.

Também a descarbonização tem um papel importante nesta mudança, sendo que os benefícios ambientais poderão e deverão ser bastante consideráveis à medida que a tecnologia automóvel vai evoluindo e ainda com o aparecimento dos veículos elétricos e movidos a hidrogénio (2.2.2). Ainda que o hidrogénio apresente algumas desvantagens como o facto de necessitar de energia elétrica para ser extraído dos meios onde se encontra, e que a tecnologia ainda não seja suficientemente eficaz e evoluída para que este processo se torne de baixo custo, é necessário desde já perceber as potencialidades do mesmo, podendo assim começar-se a planear uma possível rede de abastecimento quer de hidrogénio quer elétrica oriunda de fontes renováveis para a indústria responsável por essa mesma extração tornando assim o hidrogénio um combustível totalmente descarbonizado, e eliminando possivelmente os problemas da baterias em fim de vida dos veículos elétricos.

Por fim, também a pandemia de COVID-19 irá ter um papel crucial na implementação destas novas formas de mobilidade, existindo uma tendência, ainda que apenas a curto e médio prazo, para o regresso à utilização do veículo individual por parte de muito utilizadores que já tinham aderido aos novos modos. No entanto, a importante lição a tirar desta situação, será que as novas formas de mobilidade baseadas na partilha não podem ser vistas como uma solução que venha substituir o veículo individual, mas sim como um complemento à rede de mobilidade, quer urbana, quer rural.

3. VEÍCULOS AUTÓNOMOS E CONECTADOS

3.1 Introdução

Atualmente assistimos a uma nova revolução industrial, tipicamente chamada de Indústria 4.0, que nos últimos anos tem apresentado à sociedade um avanço tecnológico que para muitos era inimaginável num futuro próximo, ou até mesmo impossível. Dentro desta evolução, os veículos autónomos (VA's) são um dos temas que mais tem ocupado a mente de muitos engenheiros, investigadores e até mesmo legisladores, numa tentativa de resolver questões associadas ao desenvolvimento tecnológico, aceitação pública, segurança, privacidade, responsabilidade legal e requisitos das infraestruturas e sustentabilidade (Lee and Hess, 2020). Sabendo que alguns modelos destes veículos se encontram já no mercado com níveis de automação baixos é importante que sejam avaliados os seus potenciais benefícios como, por exemplo, o aproveitamento de tempo de viagem (3.4.1) em longas distâncias (Singleton, 2019) e a redução de volume de tráfego e sinistralidade (3.4.2) a longo prazo (Calvert, Shackel and van Lint, 2017).

Por oposição é igualmente relevante ponderar os obstáculos à implementação destes mesmos sistemas em larga escala e as preocupações que essa mesma implementação pode acarretar. O primeiro problema facilmente identificável é o ambiente construído (3.5.2), quer seja a partir de restrições físicas como redes rodoviárias não preparadas para receber estes veículos, quer a partir das interações entres os VA's e outros veículos, ciclistas e peões. Ainda assim este problema, apesar de não ser de fácil resolução, passa necessariamente pela alteração no planeamento das cidades (3.4.3), como estão desenhadas e quais as hierarquias que a definem. É de extrema importância perceber que a melhoria das condições de mobilidade deve ser assumida como uma prioridade e alguns planeadores de transportes percebem isso ao defenderem a mobilidade partilhada com recurso a VA's como um complemento aos serviços de transporte público existentes (Fraedrich *et al.*, 2019) alargando assim as opções disponíveis para a população e trazendo também uma possível melhoria da qualidade e desempenho dos serviços existentes.

Ainda no campo dos obstáculos e das possíveis condicionantes, encontra-se o enquadramento legal (3.5.3), sendo que este ainda não permite a circulação de veículos sem condutor. Segundo o ponto 1 do artigo 8º, da Convenção do Trânsito Rodoviário do Tratado de Viena, elaborado a 8 de novembro de 1968 “*Qualquer veículo ou conjunto de veículos que forme uma unidade deve ter um condutor*” (DRE@2020), sendo que, em 2016, o Comité Económico Europeu das Nações Unidas aprovou uma alteração à Convenção de Viena em que passam a ser autorizados VA's com a condição de que “*as duas tecnologias estejam em conformidade com os*

regulamentos da ONU ou possam ser controlados e desativados pelos condutores”. Associada à questão legislativa encontra-se ainda a questão ética (3.5.4), sendo esta a que mais dúvidas tem levantado sempre que se fala na possibilidade de existir um dispositivo provido de inteligência artificial (IA) a tomar decisões que podem afetar diretamente a vida de seres humanos, sendo muitas vezes utilizado o “*The Trolley Problem*” como exemplo de atribuição de valor quantitativo à vida humana mediante diferentes situações.

Como referido anteriormente, uma das possíveis vantagens trazidas por estes sistemas é, de facto, a diminuição da sinistralidade, mas para que esta se torne numa realidade é necessário que a segurança esteja garantida em todas as situações, principalmente se for tido em consideração o facto de que em níveis elevados de automação, SAE 5, não é necessário condutor em qualquer fase da operação de condução independentemente do ambiente em que o VA se encontre. Assim, e uma vez que os veículos autónomos conectados (VAC’s) se encontram em permanente troca de informação com o ambiente externo, é absolutamente indispensável que a cibersegurança (3.5.5) seja garantida, visto que devido a essas mesmas ligações externas, os VAC’s se tornam claramente alvos de ataques informáticos que podem em última instância levar a resultados muito longe do esperado, podendo inclusive pôr em causa a segurança dos passageiros ou de terceiros externos ao veículo.

Por fim, tudo isto culmina no fator determinante para o sucesso da tecnologia, a aceitação pública (3.5.6). Tudo o que foi mencionado anteriormente deve ser tratado com a maior seriedade e responsabilidade para que a população se sinta confortável e aceite estes sistemas como um complemento aos meios já existentes de mobilidade, ou até mesmo para a distribuição de bens e serviços (3.6). Claramente, a par dessa aceitação é também bastante importante perceber o impacto que um sistema como este terá quer na sociedade, quer na indústria e consequentemente, no emprego e na economia. De facto, essa mesma preocupação foi já demonstrada pelos governos nacionais, sector privado e outras áreas da sociedade civil, no 46º Fórum Económico Mundial realizado na cidade Davos, Suíça em 2016, onde esse foi precisamente um dos temas abordados.

3.2 Veículos Autónomos

3.2.1 Níveis de Automação

De forma a existir uma melhor compreensão do conceito de automação de veículos, é necessário que antes de estudar a tecnologia incorporada nos seus sistemas se perceba quais os níveis de automação existentes, e como se distinguem entre si. Assim, a SAE International (*Society of Automotive Engineers International*) elaborou um documento que padroniza os 6 níveis de

automação, desde o SAE 0 (Sem Automação) até ao SAE 5 (Automação Total) descritos abaixo e melhor ilustrados na Figura 3.1.

SAE 0 – Sem Automação

Este é o nível mais básico, onde não é possível sequer ser falada em automação. Atualmente os veículos com SAE 0, apenas têm nos seus sistemas alguns sensores/equipamentos de apoio à condução como por exemplo, aviso presença de outro veículo no ângulo morto, aviso de mudança de via ou *Automatic Emergency Braking* (AEB). Assim, este nível contempla apenas auxílios momentâneos ao condutor, sendo este responsável por toda a operação do veículo.

SAE 1 – Assistência ao Condutor

Aqui o veículo já tem capacidade de fornecer alguma assistência ao condutor, quer na direção quer na aceleração/travagem, no entanto estes dois tipos de auxílio não podem ocorrer simultaneamente. São passíveis de verificação nos sistemas de centragem na via (LAS) e *Adaptive Cruise Control* (ACC), respetivamente.

SAE 2 – Automação Parcial

Semelhante ao SAE 1, aqui os tipos de auxílio são os mesmos mencionados no ponto anterior, no entanto, neste nível podem ocorrer em simultâneo, tendo assim o veículo capacidade de simultaneamente se centrar na via, controlando também a velocidade, em função da distância para os veículos da frente, escolhida pelo condutor.

SAE 3 – Automação Condicional

Encontra-se neste, o primeiro nível de um grupo distinto de automação, sendo que aqui o veículo já tem capacidade de conduzir, no entanto, apenas o consegue fazer se todos os requisitos dos sistemas foram cumpridos, assim, o condutor tem de estar sempre apto para tomar controlo manual do veículo a qualquer momento. Um exemplo deste tipo de funcionalidade é o *Traffic Jam Chauffer*.

SAE 4 – Condução Autónoma

A partir deste nível de automação já não é necessário que o condutor tome controlo manual do veículo, desde que sejam cumpridos os critérios definidos para o funcionamento dos sistemas de automação, sendo que podem nem haver pedais ou volantes instalados no mesmo, ainda que muitos fabricantes optem por os manter e mesmo em alguns desses veículos o condutor tem a possibilidade de desativar ou esconder os mesmos com o simples carregar de um botão.

SAE 5 – Automação Total

Representa o nível máximo de automação, ainda que semelhante ao SAE 4, neste caso o veículo apresenta a diferença de poder conduzir de forma completamente autónoma em qualquer tipo de situação e sem qualquer necessidade de intervenção por parte do condutor.

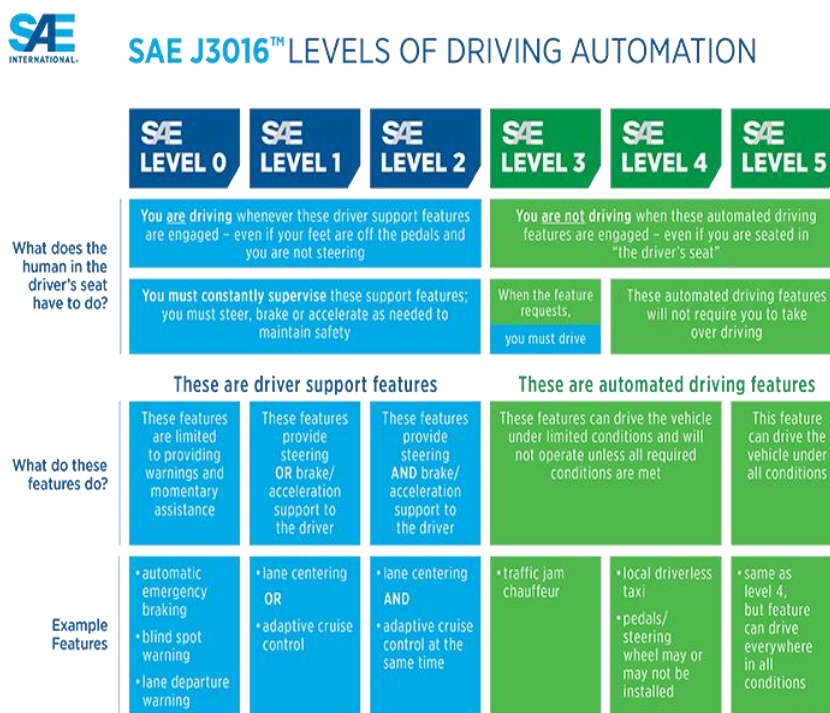


Figura 3.1 – Níveis de automação SAE (SAE@2018).

3.2.2 Tecnologia

Fazendo uma analogia entre um veículo autónomo e um condutor humano facilmente se percebem as semelhanças entre ambos. Existe uma fase de recolha de dados relativamente ao meio envolvente, seguida por uma fase de processamento da informação, decisão e por fim a ação sobre o veículo. No caso dos VA's, a recolha de informação necessária para o SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) é feita através de sensores e mapas previamente carregados no sistema, podendo os sensores serem classificados como passivos ou ativos, sendo os passivos capazes apenas de detetar luz ou radiação, refletida ou emitida, por objetos nas imediações dos mesmos e os ativos de emitir sinais eletromagnéticos e detetar a sua reflexão. Assim, dentro dos sensores passivos encontram-se as câmaras convencionais e as câmaras térmicas, já no campo dos sensores ativos o leque é mais alargado existindo o SONAR (*Sound Navigation and Ranging*), o RADAR (*Radio Detection and Ranging*) e o LIDAR (*Light Detection and Ranging*) como é possível verificar na Figura 3.2, sendo esta referente ao sistema atualmente utilizado em testes pela fabricante Volvo em parceria com a Uber.



Figura 3.2 – Sensores usados num veículo de teste Volvo-Uber (Wevolver@2020).

Por fim, ainda dentro do sistema SLAM, existem os sistemas de geolocalização, o GNSS (*Global Navigation Satellite System*), e o IMU (*Inertial Measurement Unit*), sendo este último integrado no sistema com o objetivo de suprimir falhas de localização nos momentos em que o sistema de localização por satélite não estiver ativo.

Sensores Passivos

- **Câmaras Convencionais**

As câmaras convencionais são o tipo de sensor mais comum neste tipo de sistemas devido ao seu vasto conjunto de benefícios. São uma tecnologia bastante apurada, o que as torna fiáveis e de baixo custo de produção, sendo já utilizadas em grande parte dos veículos atuais, aplicadas por exemplo nos *Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)*, *Surround View Systems (SVS)* e *Driver Monitoring Systems (DMS)* (Viatch@2019). Ainda assim, pelo facto de serem apenas recetores de informação (Figura 3.4) são incapazes de se adaptar em ambientes com condições climáticas adversas ou em momentos quer de fraca luminosidade, quer de luminosidade demasiado intensa. No entanto, devido à sua capacidade de obter imagens de alta resolução, podendo fazer um paralelismo com o olho humano, é importante perceber que as câmaras são a forma mais precisa de criar uma representação visual 360° do ambiente que rodeia os VA's (Nvidia@2019).

- **Câmaras Térmicas**

Ao funcionarem numa gama de comprimentos de onda superior às câmaras convencionais, (780 nm – 1 mm) (Wevolver@2020), as câmaras térmicas tornam-se numa mais valia quando trabalham em conjunto com as mesmas aumentando a informação recolhida por parte do sistema em condições de pouca luminosidade (Figura 3.4) ou mesmo durante a noite (Van Brummelen *et al.*, 2018). Num artigo publicado em 2019, Ezra Merrill, Diretor de *Marketing* da FLIR, empresa especializada no *design* e produção de câmaras térmicas refere mesmo que “os sensores térmicos vão preencher a lacuna existente e aumentar a segurança destes veículos” (Ansys@2019).



Figura 3.3 – Identificação de obstáculos por câmara convencional (Nvidia@2019) vs Identificação de obstáculos por câmara térmica (FLIR@2017).

A própria empresa, já em 2017, havia publicado um artigo apontando para os quatro principais benefícios das câmaras térmicas: (1) mesmo em condições de fraca luminosidade, a câmara térmica não apresenta dificuldades em analisar possíveis obstáculos uma vez que consegue detetar fontes de calor e não luz refletida pelos mesmos (Figura 3.4); (2) muito por força do ponto anterior, permite que obstáculos sejam melhor detetados do que por uma câmara convencional (Figura 3.4); (3) ao substituir o condutor humano, é imperativo que o veículo tenha o maior número de sensores possíveis a trabalhar em conjunto; e (4) o facto de este tipo de sensores já serem usados há mais de uma década em sistemas ADAS (FLIR@2017).



Figura 3.4 – Câmara convencional vs Câmara térmica (FLIR@2017).

Sensores Ativos

- **SONAR** (*Sound Navigation Ranging*)

Dos sensores introduzidos em VA's, o SONAR além do mais antigo é também o que requer um nível de tecnologia menos avançado, acabando em última análise por se refletir no custo de mesmo. Em termos de funcionamento (ilustrado na Figura 3.5), a tecnologia é bastante simples, quer de aplicar, quer de compreender. À semelhança do que animais como os golfinhos ou os morcegos fazem na natureza, o SONAR funciona como emissor e recetor em simultâneo, emitindo impulsos ou ondas ultrassónicas que, por sua vez são refletidas pelos objetos, voltando assim ao recetor, sendo a distância aproximada calculada através do tempo que estas demoram a efetuar este percurso (Thompson, 2019).

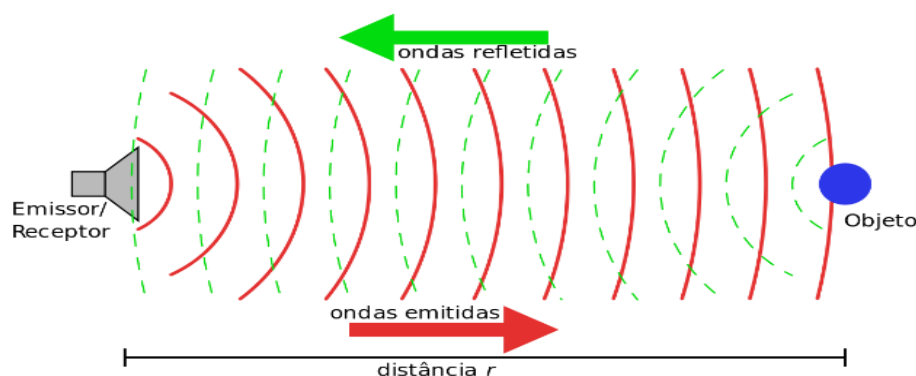


Figura 3.5 – Exemplo de funcionamento de um sistema SONAR (PhysicsCentral@2020).

Devido à utilização de equipamentos de baixo alcance neste tipo de veículos, os mesmos são na maioria das vezes usados em sistema de ajuda avançada, ADAS, principalmente como sensores de estacionamento. Recentemente os fabricantes têm apostado em frequências mais elevadas, visto que ao funcionarem numa gama de baixa frequência, este tipo de sensor é bastante sensível a interferências (Wevolver@2020).

- **RADAR** (*Radio Detection and Ranging*)

Radar define-se como um “*sensor eletromagnético utilizado para detetar, localizar, seguir e reconhecer objetos de vários tipos a distâncias consideráveis. Opera transmitindo energia eletromagnética para os objetos, normalmente chamados de alvos, e observando os ecos retornados a partir deles*” (Encyclopedia Britannica@2020). No caso dos VA's, os radares FMWC (*Frequency Modulated Continuous Wave*) têm-se tornado bastante populares devido ao facto de combinarem alta resolução na perceção de alcance e profundidade. Neste tipo de radar, tanto o emissor como o recetor operam continuamente, sendo que o emissor emite uma onda

sinusoidal que aumenta e diminui a frequência ao longo do tempo, numa sequência conhecida com “*chirp*” (Pickering, 2017). De notar que para VA’s são testados radares do tipo *Short Range Radar* (SRR), *Mid Range Radar* (MRR) e *Long Range Radar* (LRR), diferenciados pelas bandas de frequência em que operam (Wevolver@2020), acabando assim por terem tarefas diferentes (ver Figura 3.7) na orientação do veículos, ficando os SRR e MRR responsáveis por avisos de colisão e os LRR pela deteção de objetos, inclusive através de chuva, nevoeiro ou pó.

- **LIDAR (*Light Detection and Ranging*)**

LIDAR, ou *Light Detection and Ranging*, à semelhança dos sensores anteriores, emite também impulsos para detetar objetos nas imediações do veículo. Assim, o LIDAR usa luz na forma de impulsos laser (50 000 – 200 000 por segundo), compilando os sinais de retorno numa *cloud* de pontos 3D (até 250 m de alcance) e tendo a capacidade de avaliar o movimento desses mesmos objetos através das diferenças de posição em *clouds* de pontos consecutivas (Wevolver@2020). Uma vez que o LIDAR tem a capacidade de gerar mapas em 3D (Figura 3.6), apresenta claramente uma vantagem em relação às câmaras (2D), sendo que estas necessitam da fusão de imagens consecutivas, ou de duas câmaras a operar em simultâneo para poder gerar um mapa nessa dimensão, necessitando assim de mais tempo e poder de processamento que o LIDAR, visto que este o consegue fazer diretamente.

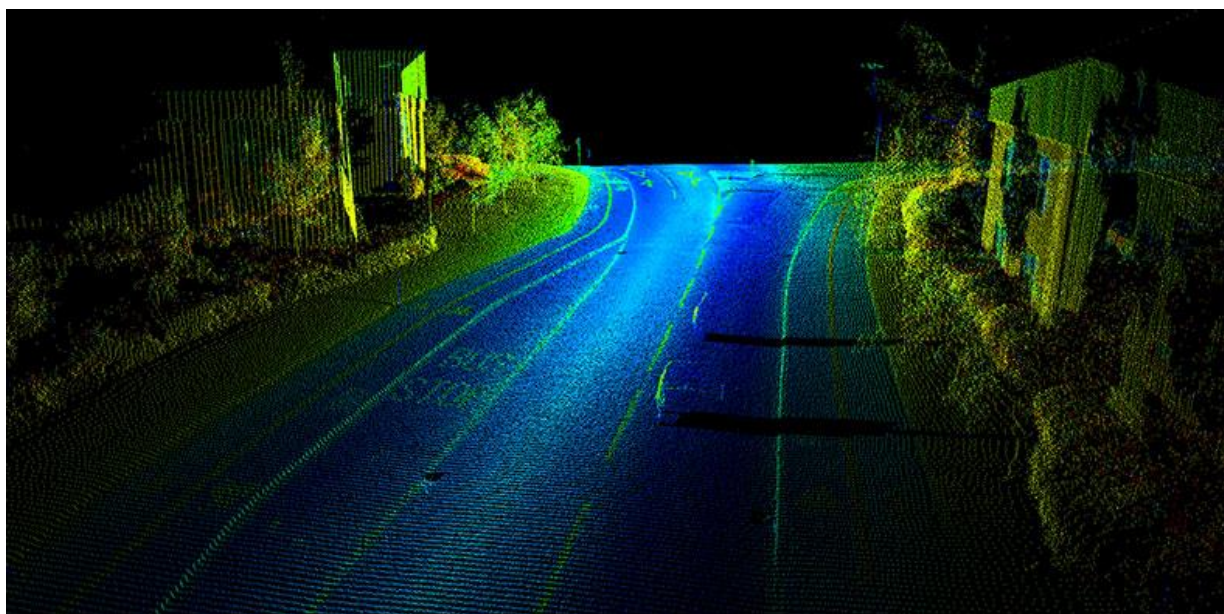


Figura 3.6 – Exemplo de uma *Cloud* 3D gerada por um LIDAR, (Renishaw@2020).

Em adição, o LIDAR consegue obter uma melhor perceção de distâncias entre objetos e de profundidade (Mati Shani, 2020). Vários estudos têm-se focado na evolução do LIDAR, enquanto que alguns usam a fusão dos dados obtidos com os das câmaras, aumentando assim a

precisão de deteção de objetos (Van Brummelen *et al.*, 2018), outros apresentam métodos em que com um apenas um *scan* feito pelo aparelho, é efetuada uma correspondência com o mapa de satélite incorporado no veículo, funcionando assim o LIDAR com um sensor de posicionamento do VA (Fu *et al.*, 2020).

Na Figura 3.7 é possível, através de uma comparação entre sensores, perceber qual o alcance de cada um e sua finalidade.

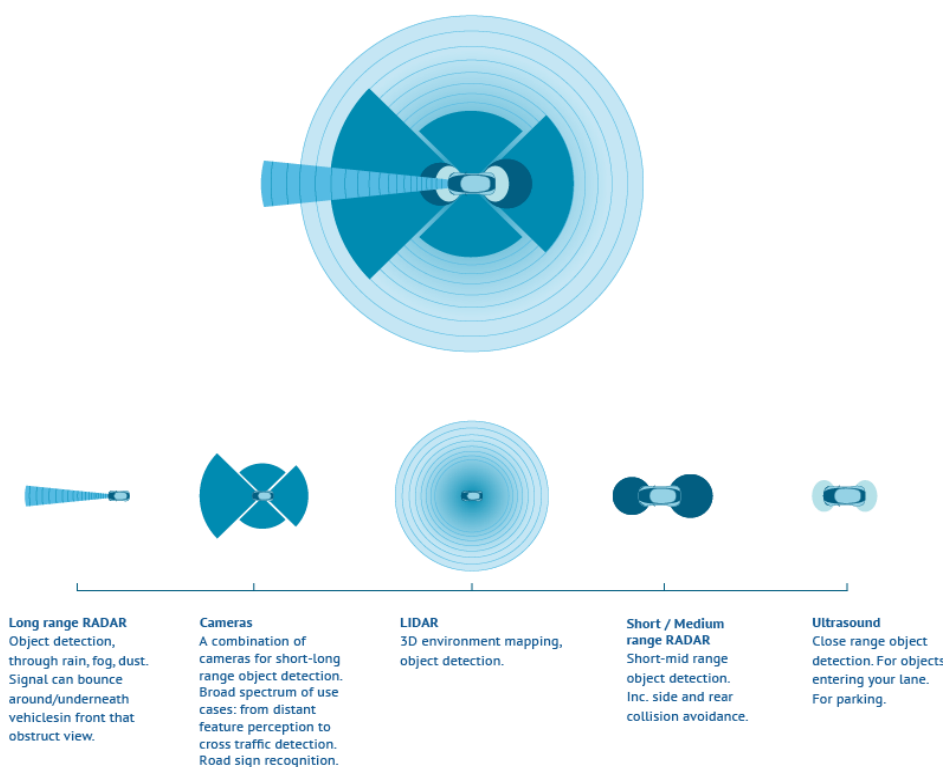


Figura 3.7 – Raios de ação de diferentes sensores (Wevolver@2020).

Sistemas de Geolocalização

- **GNSS (*Global Navigation Satellite System*)**

GNSS, ou *Global Navigation Satellite System* designa-se por uma constelação de satélites que enviam sinais do espaço e transmitem dados sobre o seu posicionamento em tempo real para recetores na Terra (GSA@2017). De acordo com a European GNSS Agency (GSA), a performance de um sistema de GNSS é avaliada com base em quatro critérios: precisão, integridade, continuidade e disponibilidade, além de que garante, por defeito, cobertura global, existindo quatro sistemas globais atualmente: o GALILEO da União Europeia, o GPS dos Estados Unidos, o GLONASS da Rússia e o COMPASS ou BEIDOU-2 da China. Para obter

uma localização do veículo, é necessário apenas um dispositivo recetor no mesmo, estando este em permanente ligação a recetores terrestres e aos satélites em órbita obtendo o posicionamento através de triangulações, sendo que para uma estimativa mais precisa, o recetor no veículo calcula a distância a quatro ou mais satélites (NASA@2019). Em termos físicos, atualmente o GPS garante um erro de alcance do utilizador (URE), a nível global, inferior a 7.8 m e já o GALILEO, assim que estiver completamente operacional espera-se que garanta um URE inferior a 1 m sendo expectável que no futuro, ao serem adicionadas novas tecnologias esse valor desça para menos de 1 cm (Wevolver@2020). De facto, em 2019, o uso do sistemas GALILEO, GPS e GLONASS em conjunto revelou uma disponibilidade de solução de cerca de 90% e uma estimativa de posição com precisão ao centímetro (Kiliszek and Kroszczyński, 2020).

- **IMU (*Inertial Measurement Unit*)**

IMU, ou *Inertial Measurement Unit*, é um dispositivo eletrónico que através da recolha de dados de sensores como acelerómetros, giroscópios e magnetómetros, consegue determinar a orientação, velocidade e força gravitacional de um aparelho. Usados em sistemas desde smartphones até aeronaves ou mesmo mísseis e satélites (Sparton@2015), este tipo de aparelho tem um papel de extrema importância também nos sistemas localização de VA's uma vez que a partir dos dados analisados consegue suprimir falhas de localização provocadas por possíveis indisponibilidades dos serviços de localização por satélite em curtos períodos de tempo, como por exemplo em passagens por túneis (Van Brummelen *et al.*, 2018).

Uma desvantagem deste tipo de dispositivos, que leva a que não seja exequível abdicar de sistemas como os GNSS, é o facto de o IMU medir deslocamentos em relação a si próprio, não fazendo triangulações em relação a objetos de posição conhecida, o que provoca uma acumulação de pequenos erros devido aos arredondamentos efetuados nos seus processos de cálculo e que em grandes distâncias poderia levar a erros significativos (Arrow@2018).

3.3 Veículos Autónomos Conectados

3.3.1 Tipos de Conexão

- **V2V (*Vehicle-To-Vehicle*)**

A comunicação V2V permite aos veículos trocarem entre si informação de forma omnidirecional, relativa à sua velocidade, localização e direção (esquematizado na Figura 3.8), permitindo assim ao veículo criar uma vista 360° de todas as potenciais colisões à medida que

estas vão aparecendo. Esta tecnologia, não sendo exclusiva a VA's, possibilita que em veículos convencionais estes informem o condutor (Figura 3.9), permitindo que este tome medidas que evitem acidentes (NHTSA@2020).

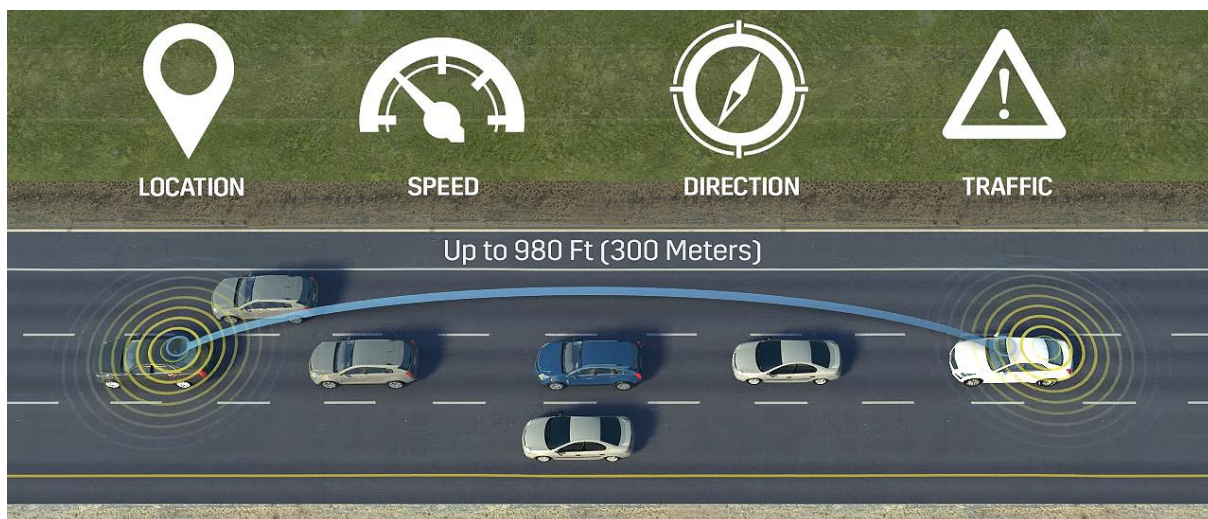


Figura 3.8 – Esquema de Sistema V2V (Cadillac Pressroom@2020).

Segundo a NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*), as mensagens das comunicações V2V conseguem ser transmitidas até mais de 300 m, podendo detetar perigos que estejam ocultos pelo tráfego, terreno ou pelas condições atmosféricas.



Figura 3.9 – Exemplo de informação dada ao condutor (Cadillac Pressroom@2020).

Além disso, esta tecnologia pode ser implementada em veículos ligeiros, camiões, autocarros, motos e no futuro prevê-se que esteja mesmo disponível para bicicletas e peões, aumentando assim largamente o campo de perceção dos condutores. Ainda segundo a mesma entidade, só nos Estados Unidos, no ano de 2017 foram reportados 6,5 milhões de acidentes dos quais resultaram 37133 fatalidades e 2,7 milhões de feridos, sendo ainda concluído no artigo da NHTSA que a implementação deste sistema nos veículos, ao permitir que os sistemas consigam antecipar a colisão, reduza significativamente o número de vidas perdidas a cada ano.

- **V2I (*Vehicle-To-Infrastructure*)**

A comunicação V2I refere-se à troca de dados entre o veículo e a infraestrutura rodoviária na qual este circula, tratando-se de um tipo de comunicação bidirecional (3M@2020). Este sistema conta com a vantagem de ter inúmeros pontos de recolha de dados visto serem vários os elementos da infraestrutura rodoviária passíveis de serem utilizados com essa finalidade, entre os quais guias, sinais rodoviários e semáforos. É assim possível perceber que com uma tão vasta quantidade de dados a serem partilhados em tempo real sejam conseguidas importantes melhorias na segurança, mobilidade e qualidade ambiental.

Ainda segundo a mesma fonte, com a implementação deste tipo de sistemas estima-se que exista uma redução de quase 90% nas fatalidades em acidentes de tráfego, podendo salvar, só nos Estados Unidos, cerca de 30 000 vidas por ano. Ainda que estes números representem meras estimativas, e frisando uma vez mais que este tipo de sistemas não é exclusivo a VA's, é importante perceber que a sua utilização em larga escala com o devido investimento na infraestrutura rodoviária poderá permitir aumentos significativos na segurança rodoviária sem a necessidade de esperar por uma possível entrada dos VA's em larga escala no mercado.

- **V2G (*Vehicle-To-Grid*)**

A tecnologia V2G baseia-se num fluxo bidirecional de energia entre o veículo e a rede em vez do sistema de carregamento unidimensional convencional (rede-veículo). Assim, o veículo passa a representar também um dispositivo de armazenamento de energia que pode ser devolvida à rede em horas de maior consumo ou mesmo na estabilização de parâmetros do sistema elétrico nacional (EDP@2020). Neste momento, a EDP (Energias de Portugal) encontra-se em fase de teste de um novo carregador deste género apresentado na Figura 3.10, bem como um esquema simplificado da tecnologia.

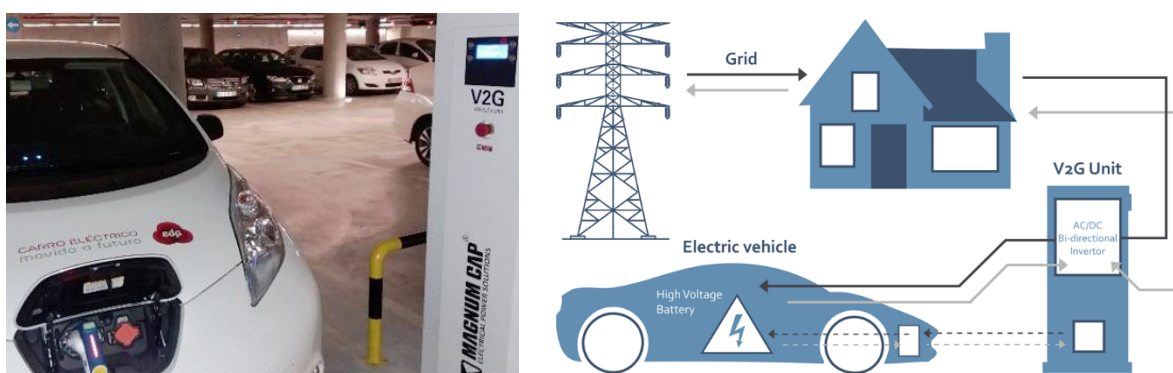


Figura 3.10 – Carregador V2G (EDP@2020) e Esquema de tecnologia V2G (EVConsult@2020).

- **V2X (*Vehicle-To-Everything*)**

V2X designa-se pela junção de várias tecnologias semelhantes (como perceptível na Figura 3.11), mais específicas como por exemplo as comunicações V2V e V2I, já abordadas anteriormente neste capítulo. A V2X é então baseada em comunicações 5.9 GHz de curto alcance definidas especificamente para objetos de deslocação rápida que possibilitam que seja estabelecida uma ligação rádio fiável, ainda que não exista linha de visão entre o emissor e o recetor (ST@2020).



Figura 3.11 – Comunicação V2X (RCR@2020).

Através da informação partilhada, tal como o posicionamento e a velocidade para todos os recetores próximos, este tipo de tecnologia torna-se num grande aliado dos sistemas de aviso ao condutor, levando assim a uma diminuição no número de acidentes e por consequência no número e gravidade de ferimentos e número de fatalidades. Uma vez que graças a este tipo de tecnologia o condutor pode ser avisado de possíveis congestionamentos com alguma antecedência, com o sistema a propor também rotas alternativas, poderá levar a uma redução de emissões de CO₂ através de uma gestão de mobilidade mais inteligente.

3.4 Possíveis Benefícios dos Veículos Autónomos

3.4.1 Aproveitamento do Tempo de Viagem

O aproveitamento do tempo das viagens efetuadas é visto atualmente como um dos principais benefícios apontados à introdução de VA's no sistema de transportes. No entanto, este é um dos pontos que mais levanta controvérsia por parte da comunidade científica, havendo opiniões bastante distintas. É ainda importante perceber, que para fazer uma análise a este tema, tem de

se separar veículos autónomos privados de veículos autónomos de uso partilhado. Um dos argumentos mais usados desde que esta tecnologia começou a ganhar visibilidade é de que o utilizador tem condições para utilizar melhor o seu tempo de viagem, havendo até estimativas sobre os impactes económicos a nível mundial, como reflexo do aumento da produtividade laboral. Por oposição, há autores que defendem que essa poupança de tempo de viagem, talvez seja mais modesta do que inicialmente previsto e não negando a sua existência, apenas é posta em causa a sua utilidade. Um dos autores que defende este segundo argumento é Patrick Singleton, Professor Assistente de Transportes na Universidade do Utah, EUA, sendo aliás o comportamento em viagens e o planeamento de transportes, duas das suas principais áreas de investigação. Num artigo publicado em 2019, Singleton defende que devido ao *design* interior do veículo, os passageiros não se irão sentir num ambiente propício para trabalhar, mas sim num ambiente mais confortável e que proporcione momentos de descontração. Defende assim que devido ao tipo de ambiente dentro do habitáculo, os utilizadores se sentirão claramente mais como passageiros de um automóvel convencional do que por exemplo como passageiros num comboio, sendo esse aspeto agravado em viagens partilhadas. Assim infere que apenas se possa verificar alguma produtividade em viagens associadas a longas distâncias (Singleton, 2019), não havendo lugar a qualquer tipo de melhoria em circuitos urbanos, principalmente em cidades de menor dimensão.

No entanto, de maneira a que se possam tomar decisões informadas e justificadas, é necessário ter acesso a dados fidedignos, assim vários investigadores têm-se focado em tentar perceber qual a percentagem de poupança de tempo de viagem, caso esta exista. Segundo alguns autores, estima-se que a poupança de tempo de viagem em veículos autónomos particulares seja cerca de 41% quando comparados com veículos convencionais em viagens para o trabalho, sendo que não se verificam poupanças em viagens de lazer (Kolarova, Steck and Bahamonde-Birke, 2019). Neste artigo é ainda concluído que o tempo usado num veículo autónomo partilhado é tido como negativo, quando comparado com o tempo usado num veículo autónomo privado ou mesmo num transporte público e que em última análise isso pode levar a uma maior aquisição de veículos autónomos privados e conseqüentemente a um maior valor de quilómetros percorridos podendo assim afetar negativamente o volume e fluidez de tráfego, (ver 3.4.2), criando também um problema no planeamento das cidades (ver 3.4.3).

Esta conclusão, de que poderá existir um aumento de aquisição de veículos autónomos privados ganha ainda mais força quando analisados os resultados de estudos ainda mais recentes. Prevê-se que exista uma poupança de tempo de viagens para o trabalho de 32% para meios suburbanos, 24% para meios urbanos e 18% para rurais, valores francamente favoráveis quando comparados com os 14%, 13% e 8% respetivamente para veículos autónomos partilhados (Zhong *et al.*, 2020). Relativamente aos baixos resultados para meios rurais, é possível que estes valores resultem do facto de nestas zonas, grande parte dos veículos serem utilizados para atividades

agropecuárias ou florestais (campos onde os VA's muito dificilmente terão mercado ou terão um nicho muito reduzido) o que poderá em última análise levar os habitantes destas zonas a não avançarem para a aquisição de VA's, sendo este aspeto bastante importante e a ter em conta no planeamento das cidades visto que uma possível obrigatoriedade futura, ainda que a longo prazo, de circular com VA's nas mesmas poderá criar uma barreira ainda maior entre a zona rural e a zona urbana, algo bastante nocivo para o desenvolvimento da sociedade, principalmente se tivermos em conta que as zonas rurais representam a maior percentagem da superfície global, além das mesmas servirem de apoio, como por exemplo em termos alimentares às zonas urbanas.

3.4.2 Volumes de Tráfego e Sinistralidade

Na mesma linha de pensamento do ponto anterior, é importante perceber se de facto irá existir uma diminuição ou aumento do volume de tráfego com o aparecimento dos VA's nas estradas, ou se, sendo o menos provável, esse mesmo volume de tráfego se irá manter inalterado. Este é um assunto que tem gerado pouco consenso entre a comunidade científica. Vários estudos têm sido conduzidos na tentativa de se conseguirem conclusões que possam levar a novas linhas de orientação especialmente dirigidas ao planeamento das cidades (ver subsecção 3.4.3). Assim, e considerando que existem ainda vários fatores impeditivos para que os VA's entrem em larga escala nas redes rodoviárias com altos níveis de automação, ainda que esses mesmo veículos não se encontrem no mercado, não deixa de ser importante planear com a devida antecipação e perceber qual será o impacto a curto, médio e longo prazo na fluidez de tráfego. De facto, estima-se que numa fase inicial de introdução deste tipo de veículos nas estradas (baixos níveis de automação) exista um impacto negativo na fluidez de tráfego e que só possam ser observadas melhorias a partir de uma taxa de penetração no mercado de acima de 70% (Calvert, Shackel and van Lint, 2017).

Ainda assim, uma taxa desta dimensão dificilmente será alcançada num futuro próximo sendo que segundo (Moreno, 2018) prevê-se que a taxa de penetração de VA's no mercado seja inferior a 11% em 2030 e entre 7% a 61% em 2050, valores que demonstram ainda mais a grande incerteza existente. Também neste artigo são avaliadas as consequências da presença dos VA's na rede rodoviária, sendo referido que em simulações efetuadas à escala da cidade em Berlim (Alemanha), Lisboa (Portugal) e Austin (EUA), verificou-se que um VA partilhado poderia substituir dez veículos privados convencionais, e em Munique (Alemanha), num estudo à escala regional, esse valor passaria para 3 a 10 veículos, assumindo taxas de penetração entre os 20% e os 40%. No entanto, estes valores podem não ser tão benéficos, uma vez que no mesmo artigo é referido que também os quilómetros percorridos por veículo irão aumentar entre os 4% e os 51% por força das viagens em vazio que estes irão efetuar. Analisando brevemente estes resultados, é possível pensar que esses valores se tornem ainda mais expressivos, se for

tido em conta que muitos utilizadores privados que detêm a grande maioria dos veículos automóveis não os irão adquirir para substituir 3 ou 10 veículos mas na maioria dos casos, apenas um, podendo assim existir globalmente um aumento do número de quilómetros percorridos. Esta previsão deriva do facto de muitos indivíduos que até aqui não se deslocariam por veículo automóvel passem a fazê-lo com a existência de uma VA na família como se encontra mencionado na subsecção seguinte.

Ainda neste tema é imperativo falar do aspeto igualmente importante: o previsível impacte em termos de sinistralidade rodoviária. É expectável que com o tipo de sensores incluídos num VA, como por exemplo o caso de câmaras térmicas ou do LIDAR, estes tenham acesso a informação que os equivalentes sensores humanos não tenham, além de que, em junção com uma capacidade de processamento de informação mais veloz resulte em tomadas de decisão mais rápidas e eficazes. Logicamente, também neste ponto muitos estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar a potencial diminuição da sinistralidade. No entanto, e porque neste caso é preciso fazer uma análise crítica e detalhada, é necessário ter atenção aos dados que são utilizados em comparações de sinistralidade entre VA's e veículos operados manualmente.

Um problema identificado com este tipo de argumento é a excessiva culpabilização do erro humano, problema esse causado pela maneira relativa e pouco objetiva com que são definidos alguns conceitos. Um dos resultados passível de ser observado é o facto de a maioria dos acidentes entre veículos convencionais e veículos autónomos se dever a “velocidades inseguras” ou “distâncias de segurança muito curtas” (Petrovic, Mijailović and Pešić, 2020). Em Portugal, por exemplo, acaba assim por ser atribuída maior casualidade ao erro humano do que possivelmente será a realidade, principalmente devido às definições das expressões referidas anteriormente. Segundo a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), em caso de condições climatéricas adversas é aconselhado que exista um aumento da distância de segurança e uma redução de velocidade, sendo que a entidade refere que “*assim, facilmente se compreende que em tais situações a distância de segurança, que depende apenas da avaliação do condutor, deve ser aumentada*” quanto à distância de segurança e que “*a distância de travagem é tanto maior quanto mais elevada for a velocidade. É, pois, necessário reduzi-la quando a visibilidade se encontra diminuída*” (ANSR@2020). Uma vez que nestas recomendações de boas práticas não existe referência a qualquer valor concreto quer de distância mínima, quer de velocidade máxima, torna-se bastante subjetiva em muitos casos a definição de onde termina a responsabilidade institucional e onde começa a humana, agravada frequentemente pelo mau estado de conservação de muitos troços da rede rodoviária, ou de outras deficiências infraestruturais. Assim, subentende-se que desses casos mal avaliados, ainda que estejam longe da maioria, é necessário tirar uma conclusão fundamental, o investimento em boas condições da rede é uma prioridade, sendo que a falta deste pode implicar problemas

até para os VA's visto que falhas externas não dependem da mão humana enquanto condutor e essa é a única substituição a ser feita nesta transição.

3.4.3 Impacto no Planeamento das Cidades

Com a automação dos veículos e a possibilidade de largarem os seus passageiros nos destinos pretendidos sem que os mesmos tenham que os estacionar nas imediações, podendo o VA sem intervenção humana direta, estacionar, num parque periférico, voltar para a residência ou no caso de famílias, servir mais do que uma pessoa, isso traduzir-se-á inevitavelmente na redução da procura de lugares de estacionamento nos centros das cidades, zonas onde existe uma predominância de comércio e serviços. Isso inclui indivíduos sem habilitação para conduzir, tais como idosos, crianças ou pessoas com deficiências impeditivas ao ato de condução, permitindo assim um maior grau de autonomia e autoestima.

A possibilidade de circularem em vazio (Gavanas, 2019), torna então os VA's num catalisador para a realocação de parte dos lugares de estacionamento, tal como visto anteriormente (2.2.2), o que permitirá libertar espaço para outras funções urbanas como a socialização e a prática de atividades ao ar livre. Por outro lado, em zonas com excesso de procura estacionamento, poderão ser adotadas medidas de não redução do número de lugares, fazendo com que através da quebra na procura e a manutenção da oferta, exista uma provável acalmia nos níveis de congestionamento provocados muitas vezes por paragem de veículos em locais indevidos.

Em complemento da utilização dos espaços libertados para que possam ser usufruídos pelos peões, também alguns desses mesmos espaços poderão até ser utilizados para a criação de postos de carregamentos de VA's elétricos e até mesmo, segundo alguns autores, para zonas de recolha e largada de passageiros (Chatman and Moran, 2019), sendo que neste último ponto, ao ser assumido que esse será um cenário possível, estamos então a falar não de um ganho de espaço para peões, mas sim num *redesign* das zonas complementares à rede viária.

3.5 Obstáculos e Preocupações

3.5.1 Considerações Iniciais

Contrastando com os possíveis benefícios, existem as preocupações trazidas pelos VA's e os obstáculos que impedem que estes entrem no mercado nas suas formas mais autónomas ainda que a tecnologia já caminhe a passos largos para lá. Assim, garantir que estes veículos conseguem circular sem restrições é um grande desafio. É preciso entender que neste tema existem vários tipos de restrições sendo elas de natureza física, legislativa, ética e até de segurança. As restrições físicas passam muitas vezes por casos tão simples como linhas pouco

visíveis ou em locais errados, sendo que o mesmo acontece com sinalização vertical que muitas vezes podem levar a decisões erradas por parte do VA ou mesmo à falta de informação para uma tomada de decisão.

De seguida aparecem as restrições legislativas que podem impedir a circulação de veículos sem condutor em muitos países como por exemplo os que assinaram o Tratado de Viena. Em terceiro lugar, existem as restrições éticas, nomeadamente o valor da vida humana e por fim, o problema da cibersegurança, sendo este maioritariamente afeto aos VAC's. Atendendo às tecnologias de conexão apresentadas na subsecção 3.3.1, o facto de os VAC's partilharem informação em rede, apesar de ter as suas inúmeras vantagens já apresentadas, tem a desvantagem de os deixar mais vulneráveis a ataques informáticos.

3.5.2 Ambiente Construído

Uma vez apresentados os sensores necessários para que os VA's possam rececionar informação suficiente e fiável, podendo assim tomar decisões, torna-se também necessário abordar o ambiente externo que estes analisam. Garantir que os mesmos conseguem operar sem restrições é um desafio, existindo ainda várias, físicas, a serem ultrapassadas, como alguns casos de mau desenho e manutenção da rede rodoviária. No entanto existem também alguns aspetos no processo de tomada de decisão por parte dos VA's a serem também analisados. Como mencionado anteriormente (3.2.2), os sensores inseridos nos VA's têm a capacidade de atuar em situações que o ser humano teria dificuldades, como o caso dos lasers poderem obter informação em ambientes de pouca luminosidade, além que a capacidade de processamento de informação é largamente superior, levando a tempos de reação quase instantâneos (Nick Oliver, Kristina Potocnik, 2018). Ainda assim, e assumindo, para efeitos de estudo, que neste caso se desconsideram quaisquer obstáculos climatéricos à obtenção de informação por parte dos sensores, devido ao trabalho que tem sido feito para que sensores diferentes trabalhem em conjunto, outro ponto deve ser levantado, os chamados “*edge cases*”, como por exemplo acidentes, trabalhos na estrada ou mesmo a rápida aproximação de veículos de emergência que podem ser difíceis de classificar por parte do sistema, além de que os VA's, “*não são bons a detetar e interpretar pistas humanas, como gestos e contacto visual, que podem facilitar a coordenação de carros na estrada*” (Nick Oliver, Kristina Potocnik, 2018), uma vez que “*um conjunto de dados considerado compreensivo para um humano pode ser insuficiente para uma máquina*” (Hao, 2017), podendo este argumento ser ainda levado para as interações críticas, mas absolutamente essenciais em meio urbano, dos próprios VA's com peões ou ciclistas. De facto, esse tópico é levantado em alguns estudos que além de aceitarem que os VAC's podem transformar as redes rodoviárias em locais mais seguros para condutores, ciclistas e peões, ainda assim existem alguns perigos ligados à comunicação, comportamento e capacidades técnicas (Botello *et al.*, 2019) que ainda não foram ultrapassados.

O foco na previsão de possíveis perigos tornou-se ainda mais mediático, depois de a 14 de fevereiro de 2016, um carro da Google ter estado envolvido numa pequena colisão ao tentar entrar numa via adjacente à que seguia. Apesar de ter parado e esperado por um momento em que tivesse espaço seguro para proceder à manobra, o sistema assumiu que o condutor de um autocarro que seguia na via em que o VA queria entrar, iria abrandar para o deixar entrar (algo que não estaria legalmente obrigado a fazer), acabando por ocorrer a colisão (Noy, Shinar and Horrey, 2018). Desde então muito trabalho tem sido feito por várias empresas para melhorar estes aspetos, incluindo também a previsão de possíveis perigos, estando já a Waymo a testar o reconhecimento de veículos de emergência por parte dos seus VA's (Waymo@2017).

Outro aspeto a ter em consideração, será a conceção e a manutenção das redes rodoviárias, ponto este que muitas vezes é desconsiderado pelo facto de que, como referido anteriormente (3.4.2), muitas vezes existe uma excessiva culpabilização do erro humano. Na verdade, este tópico é também mencionado numa publicação do *International Transport Forum*, onde referem que os erros associados a um mau dimensionamento de estradas, quer de velocidades impostas, quer de deficiente desenho de intersecções, são muitas vezes, em análises posteriores descritos como erros humanos, sendo ainda referido nesta publicação, e em linha com o que foi mencionado anteriormente neste documento, que *“Os erros humanos também podem ser erros não relacionados com o condutor, por peões, ciclistas e motociclistas. Uma vez que não serão automatizados, os seus erros provavelmente não serão eliminados pela automação.”* (ITF@2018).

3.5.3 Legislação

Passando para a esfera legislativa, são vários os desafios apresentados pelos VA's, sendo os mais conhecidos, os casos da segurança, privacidade, responsabilidade legal, requisitos das infraestruturas e sustentabilidade (Lee and Hess, 2020). Assim, é necessário entender que ainda que se chegue a um patamar de qualidade bastante elevado em termos de tecnologia, que a opinião pública aceite estes veículos e que a questão da ética seja resolvida, para que os mesmos possam entrar o mercado é preciso que a sua circulação, em domínio público, seja legalizada.

O primeiro obstáculo encontra-se na Convenção do Trânsito Rodoviário do Tratado de Viena, celebrado a 8 de novembro de 1968. De acordo com a publicação em Diário da República nº178/2010, Série I de 2010-09-13, refere o artigo 8º, ponto 1 que *“Qualquer veículo ou conjunto de veículos que forme uma unidade deve ter um condutor”*, sendo que no artigo 3º, ponto 1, a palavra “condutor” seja definida como *“qualquer pessoa que tenha a direção de um veículo, automóvel ou outro (incluindo um velocípede) ou que conduza numa via, animais, isolados ou agrupados, ou animais de tiro, de carga ou de sela”* (DRE@2020).

Na tentativa de resolver este problema, em 2016, o Comité Económico Europeu das Nações Unidas aprovou uma alteração à Convenção de Viena em que passam a ser autorizados VA's com a condição de que *“as suas tecnologias estejam em conformidade com os regulamentos da ONU ou possam ser controlados e desativados pelos condutores”* (Automonitor@2016). Esta decisão permite que, em termos legislativos, a Europa se aproxime dos EUA onde o *Google Car* já é reconhecido como condutor pelas autoridades rodoviárias, estando ainda assim neste momento um passo legislativo à frente da União Europeia.

O segundo obstáculo a ser apresentado neste documento é o da responsabilidade legal, ponto que chega a ser considerado tão ou mais importante que o avanço da própria tecnologia (The Atlantic@2018). Talvez um dos casos mais famosos associados a este tema seja o acidente em Tempe, Arizona, EUA, entre um VA e um peão que acabou por ser fatal. Segundo a *National Traffic Safety Board* (NTSB), o acidente foi resultado do facto de o VA da Uber não ter *“capacidade de classificar um objeto como um peão a não ser que esse mesmo objeto estivesse perto de uma passadeira”*. Segundo a Uber, a programação foi modificada e o erro encontra-se corrigido (NBC News@2019). Como é possível verificar, a tecnologia não é o maior problema, visto que a Uber rapidamente conseguiu aumentar a segurança dos seus veículos, mas para o futuro mantém-se a questão da responsabilidade para este tipo de veículos.

Na tentativa de clarificar esta questão, (Bellet *et al.*, 2019) apresenta o Ciclo de Transição Humano-Máquina (Figura 3.12), onde a zona vermelha representa os níveis SAE 0-2 e a zona azul os níveis SAE 3-5.

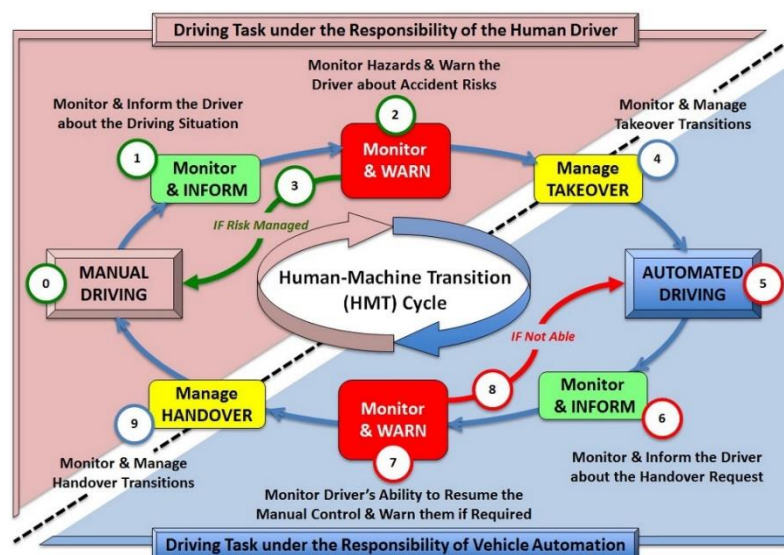


Figura 3.12 – HMT Cycle (Bellet et al., 2019).

Percebe-se neste ponto que existe ainda um longo caminho a percorrer nesta matéria. De facto (Imai, 2019) refere mesmo que as revisões feitas nesta matéria a duas leis no Japão, acabaram por enfatizar os assuntos fundamentais que devem ser resolvidos em breve, dando ainda uma sugestão de quatro pontos a ter em mente. Imai, recomenda que se aumente a aceitação por parte da sociedade, que o conceito de ODD (*Operational Design Domains*) seja reconhecido como um conceito relativo que possa ser decidido apenas para um tipo de veículo, que se reconsidere o conceito de condutor e exista melhor preparação para situações de imprevistos como por exemplo emergências, fazendo uma chamada de atenção para o *The Trolley Problem* (ver 3.5.4).

3.5.4 Ética

Existem certos casos em que é necessário, da parte do condutor, tomar uma decisão em frações de segundo. É expectável que os VA's com capacidade de substituir o condutor sejam capazes de tomar o mesmo tipo de decisões, mas se na maioria das vezes as decisões passam, por exemplo, por avançar com uma diferença de segundos numa interceção, outras passam por questões muito mais profundas em que acabam por ser atribuídos assim valores à vida de cada ser humano. Mas até que ponto será isto eticamente aceitável?

The Trolley Problem

Proposto pela primeira vez em 1967 pela filósofa Phillipa Foot e adaptado por Judith Jarvis Thomson em 1985 (The Conversation@2016), este dilema, ilustrado na Figura 3.13, tem voltado a ser muito falado nos últimos tempos no campo da ética dos VA's. O dilema consiste em duas situações com a mesma finalidade ainda que com meios de a atingir distintos.

Na primeira situação existe uma linha férrea na qual se concentram cinco trabalhadores enquanto um comboio se aproxima, não havendo maneira de os avisar atempadamente. Contudo existe uma alavanca que pode ser puxada desviando assim o percurso para uma outra linha onde está apenas um trabalhador que também não pode ser avisado. A questão neste dilema é se será eticamente mais correto não interferir e deixar o comboio continuar o seu caminho ou puxar a alavanca, alterando o percurso e provocando assim uma fatalidade em vez de cinco.

Na segunda situação, os cinco trabalhadores continuam em risco, mas desta vez a única hipótese de parar o comboio é empurrar um homem de porte elevado de uma ponte fazendo com este caia na frente do comboio. Mais uma vez a questão é a mesma, se será preferível uma fatalidade em vez de cinco, no entanto a decisão a tomar é bastante diferente.

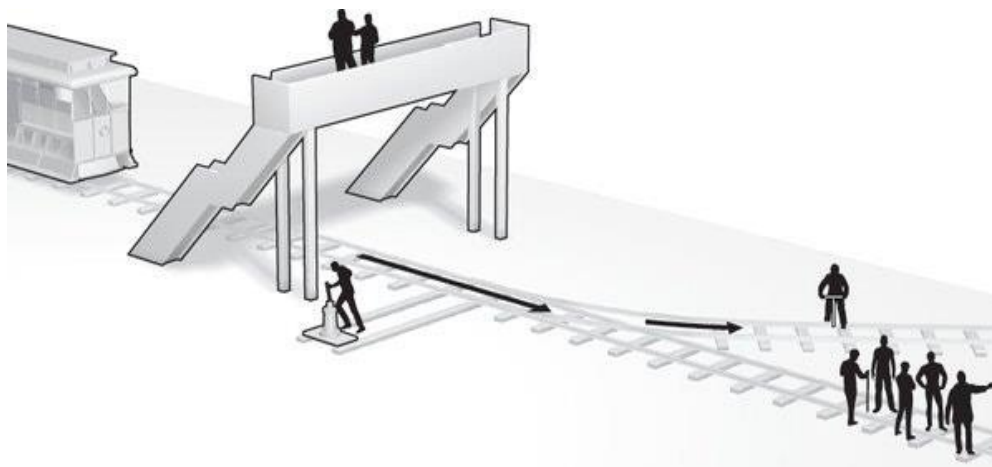


Figura 3.13 – The Trolley Problem (Frank O'Connell) (New York Times@2013).

Este dilema como seria de esperar, divide opiniões, e ainda que tenha sido formulado há mais de 50 anos, encontra-se ainda hoje bastante presente, mais agora devido aos VA's e às tomadas de decisão que terão de ser efetuadas pelo sistema dos mesmos. Um pouco na sequência deste dilema, em 2014, o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) desenvolveu uma experiência designada por “*Moral Machine*” que apresenta vários cenários possíveis, em que é abordada a decisão sobre o valor da vida humana semelhante ao “*The Trolley Problem*”.

A título de exemplo, é possível observar na Figura 3.14, dois dos vários casos apresentados pelo MIT neste estudo, ilustrando aqui a necessidade de chegar a um método relativamente às tomadas de decisão por parte dos VA's. Muitas são ainda as dúvidas sobre este tópico. Poderá o veículo decidir sozinho numa situação extrema como as aqui apresentadas? Será o fabricante a predefinir? Ou cada proprietário poderá escolher dentro de cenários pré-programados no veículo?

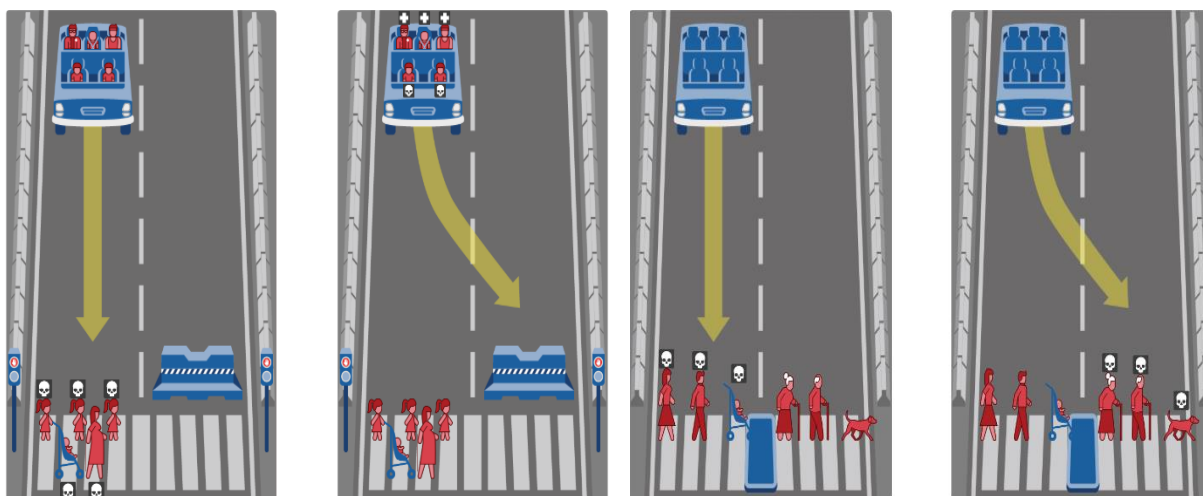


Figura 3.14 – Exemplos de decisão para veículos autónomos (MIT@2014).

Estas perguntas tornam-se ainda mais relevantes quando se tem em consideração que indivíduos diferentes seguem linhas de ética diferentes com fontes de morais distintas, quer seja a Ética Cristã, a Ética Kantiana ou outra e que em última instância podem levar a decisões também elas muito diferentes.

Uma possível resposta, mencionada em alguns artigos é o Utilitarismo, uma das vertentes do Consequencialismo. Esta linha, defendida por nomes como David Hume, Jeremy Bentham e o mais conhecido John Stuart Mill, através do Princípio da Utilidade, visa considerar corretas as ações suscetíveis de produzir a maior felicidade possível, ou segundo o Utilitarismo Negativo, a menor quantidade de infelicidade possível. Para isso, é assumida que a utilidade das pessoas envolvidas neste tipo de situações é igual, usando assim a abordagem utilitarista, levando a direção dos VA's para a trajetórias com menos fatalidades (Pickering, Podsiadly and Burnham, 2019).

No entanto, este tipo de decisão leva este tema em duas direções, ambas a serem ainda alvo de muitas considerações num futuro próximo. A primeira encontra-se relacionada com a responsabilidade legal (ver 3.5.3), que assim passaria para a esfera dos fabricantes e a segunda que se prende com a opinião pública (ver 3.5.6), uma vez que indivíduos que não se identifiquem com o Utilitarismo podem optar por não adquirir um destes veículos, visto que lhes tira a liberdade de decisão.

3.5.5 Cibersegurança

Neste documento, mencionado na subsecção 3.4.2, encontra-se um dos principais possíveis benefícios da introdução dos VA's nas estradas, sendo ele a diminuição da sinistralidade, o que por outras palavras se pode traduzir por um aumento de segurança rodoviária. Sendo aqui a palavra-chave segurança, torna-se imperativo perceber que esta terá também agora outro ramo a si associado, a cibersegurança. Em subsecções anteriores (3.3.1) foram apresentados os tipos de conexão dos veículos quer entre si, quer à rede o que torna facilmente perceptível que pelo facto de deixarem de funcionar individualmente e passarem a funcionar como um grupo, associado à tecnologia incorporada nos mesmos e aos crescentes ataques informáticos no mundo digital, os VAC's são um claro alvo e se não forem devidamente protegidos podem ter consequências catastróficas pondo mesmo em causa o potencial aumento da segurança rodoviária.

A título de comparação, em termos de vulnerabilidade, é expectável que os VAC's tenham cerca de 100 milhões de linhas de código na sua programação, enquanto que por exemplo sistemas operativos com o Windows Vista têm apenas 40 milhões de linhas e 905 vulnerabilidades conhecidas pela *National Vulnerability Database* (NVD) (Sheehan *et al.*,

2019). Na Figura 3.15 é possível verificar alguns dos principais riscos de segurança a que os VAC's estão sujeitos (McAfee@2018).

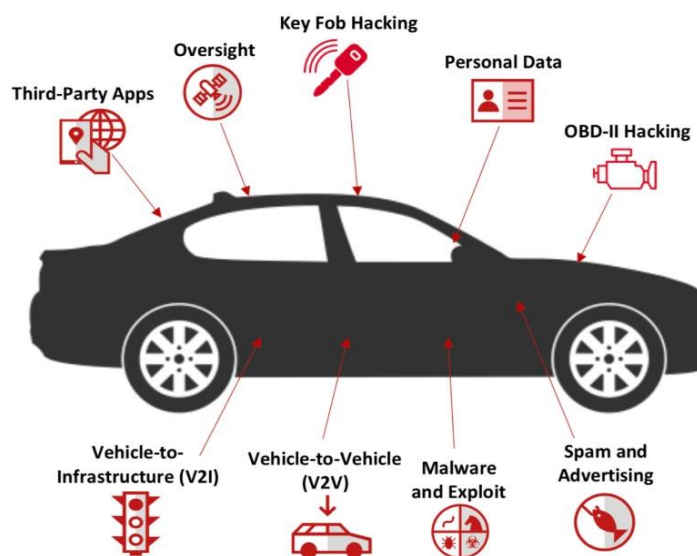


Figura 3.15 – Principais alvos de ataques informáticos (McAfee@2018).

Ainda no mesmo artigo publicado pela McAfee, a empresa de software de segurança dá vários exemplos destes riscos, como o roubo de dados pessoais, uma vez que estes veículos podem ser conectados a dispositivos externos tal como *smartphones*, que atualmente são portadores de bastante informação confidencial, bem como a sua capacidade de detetar rotinas nas movimentações dos proprietários.

Outra forma de ataque é através da ligação de um aparelho externo à porta OBD-II (*On-Board Diagnostic Version 2*), uma vez que esta tem acesso direto ao CAN (*Controller Area Network*), torna-se assim possível dar ordens aos veículos de forma remota, ordens essas que podem afetar gravemente a *performance* do veículo ou até mesmo deixá-lo aberto, passível de ser furtado. De forma a compreender melhor o perigo apresentado neste ponto, é importante destacar que o CAN, comunica diretamente com a ECU (*Electronic Control Unit*), unidade essa que opera vários sistemas desde portas, transmissão, travões e motor.

Um exemplo deste tipo de ataques foi apresentado na *Black Hat USA 2015*, quando Charlie Miller e Chris Valasek explicaram como conseguiram executar um ataque informático remoto a um Jeep Cherokee. Neste caso, a porta de entrada usada foi o sistema multimédia do veículo, ao qual foi obtido acesso a partir de uma ligação *Wi-Fi*. Com o objetivo de ter controlo total sobre o veículo, foi tentado de seguida o acesso ao CAN, no entanto o sistema de multimédia não se encontra ligado diretamente a este. Ainda assim, essa ligação foi conseguida através de um outro componente que serve de “ponte de ligação” entre os dois (Kaspersky@2015).

Este episódio levou a que a Fiat Chrysler efetuasse uma chamada de 1,4 milhões de veículos à fábrica por serem considerados alvos de ataques perigosos (CNN Business@2015). Ainda na mesma notícia, é feita referência, como seria expectável ao facto de a partir do momento em que este acesso seja conseguido por parte dos *hackers*, os mesmos “*podem cortar travões, desligar o motor, despistar o veículo ou descontrolar toda a parte eletrónica*”.

Outro exemplo é o *malware*, algo bastante comum, mas ainda assim desconhecido para muitos. “*Malware, ou software malicioso, é um termo geral que descreve qualquer programa ou código malicioso que seja prejudicial aos sistemas.*” (MalwareBytes@2020). Ainda de acordo com esta empresa de segurança informática, apesar de não ter capacidade de danificar o *hardware*, o *malware* pode roubar ou apagar dados, alterar funções nucleares do sistema ou mesmo espiar sem que o utilizador tenha conhecimento. Sabendo isto, e o perigo apresentado para os VAC’s, em 2016, investigadores de segurança da McAfee demonstraram como se pode ver na Figura 3.16, um exemplo de *ransomware* onde o veículo apenas é desbloqueado após ser pago um resgate.

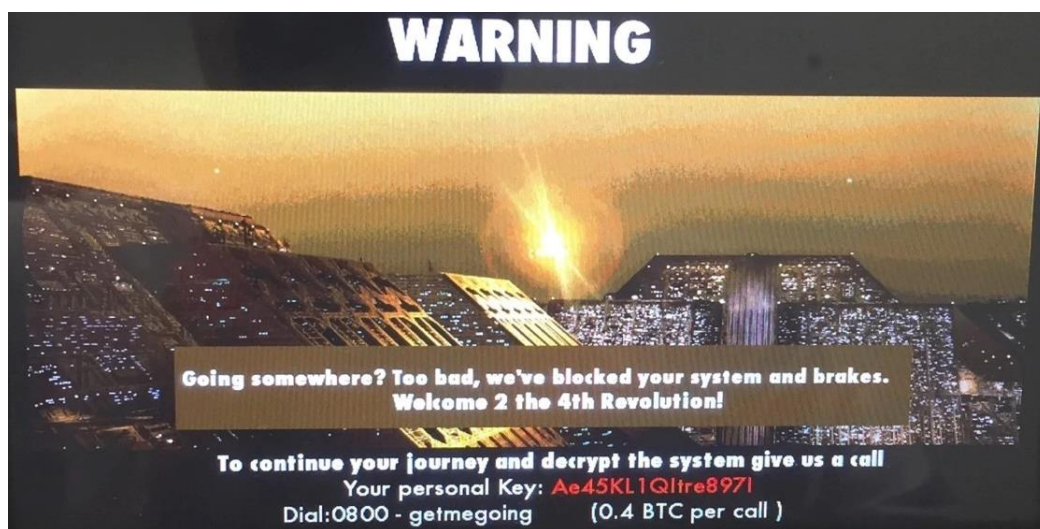


Figura 3.16 – Exemplo de ataque informático executado por investigadores de segurança da McAfee (McAfee@2018).

No entanto, é importante perceber que todos estes problemas levantados não devem servir para descredibilizar a evolução dos VAC’s, mas sim para que sejam corrigidos e solucionados antes dos mesmos saírem para o mercado, com o objetivo de garantir sempre, acima de tudo, a segurança. Neste âmbito, vários esforços têm sido efetuados, como por exemplo, por parte da empresa Critical Techworks, resultado de uma parceria entre a BMW Group e a portuguesa Critical Software, que funciona exclusivamente para apoiar a BMW na construção de *software* para os seus VA’s (Critical Techworks@2020).

Por fim, não se pode esquecer que também este tópico está intrinsecamente ligado ao da legislação (3.5.3), aliás, é o próprio Coordenador do Centro Nacional de Cibersegurança (CNS), Lino Santos, que o refere quando diz que *“Particular atenção deve ser prestada ao cumprimento do Regulamento Geral de Proteção de Dados, em assegurar o controlo humano na tomada de decisão e, não menos importante, à robustez e segurança das aplicações. Só uma IA confiável poderá desenvolver a nossa sociedade.”* (Santos, 2020).

3.5.6 Opinião Pública

Um aspeto fundamental que irá determinar o sucesso ou insucesso dos veículos autónomos será a opinião pública, ou seja, a aceitação dos mesmos por parte da população. Como é sabido, qualquer possível mudança, quer seja benéfica ou não, tem sempre um período de adaptação muito dependente também do impacto socioeconómico que a mesma poderá trazer. Um estudo efetuado em Austin, Texas, EUA analisou as respostas dadas num inquérito *online* por 347 habitantes da cidade e chegou à conclusão que a aceitação destes novos sistemas é razoavelmente boa por parte dos cidadãos, sendo o maior benefício esperado a diminuição da sinistralidade e a maior preocupação as possíveis falhas técnicas dos equipamentos (Bansal, Kockelman and Singh, 2016). De notar, contudo, alguns notas adicionais, já que se trata de uma amostra de pequena dimensão, tendo em conta que Austin conta com um universo de 964 254 habitantes (estimativa de 2018), agravada pelo facto do inquérito ter sido *online* e, portanto, podendo não ser representativo da população. Refira-se ainda que o benefício e preocupação identificados podem entrar em contradição entre si, na medida em que, se assumirmos o nível mais avançado de automação (SAE 5), as falhas no equipamento aumentam a possibilidade de acidente, já que neste tipo de veículos o condutor não tem qualquer tipo de controle manual sobre o mesmo.

Outro ponto no que diz respeito à opinião pública e que tem também sido bastante abordado ultimamente é a redução do número de veículos privados com base na aceitação dos novos sistemas de mobilidade, sendo geralmente associadas a esta redução várias vantagens como a redução do tráfego e consequentemente das emissões de gases como explicado em (Menon *et al.*, 2019). No entanto, e como já referido anteriormente, também neste ponto há vários autores que discordam, sendo um dos argumentos, que com a redução de custos e a maior facilidade de transporte, cada vez mais pessoas adiram a estes novos meios, chegando a um ponto em que o número de viagens começa novamente a aumentar e com isso as empresas terem que alargar as suas frotas, o que em última análise pode pôr em risco um dos maiores benefícios inicialmente apresentados, sendo ele a diminuição do congestionamento.

Em adição, os autores do artigo levantam ainda questões pertinentes que parecem muitas vezes passar em claro em muitos outros estudos, sendo esta não apenas a aceitação dos sistemas em

si, mas a aceitação com base na localização da habitação, uma vez que como seria de esperar, a percentagem de opiniões favoráveis é variável quando é feita a mudança dos inquéritos de meios urbanos para as suas zonas envolventes.

3.6 Período de Transição – Distribuição de Bens e Serviços

Uma vez revistos alguns dos potenciais benefícios e também alguns dos maiores obstáculos e condicionantes, é possível inferir que a componente tecnológica associada ao desenvolvimento dos VAC's e a sua evolução tenderão a não constituir o maior entrave à sua entrada ao serviço no sistema de transportes. É previsível que o maior entrave deverá provir do ambiente construído, ética e legislação, abrindo assim portas a que numa primeira fase, e com as mudanças legislativas necessárias, existam VAC's a circular sem passageiros, dando assim também oportunidades a empresas de testarem os mesmos nas suas frotas de distribuição. Na verdade, esta mesma ideia foi já testada nas ruas de Ann Arbor, Michigan, EUA. Nesta parceria entre a Domino's e a Ford, o veículo usado para a distribuição de pizzas, um Ford Fusion Hybrid (Figura 3.17), apesar de autónomo, foi operado por um engenheiro acompanhado por investigadores numa tentativa de recolherem informação sobre a opinião dos consumidores e sua interação com o veículo (Fox News@2016). Na sequência deste teste, a mesma empresa anunciou também uma parceria com a Nuro, onde irá eliminar por completo a ação humana no veículo e levar o teste para a versão totalmente autónoma (Forbes@2019), sendo este efetuado na zona de Houston, Texas, EUA. O veículo usado, Nuro R2 (Figura 3.17), é limitado a uma velocidade de 40 km/h e encontra-se também em testes por parte da empresa de retalho Kroger em Houston e Scottsdale, Arizona, EUA. Em todos os casos, o cliente apenas pode aceder à encomenda após inserir um código no veículo.



Figura 3.17 – Ford Fusion Hybrid e Nuro R2 (Forbes@2020).

3.7 Considerações Finais

Ainda que não seja uma tecnologia recente, algo facilmente verificado através dos inúmeros projetos ao longo dos últimos anos, não é ainda capaz de ser comercializada à escala global. Isto deve-se a vários aspetos apontados neste capítulo, tais como, num plano mais abstrato, as suas implicações legais e morais e num plano mais concreto, as limitações impostas quer pela tecnologia, quer pelos desenhos das redes rodoviárias em que os VA's terão de circular.

É assim possível deduzir alguns pontos bastante pertinentes através da revisão bibliográfica apresentada. Facilmente se percebe que uma quantidade significativa dos sistemas que poderão trazer reduções de sinistralidade e com isso maior segurança rodoviária não são exclusivos dos VA's, podendo ser aplicados em veículos convencionais, algo já encontrado no mercado e que pode, a médio e longo prazo trazer claros benefícios, provando que as melhorias que tanto se esperam poderão não demorar o tempo inicialmente previsto, não necessitando assim da chegada em pleno dos veículos totalmente autónomos (Nível de Automação - SAE 5).

Legalmente, muito existe ainda por compreender, no entanto deve ser feito um esforço para que os pacotes de medidas sejam utilizados para facilitar a entrada dos VA's no mercado e não uma tentativa de imposição do mesmo, sendo esta última por vezes uma tentação que poderá trazer efeitos negativos para o sucesso dos mesmos, visto estar intrinsecamente ligado à aceitação por parte dos consumidores. Assim, uma imposição do produto poderá levar a uma certa animosidade dos mesmos em relação a este tipo de sistemas. Já fisicamente, e sendo que alguns meios maioritariamente rurais, principalmente em atividades agropecuárias ou florestais em zonas de difícil acesso, mas também em partes urbanas, os VA's não se adaptarem facilmente poderá existir um entrave adicional para uma grande parte dos potenciais utilizadores. É ainda necessário ter presente a ideia que apesar destas restrições físicas se aplicarem aos VA's atuais, as mesmas poderão aplicar-se também para os futuros, existindo assim a possibilidade de ser criada uma barreira maior entre os meios urbanos e os rurais do que a já existente.

4. ESTUDO DE CASO – EXPANSÃO DO SISTEMA DE MOBILIDADE DA CIDADE DE COIMBRA

4.1 Introdução

A melhoria das condições de mobilidade é um desafio constante, sendo por isso necessário que exista uma procura, também ela constante por melhores soluções, a nível de qualidade de serviço e segurança oferecidos, e que sejam ainda o mais otimizadas possível. Enquanto que em cidades de grandes dimensões, proceder a alterações nas suas redes de mobilidade possa ser um trabalho árduo e de difícil execução e gestão, em cidades de média e pequena dimensão, esta tarefa deve ser igualmente bem planeada, de forma a garantir a sua eficiência, quer no curto quer no médio e longo prazo.

Assim, e após a alargada recolha bibliográfica apresentada nos capítulos anteriores, optou-se por testar a aplicabilidade dos conceitos apresentados, diretamente num estudo de caso real, tendo-se optado pelo sistema de mobilidade da cidade de Coimbra. Para o efeito, é feita uma breve caracterização do mesmo, e propostas ações de melhoria que permitam mitigar as falhas identificadas, nos diferentes subsistemas de transportes. Mais do que apresentar uma solução detalhada e acabada, considerou-se que, dada a limitação temporal desta investigação, o trabalho deveria incidir maioritariamente na definição de uma estratégia global e integrada para aplicação ao sistema de transportes local, a um nível macro, optando-se apenas por detalhar um número muito limitado de soluções específicas.

4.2 Caracterização e Diagnóstico do Sistema de Mobilidade em Coimbra

Situada na zona Centro de Portugal (Figura 4.1), Coimbra conta com 134 166 habitantes distribuídos por uma área de 319 km² (PORDATA@2020), apresentando assim uma densidade populacional de 420,6 hab/km², sendo estes, valores que justificam uma rápida ação nos seus sistemas de mobilidade devido à sua dimensão ainda pouco expressiva. Coimbra beneficia ainda de uma boa localização geográfica, a aproximadamente 50 km do porto marítimo da Figueira da Foz e ocupando uma posição bastante central entre as duas grandes áreas metropolitanas do país, Lisboa e Porto, reúne assim boas condições para que possa, no futuro, tonar-se também ela o centro de uma nova grande área metropolitana, a terceira do país. Assim, pretende-se que as expansões propostas ao sistema de mobilidade urbana de Coimbra, no âmbito do presente estudo funcionem, acima de tudo, em harmonia com as ligações externas às cidades vizinhas, forçando assim a existência de uma rede de mobilidade mais coesa, integrada e que potencie o desenvolvimento de Coimbra e da região Centro.

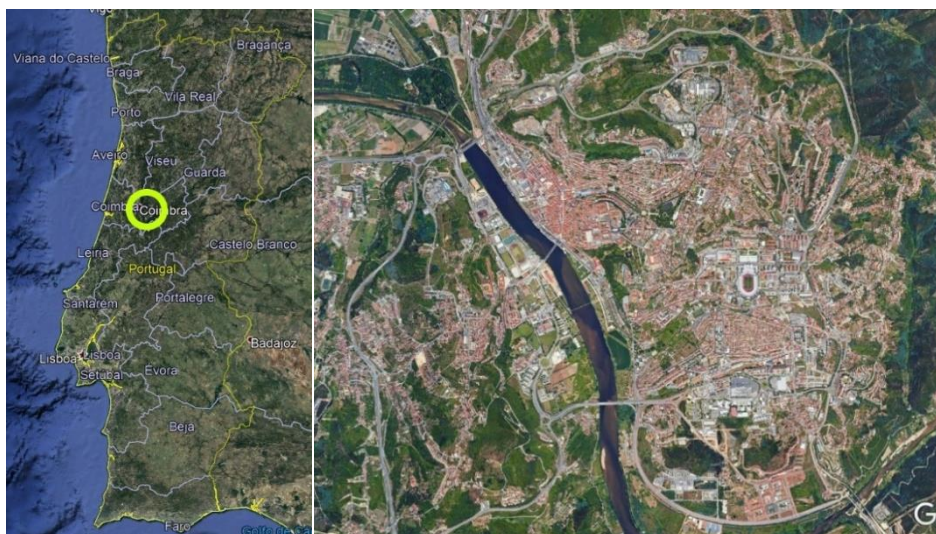


Figura 4.1 – Localização e vista aérea da cidade de Coimbra (Imagens Adaptadas do Google Earth).

4.2.1 Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC)

A rede de transportes públicos a cargo dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra é, de momento, constituída por 94 linhas distribuídas por serviço urbano e suburbano como ilustrado na Figura A.1 do Anexo A. Coimbra não fica de fora da crescente onda de preocupação ambiental, tendo em 2017, aliando esta temática a uma vertente turística, aberto a linha do Botânico realizada por miniautocarros híbridos e em 2018 adquirido para a sua frota, 10 novos autocarros elétricos, (Figura 4.2) (SMTUC@2020). No entanto a ligação da cidade à mobilidade elétrica não fica por aqui e tão pouco é recente. A 1 de janeiro de 1911, Coimbra inaugurou a instalação de tração elétrica para 3 linhas, Estação Velha – Alegria, Estação Nova – Alta e Estação Nova – Santo António dos Olivais. De notar que em 2007, Coimbra era a única cidade da Península Ibérica com uma rede de transportes urbanos deste tipo, sendo à data composta por dezasseis troleicarros (Figura 4.2) que percorriam 27,4 km da rede, sistema esse que ainda se encontra em funcionamento.

Apesar dos esforços evidenciados nos últimos anos, de investimento na renovação da frota de autocarros, e da recente expansão da rede à zona sul da cidade, verifica-se que, a rede de transportes dos SMTUC não cobre a totalidade da área territorial do concelho, atribuindo essas zonas ao serviço de operadores privados. Essa situação que se manteve após o processo de descentralização dos transportes do governo central para a esfera da administração local gerou situações discriminatórias entre a população, as quais continuam a pagar mais por piores serviços. Segundo estudo recentemente apresentado pela Universidade de Coimbra (UC) (Diário de Coimbra@2020), da responsabilidade da Prof. Paula Santana da Faculdade de Letras

da Universidade de Coimbra, mais de 60% da população residente nos espaços suburbanos, consideram que os transportes públicos não têm qualidade e devem merecer fortes melhorias.



Figura 4.2 – Autocarro elétrico BYD K9UB-DW e Troleicarro Solaris Trollino 12 (SMTUC@2020).

4.2.2 Modos Ativos

Em termos pedonais, Coimbra com um sistema bastante razoável, com uma boa oferta de locais de lazer e socialização servidos por bons acessos. No entanto algumas falhas necessitam de ser apontadas, como a zona da baixa da cidade, que com uma boa e planeada requalificação, e com políticas e estratégias de recuperação do comércio, tem, através do seu desenho, um grande potencial para se tornar numa zona ainda mais utilizada por peões. Na rede, também algumas falhas são evidentes, como problemas de continuidade quer longitudinais quer transversais (atravessamentos), sendo o último agravado pelo incumprimento de algumas passadeiras no que diz respeito ao seu rebaixamento previsto no Regime Jurídico da Acessibilidades.

No que diz respeito à rede ciclável, ilustrada na Figura 4.3 (retirada do PEDU de Coimbra datado de novembro de 2017), Coimbra encontra-se neste momento a expandir a mesma, pretendendo atingir os 18,4 km (CMC@2020), na sua ligação entre Coimbra B e a Portela seguindo pela Av. Marginal até à Ponte do Açude a partir da qual se duplica pelas duas margens, um dos troços através da Av. Cidade de Aeminium (que se encontra em requalificação à data de escrita desta dissertação), seguindo junto à baixa da cidade pela Av. Emídio Navarro, fazendo depois a conexão com o Parque Manuel Braga e consequentemente com o Parque Verde. O segundo ramo efetua a travessia do rio, seguindo pela Av. de Conímbriga, Parque da Canção e fazendo de novo o atravessamento do rio pela Ponte Pedro e Inês, efetuando assim novamente a ligação ao traçado da margem direita.

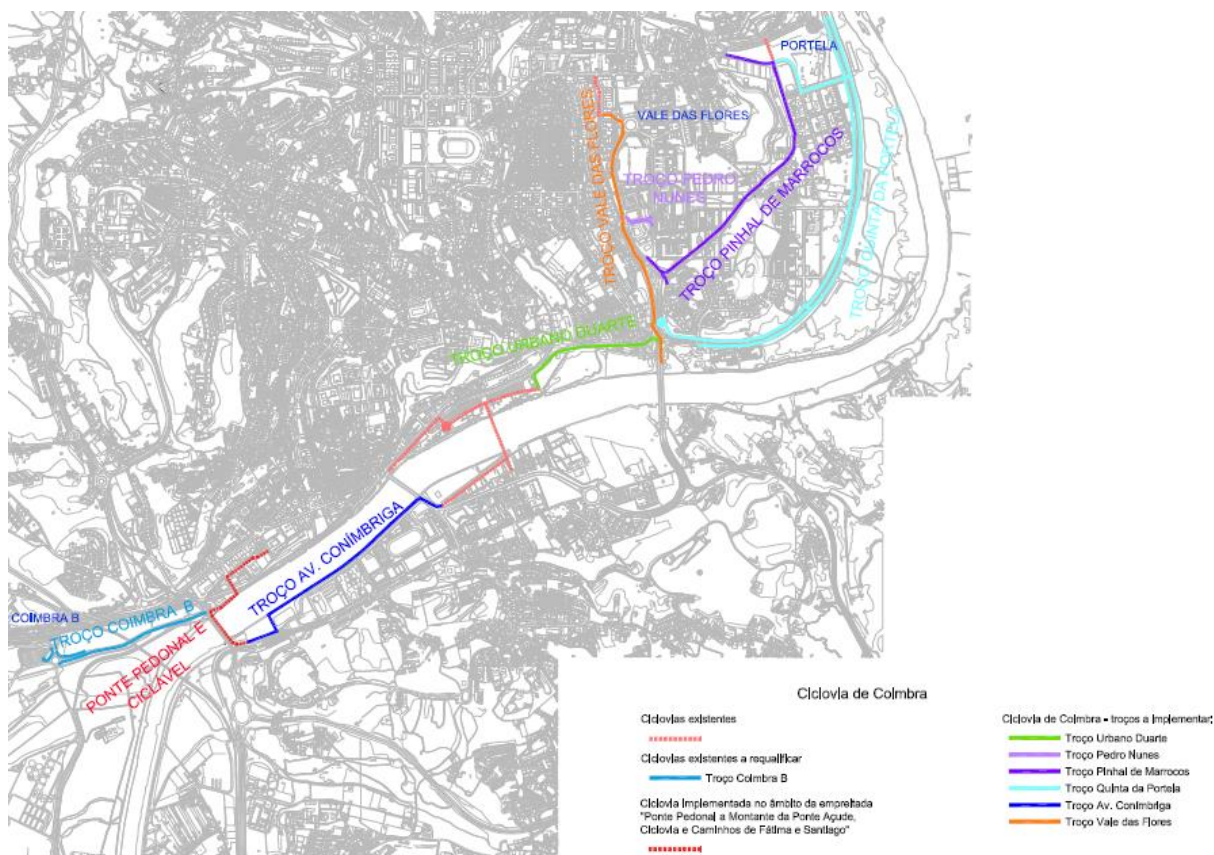


Figura 4.3 – Resumo geral do traçado de ciclovias de Coimbra (PEDU CMC, 2017).

A partir deste ponto de confluência, o traçado segue pela Av. Cónego Urbano Duarte até à Rotunda da Boavista, de onde saem mais dois troços, sendo o primeiro o Troço do Vale das Flores que segue pela Av. Mendes Silva fazendo posteriormente a conexão com a ciclovias já existente no Vale das Flores e pelo meio servindo o ISEC (Instituto Superior de Engenharia de Coimbra), o Conservatório de Música de Coimbra e a Escola Secundária Quinta das Flores através do Troço Pedro Nunes e com o Troço Pinhal de Marrocos que segue pela Rua Pedro Hispano, servindo o ITeCons (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade) e o Instituto Pedro Nunes, entrando na Urbanização Quinta da Portela fazendo no fim desta, ligação com o segundo troço que sai da Rotunda da Boavista, o Troço Quinta da Portela que passando ao longo da Av. da Boavista, serve o Pólo II da Universidade de Coimbra, a Escola de Hotelaria e faz, no fim desta avenida, ligação ao futuro interface do Sistema de Mobilidade do Mondego da Quita da Ponte (Ceira). Em complemento da rede de ciclovias é também necessária a implementação de postos de estacionamento de bicicletas, sendo que neste campo, segundo a Câmara Municipal de Coimbra (CMC) foi aprovado um anteprojecto em novembro de 2018 e cuja planta se encontra na Figura B.1 do Anexo B, que contempla a criação de 80 postos de estacionamento, dos quais 1/3 ficarão a menos de 50 m da rede de ciclovias e os restantes 2/3 distribuídos por polos de geração

/atração de viagens como hospitais, faculdades e escolas, centros de comércio e serviços, equipamentos desportivos e pontos de articulação com modos de transporte público. Com esta implementação de postos de estacionamento pretende-se fomentar a integração de lógicas multimodais do tipo Bicicleta/Transporte Público ou Bicicleta/Transporte Público/Pedonal.

Apesar de Coimbra começar a dar os seus primeiros passos na cultura da mobilidade ciclável, verifica-se que a rede existente e planeada, se limita a responder a atividades de lazer e de desporto, sem apresentar um contributo para a tão desejável e indispensável transferência modal.

4.2.3 Sistema de Mobilidade do Mondego (SMM)

O futuro Sistema de Mobilidade de Mondego, primeiro sistema de MetroBus a ser implementado em Portugal, irá ser composto, nesta fase inicial, por duas linhas, a Linha da Lousã (designada nesta dissertação por Roxa em espaço urbano) e a Linha do Hospital (Amarela), representadas na Figura 4.4, num projeto com investimento de 85 milhões de euros e que irá contar com uma frota de 35 veículos elétricos como resposta a uma procura de 13 milhões de passageiros por ano (IP@2020). A rede terá uma extensão de 42 km, sendo 12 km de troço urbano com via dupla e uma velocidade máxima de 50 km/h e 30 km de troço suburbano com via única em canal dedicado e vedado à intrusão por barreiras com controlo eletrónico e uma velocidade máxima de 60 km/h. A Linha Roxa, a mais extensa das duas, é a única a ter serviço urbano e suburbano. O primeiro efetua a ligação entre Serpins, Lousã, Miranda do Corvo e Coimbra, sendo o Alto de São João o seu ponto de entrada em serviço urbano. Uma vez presente em meio urbano esta linha caracteriza-se por servir zonas de escolas, comércio e serviços, e densamente povoadas terminando na estação ferroviária de Coimbra B. Durante o seu trajeto, cruza com a Linha Amarela na Estação Aeminium/Loja do Cidadão, linha essa que pretende servir zonas como a Câmara Municipal, comércio como o caso do Mercado D. Pedro V e Praça da República, servindo também os Hospitais da Universidade de Coimbra (HUC), Hospital Pediátrico e o Pólo III da UC.

Tratando-se de um sistema em fase de implementação, ainda não é possível avaliar o nível de desempenho assegurado e, em particular, testar a sua capacidade para uma efetiva transferência modal. Apesar disso, é desde logo identificável o facto do Pólo I da UC não ser servido diretamente pelo sistema, embora represente um dos maiores polos de atração de viagens da cidade, a par dos HUC. Essa lacuna sublinha a necessidade de ser previsto um meio mecânico de suporte às escadas monumentais de forma a facilitar a ligação pedonal entre a Praça da República, onde será localizada a paragem mais próxima e o Pólo I da UC.



Figura 4.4 – Rede prevista do Sistema de Mobilidade do Mondego com linha suburbana destacada a azul.

4.3 Visão Global sobre o Sistema de Mobilidade Urbana

4.3.1 Princípios Estratégicos Gerais

Neste ponto apresentam-se algumas propostas de intervenção no sistema de mobilidade urbana atual da cidade de Coimbra, as quais, na sua globalidade tenderão a conferir uma maior coerência e funcionamento ao sistema. Essa proposta global assenta na necessidade de se promover os conceitos de multi e intermodalidade, e no princípio geral de que todos os modos de transporte assumem uma função imprescindível no sistema global, numa ótica de complementaridade entre si, onde a título de exemplo pode ser usado o caso da MobiCascais. Definido como um “sistema integrado de gestão da mobilidade sustentável em Cascais, este sistema assenta numa plataforma integradora de vários operadores de serviços de transporte e numa rede de infraestruturas e equipamentos, visando oferecer um conjunto diversificado e flexível de soluções de mobilidade e de serviços que vão ao encontro das necessidades dos habitantes, trabalhadores, empresários e visitantes do concelho” (Augusto, 2017). Conta com objetivos estratégicos como promover a mobilidade enquanto serviço (MaaS – *Mobility as a Service*), ou seja a utilização do transporte coletivo e da mobilidade suave, potenciando a utilização do comboio como principal modo de transporte coletivo estruturante, complementando a atual oferta de transporte coletivo rodoviário, integrando e articulando a

política de estacionamento na estratégia de mobilidade sustentável e gerindo de forma integrada e em tempo real a procura e a oferta dos diferentes modos de transportes e serviços.

No caso de Coimbra, desde logo, os modos ativos devem ser os modos privilegiados para responder às viagens de curta distância, as quais deverão ser complementadas por um bom serviço de transportes públicos que deverão ser de fácil acesso e cobrir com qualidade, todo o espaço urbano. Nos espaços suburbanos e periféricos onde impera a habitação dispersa, o sistema de transportes públicos, por razões de sustentabilidade económica, tenderá a limitar-se aos serviços essenciais, assentes em grande medida nos transportes escolares. Nestes espaços, o veículo individual tenderá a manter-se no topo das preferências, devendo, contudo, serem criadas infraestruturas de apoio, que convidem os utilizadores a largar o seu veículo, em segurança, às portas da cidade, e a usarem os transportes públicos, que deverão assegurar um serviço frequente e de qualidade a estes espaços de intermodalidade.

Esta visão global deverá assentar na criação de pontos focais de extrema importância para a cidade e para a alteração do paradigma da mobilidade na mesma. A Estação Aeminium, funcionando como uma central intermodal que garante a integração entre os vários modos de transporte urbanos, designadamente o MetroBus com os SMTUC e os suburbanos, e Coimbra B, onde deverá ser criada uma verdadeira estação intermodal, que assegure a interligação entre os serviços urbanos, regionais e nacionais, assim como com todos os modos alternativos disponibilizados, designadamente entre os ferroviários, rodoviários e suaves.

4.3.2 Promoção dos Modos Ativos

Nesta subsecção, são deixadas recomendações para que a par do incentivo aos modos ativos, não seja esquecido o investimento nas redes pedonal e ciclável, uma vez que sem melhorias no sistema, a mudança de hábitos da população será muito reduzida ou nula. Assim propõe-se que seja feito um levantamento de todas as falhas na rede, como o exemplo das falhas de continuidade longitudinais e transversais já mencionadas e os incumprimentos para com o Regime Jurídico de Acessibilidades. Também numa vertente mais funcional, um maior planeamento em sistemas de *bike sharing* ou *e-scooters* é recomendado, uma vez que um aumento isolado na extensão de ciclovias, ainda que seja fundamental, sem o paralelo investimento em plataformas de multimodalidade e intermodalidade pode beneficiar mais a componente turística do que os utilizadores do dia-a-dia.

4.3.3 Centrais Intermodais Aeminium e Coimbra B

Para que exista um bom sistema de mobilidade, é necessário que além da indispensável boa gestão do mesmo, existam equipamentos capazes de lhe oferecer o apoio necessário. Assim, é reconhecido nesta dissertação que, tendo em conta a dimensão da cidade de Coimbra, e fazendo um aproveitamento dos equipamentos já existentes, é necessária a reconfiguração das estações de Aeminium e de Coimbra B para centrais intermodais. Com o avanço do projeto do SMM e consequente levantamento de carris entre as estações ferroviárias Coimbra A e Coimbra B, importa que esta última se afirme como o principal ponto de ligação da cidade à região, para todos os modos. Assim, deverão ser concentradas em Coimbra B todas as funções de interligação entre os vários modos e serviços, concentrados numa Central Intermodal. Por sua vez, na Estação Aeminium, confluem as duas linhas do SMM, um conjunto alargado de linhas urbanas e uma das principais paragens de serviços suburbanos, pelo que importa garantir que os transbordos entre os sistemas são feitos de forma direta e confortável.

Situada na entrada norte da cidade, a estação de Coimbra B, mantém um potencial de crescimento ao longo dos campos até à Geria, o que permite a construção de equipamentos de apoio que permitirá a desejável e imprescindível intermodalidade funcional.

Uma das questões centrais, será a transferência da central de autocarros, localizada na Av. Fernão de Magalhães, que se mantém sob a gestão de entidades privadas, para Coimbra B. Não menos relevante será assegurar a sua gestão municipal de forma a permitir responder, de forma igualitária, a todos os que a procurarem independentemente de serem operadores privados ou públicos. Com esta alteração, destacam-se dois grandes benefícios: (1) uma maior ligação rodoviária à A1, A14, IP3 e IC2 pelo facto de Coimbra B passar a constituir um ponto de fuga ao congestionamento da Av. Fernão de Magalhães e (2) a melhoria da qualidade do ar e, por inerência, de vida para os moradores locais, uma vez que a retirada dos autocarros da avenida mais congestionada da cidade garantirá uma melhoria do nível de serviço.

Em complemento refira-se que a ligações de todos os subsistemas de transportes ao centro da cidade, seja ao Largo da Portagem, seja à Praça da República/Celas deverão ser assegurados pelo SMM que, por dispor de canal próprio, de prioridade absoluta nos cruzamentos e de uma elevada frequência (5 minutos) deverá assegurar um elevado nível de serviço e fiabilidade e por inerência atratividade. Esta solução crucial para o desenvolvimento urbanístico da zona ribeirinha, deverá ainda potenciar a aproximação da cidade ao rio Mondego, potenciando a criação de espaços de lazer, socialização e de fruição pública, onde deverão prevalecer os modos suaves.

Por fim, também a circulação do tráfego automóvel deverá ser beneficiada, a partir do momento em que sejam criados grandes parques de estacionamento de apoio, do tipo *Park&Ride*, de fácil acessibilidade a partir da rede viária estruturante adjacente. Tal constatação evidencia a necessidade de criação de uma nova ligação rodoviária a norte da estação e que garanta uma ligação direta da estação ao IC2, servindo de alternativa ao congestionado nó da Casa do Sal. Essa ligação poderá ser assegurada através do programado “Anel à Pedrulha”, o qual assume relevância acrescida, nesta função de apoio ao funcionamento da futura estação intermodal de Coimbra. Também o acesso à Circular Externa deverá ser facilitado propondo-se a criação do Túnel da Casa do Sal (Ver secção 4.4).

Adicionalmente aos benefícios na mobilidade motorizada, é expectável que a criação de condições propícias aos modos ativos se traduza no conseqüente aumento de pedestres na zona que poderá provocar um impulso positivo ao comércio, e em particular à restauração, promovendo a vivificação e a socialização, numa zona da cidade que atualmente vive de “costas voltadas” para o rio Mondego



Figura 4.5 – Localização das Estações Aeminium (Sul) e Coimbra B (Norte) (Imagem Adaptada do Google Earth).

4.3.4 Expansão do Sistema de Mobilidade do Mondego

O SMM (Figura 4.6), deverá constituir a estrutura dorsal de todo o sistema de transportes de Coimbra. Por isso não poderá ser perdida a oportunidade de com a sua implementação se fomentar a alteração do paradigma da mobilidade em Coimbra, onde os modos ditos ambientalmente sustentáveis deverão dominar as deslocações urbanas. Para isso deverão ser resolvidas, ou pelo menos mitigadas algumas falhas, que poderão pôr em causa a eficiência de todo o sistema. Identificam-se 3 falhas relevantes que deverão suscitar discussão e sobretudo a definição de soluções mitigadoras: (1) falta de uma ligação rápida e direta dos pontos de entrada (Estação de Coimbra B e Alto de S. João) aos HUC; (2) deficiência no serviço de acesso ao Pólo I da UC; (3) necessidade de aproximação entre as duas margens do Mondego.



Figura 4.6 – Sistema urbano aprovado para o SMM.

No que respeita ao acesso ao Pólo I da UC, considera-se que o elevador junto às escadas monumentais, entretanto em análise pela CMC, constituirá uma medida de apoio absolutamente essencial ao sucesso do sistema. Contudo importa ter noção que se trata de um transbordo adicional, associado a circuitos pedonais extensos, nem sempre compatíveis com as condicionantes associadas a pessoas de mobilidade reduzida. Os pontos seguintes apresentam uma solução de expansão da rede do SMM, a qual, associada a outras medidas apresentadas na secção 4.4, procura colmatar estas três deficiências de base.

Criação da Linha Vermelha (Solum – Coimbra B)

Sendo a zona dos Hospitais, um ponto de grande afluência de tráfego devido aos equipamentos de saúde nela existentes, como os casos do Hospital Pediátrico, Hospital da CUF, IPO, Hospitais da Universidade de Coimbra e várias clínicas/consultórios privados na zona, e sendo ainda os HUC como referido anteriormente, o equipamento de saúde mais importante da cidade e um dos equipamentos de referência a nível nacional, é notório que necessita de bons e rápidos acessos para os seus utentes, mas também para veículos de emergência. Acessibilidade essa que pode ser melhorada a partir da redução do nível de congestionamento na zona envolvente, ponto onde a rede de transporte público, incluindo o SMM poderá ter um papel preponderante. Refira-se que com o sistema previsto cujas viagens a partir de Coimbra B ou do Alto de S. João têm de passar necessariamente pela Estação Aeminium//Loja do Cidadão, com eventual transbordo para a Linha do Hospital, impõe-se demoras significativas, o que poderá afetar a atratividade do sistema.

É proposta a criação de uma nova linha (vermelha) cuja materialização transforma não apenas o Hospital Pediátrico e a Solum em dois pontos de transbordo (Figura 4.7), mas ao assegurar as ligações diretas entre Coimbra B – Hospital Pediátrico – Solum, fecha a malha conferindo

flexibilidade de escolha de trajetos aos utilizadores e a procura de um equilíbrio na escolha das suas viagens com claros benefícios na diminuição de tempos de percurso. Adicionalmente, esta expansão pode ainda ter um impacto significativo na redução de tráfego com destino à zona dos Hospitais, que além de trazer várias melhorias à acessibilidade na mesma, pode também ajudar a mitigar o conhecido problema de falta de estacionamento e que aliado à construção de um possível silo, pode acarretar melhorias bastante significativas nos tempos de viagem via automóvel naquela zona.

Criação da Linha Verde (Exploratório – Fórum)

Sendo a separação entre as duas margens do Mondego um problema conhecido desde há muito, seria expectável que o novo SMM ajudasse a quebrar um pouco esta barreira, no entanto na sua rede prevista, este problema não aparece mitigado, antes pelo contrário, ainda mais agravado. Na tentativa de o minimizar, surge então a ideia da criação da Linha Verde, que acima de tudo pretende, além de servir a margem esquerda, por muitas vezes esquecida, uni-la à margem direita, reduzindo assim a divisão existente e pensando na cidade como um todo. Esta linha (Figura 4.7), com início no Exploratório – Centro de Ciência Viva de Coimbra, fim no centro comercial Fórum Coimbra e paragens no Choupalinho, Parque da Canção, Estádio Universitário, Convento de São Francisco e Av. da Guarda Inglesa onde efetua a conexão com a Linha dos Hospitais, depois de atravessar o Rio Mondego através da Central Intermodal Aeminium (secção 4.4). Além de potenciar a redução do tráfego de atravessamento quer no Açude-Ponte quer na Ponte de Santa Clara, traduz-se ainda na redução dos congestionamentos da Rotunda da Av. João das Regras, quer nas horas de ponta da manhã, quer da tarde, para além de melhorar a acessibilidade ao Fórum Coimbra, e a equipamentos escolares como a Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra, Escola Secundária D. Duarte e EB 2/3 Poeta Manuel da Silva Gaio, desportivos como o Estádio Universitário e culturais como o Convento de São Francisco, Mosteiro de Santa Clara-a-Velha, Quinta das Lágrimas e Exploratório – Centro de Ciência Vida de Coimbra.



Figura 4.7 – Sistema urbano proposto para o SMM.

Possui ainda a particularidade de ter um elevado potencial de expansão para duas novas linhas suburbanas (Figura 4.8). A primeira com a possibilidade de captar utilizadores nas áreas populacionais de Alto de Santa Clara, São Martinho do Bispo, Póvoa, Ribeira de Frades e Taveiro, linha que ainda tem a particularidade de poder servir o Hospital Geral dos Covões e a segunda nas áreas de Carvalhais de Baixo, Antanho, Assafarge, Cernache e Condeixa.



Figura 4.8 – Zonas de possível expansão do SMM (Imagem Adaptada do Google Earth).

- **Extensão da Linha Amarela - Ponte Bimodal (Aeminium – SMTUC)**

A aproximação entre as duas margens do Rio, deverá passar pela criação de novas ligações entre si. Desde logo afigura-se a que a extensão da Linha do Hospital do SMM até à margem esquerda do Rio Mondego, permitirá estreitar essa ligação ao mesmo tempo que assegura a conexão entre a linha verde e a rede principal do SMM (Figura 4.9). Atualmente o PERU (Programa Estratégico de Reabilitação Urbana) para a zona ribeirinha já prevê esta ligação, embora limitada aos modos ativos (Figura B.1 do Anexo B). Assim, considera-se que esta extensão permitirá não só aproximar as margens, mas potenciar um programa de reabilitação urbano que urge promover para desenvolvimento da frente ribeirinha da margem esquerda (atualmente com ARU já delimitada). Esta adaptação ainda em fase de planeamento da ponte ciclável a uma ponte bimodal com capacidade para albergar ciclovias e MetroBus torna-se numa mais valia para a cidade, unindo assim a Estação Aeminium à futura zona ribeirinha de Coimbra.

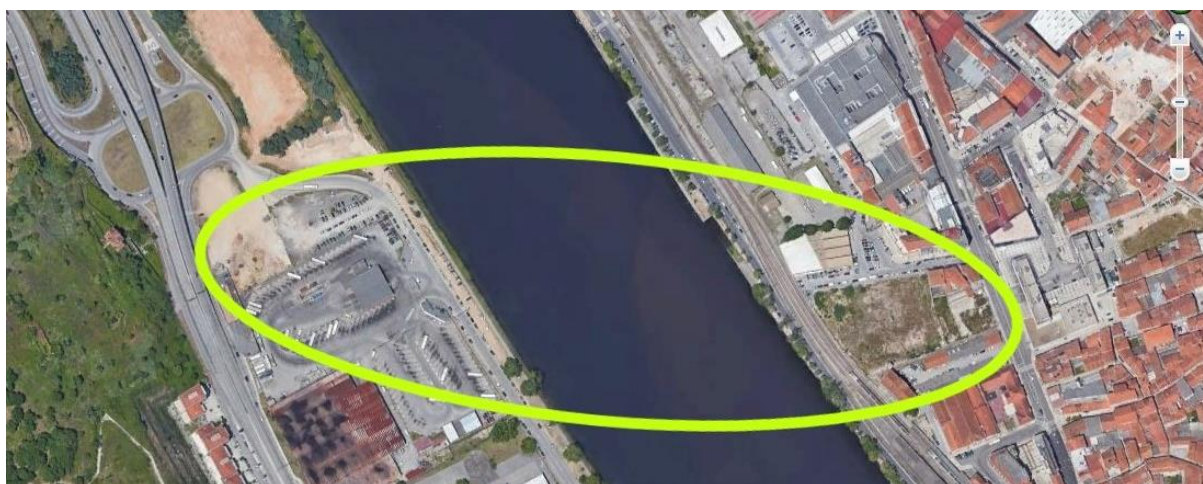


Figura 4.9 – Localização da ponte proposta para a ligação entre Aeminium e a zona ribeirinha (Imagem Adaptada do Google Earth).

Em síntese, no Quadro 4.1 são apresentadas, quantitativamente, as maiores diferenças nos dois sistemas, previsto e proposto.

Quadro 4.1 – Comparação entre os Sistemas Aprovado e Proposto do SMM.

	Sistema Previsto	Sistema Proposto
Linhas	2	4
Extensão [km]	42	50
Extensão Urbana [km]	12	20
Paragens	41	56

4.3.5 A Entrada dos Veículos Autónomos no Sistema de Transportes Públicos

Nesta subsecção propõe-se a criação de dois *shuttles*, com características distintas: funcional e turística. Estas linhas poderão ser inicialmente efetuadas por veículos convencionais, sendo que algo mais inovador pode ser pensado para o futuro, a utilização de VA's, tendo sido bastante frisada nesta dissertação a necessidade da obtenção de mais dados para que sejam possíveis as tomadas de decisão quer a nível legislativo quer para planeamento das próprias cidades. De salientar também o claro benefício de que este serviço de transportes públicos, será o melhor para testar a entrada dos VA's por se tratar de um domínio controlado. Sendo Coimbra uma cidade conhecida pela sua história não só na preservação, mas também na procura de conhecimento, e com a presença de uma instituição como a Universidade de Coimbra que conta com capacidade para o desenvolvimento de protótipos de apoio a estes sistemas, tratando-se assim de uma cidade com enorme potencial para estudos piloto, não poderia ser deixado de parte este tópico. Reconhece-se então a mais valia de que esta pudesse estar por dentro dos testes atualmente feitos ao VA's, voltando a afirmar a sua importância no ensino quer a nível nacional, quer internacional.

Shuttle Coimbra B – HUC

Ainda que a criação da Linha Vermelha proposta anteriormente tenha potencial para resolver a falta de ligação direta atual entre estes dois equipamentos, não é expectável uma aplicabilidade a curto prazo, devido quer aos estudos, quer aos projetos e financiamento necessários. Apesar disso, esta ligação estratégica para a cidade, deve ser seriamente encarada como urgente e prioritária, podendo passar por diferentes fases de investimento. Considera-se que deveria ser avaliada desde já a criação de um Shuttle Hospitalar (Figura 4.10), de carácter funcional que permita a ligação entre a Central Intermodal Coimbra B e a zona dos Hospitais, tirando partido do parque de estacionamento existente e com potencial de crescimento, transformando-o num serviço de *Park&Ride*. Tal ação refletir-se-á na redução do tráfego de entrada na cidade, a Norte pela Rotunda da Casa do Sal, captando simultaneamente utilizadores provenientes da linha ferroviária. Esta medida torna-se agora ainda mais relevante, numa fase em que se anuncia a não construção do silo de estacionamento, previsto há mais de 20 anos, no complexo dos HUC.

Esta linha, com 8,94 km de extensão (já com retorno), teria assim capacidade para servir, à semelhança da Linha Vermelha proposta para expansão do SMM, ainda que com níveis de capacidade completamente distintos, os Hospitais Pediátrico, da CUF e da Universidade de Coimbra, bem como o Pólo III da UC e clínicas de saúde na zona envolvente.



Figura 4.10 – Rota Proposta para o Shuttle Hospitalar com percurso de retorno a amarelo (Imagem Adaptada do Google Earth).

Esta linha tem ainda a hipótese de aumentar o número de utilizadores servidos, bem como obter uma redução significativa do tempo de percurso, com a execução do Nó do Hospital Pediátrico e o Túnel da Casa do Sal (apresentados na secção 4.4), ainda que passe a ter uma extensão de 10 km, com a configuração demonstrada na Figura 4.11. Para isso é fundamental que se trabalhe na salvaguarda de um canal dedicado e com atribuição de prioridade absoluta nas interseções, com particular destaque para o atravessamento do nó da Casa do Sal. A salvaguarda desse canal abre ainda a perspetiva de transformação deste sistema num circuito de veículos autónomos com boa frequência em canal dedicado, que se traduz em claros benefícios em termos de segurança e fiabilidade, aumentado assim a atratividade do mesmo. Esta linha não pode ainda deixar de parte um cuidado planeamento tarifário, uma vez que se trata de uma linha funcional e não turística.



Figura 4.11 – Rota proposta para o Shuttle Hospitalar com percurso de retorno a amarelo após construção do Nó do Hospital Pediátrico (Imagem Adaptada do Google Earth).

Shuttle do Botânico

A segunda linha proposta (Figura 4.12), de carácter turístico, teria também serviço de *Park&Ride*, desta vez fazendo uso dos parques de estacionamento existentes junto ao Exploratório – Centro de Ciência Viva de Coimbra e do Convento de São Francisco. Com 6,88 km de extensão (já com retorno), esta linha, tem a capacidade de servir zonas mais procuradas por turistas como o próprio Convento de São Francisco, Mosteiro de Santa Clara-a-Velha, Parque Manuel Braga, Parque Verde, Jardim Botânico e Pólo I da UC, fazendo assim com que tenha ainda a si associado o valor de servir uma zona considerada Património Mundial da UNESCO. Tem ainda uma vertente vanguardista, sendo mais atrativa para turistas. Algumas variantes desta proposta foram já objeto de estudo por parte da CMC e de alguns trabalhos científicos (Barbeiro, 2012).



Figura 4.12– Rota proposta para o Shuttle do Botânico com percurso de retorno a azul claro (Imagem Adaptada do Google Earth).

Também nesta linha, uma segunda versão é apresentada (Figura 4.13), fazendo uso da inversão de sentidos nas Ruas da Alegria, da Olivença e da Couraça da Estrela, apresentadas na secção 4.4. Esta segunda versão com 6,85 km de extensão e distingue-se da solução anterior, não pela redução da extensão de percurso, podendo essa ser considerada desprezável, mas pelo facto de passar a efetuar ligação direta entre os parques de *Park&Ride* já referidos do Convento de São Francisco e do Exploratório à Central Intermodal Aeminium.



Figura 4.13 – Rota proposta para o Shuttle do Botânico com percurso de retorno a azul claro após inversão de sentidos nas Ruas da Alegria, Olivença e Couraça da Estrela (Imagem Adaptada do Google Earth).

4.4 Proposta de Intervenção na Rede Viária

As intervenções na rede viária da cidade devem ser encaradas como complementares ao bom funcionamento global do sistema, privilegiando uma circulação em torno da cidade, ao invés de através dela. Nesse sentido são aqui apresentadas algumas intervenções pontuais que procuram melhorar a acessibilidade aos parques ou a grandes equipamentos, no sentido de complementaridade ao próprio sistema de transportes públicos, tornando-se mesmo essenciais à entrada dos VA's no sistema.

- **Túnel da Casa do Sal**

O atravessamento da Rotunda da Casa do Sal é indiscutivelmente a maior barreira ao tráfego motorizado da cidade. A elevada afluência de tráfego aliada a um desenho confuso da intersecção leva a que existam, constantemente, elevados níveis de congestionamento. Para encontrar uma solução que mitigue o problema podem ser considerados dois campos de ação, o primeiro passa por uma reformulação do desenho da intersecção (não abordado nesta dissertação) e o segundo por uma redução de parte do tráfego conflituante através da criação de alternativas para os utilizadores. Nesse sentido é proposta a construção de um túnel a começar na Av. Marginal, passando por baixo do Jardins da Casa do Sal e acabando com ligação à Circular Externa como ilustrado na Figura 4.14.

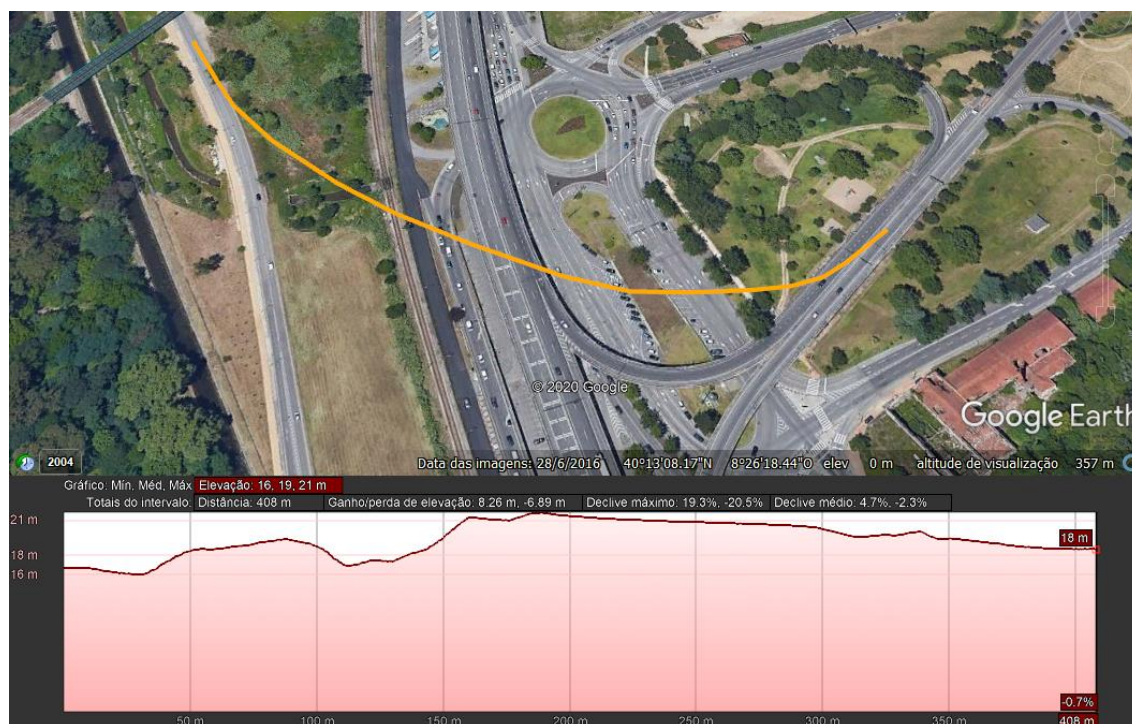


Figura 4.14 – Localização e perfil longitudinal do túnel proposto da Casa do Sal (Imagem Adaptada do Google Earth).

Esta extensão da rede viária, envolve inúmeras vantagens de carácter funcional como o desvio de parte significativa do trânsito proveniente ou com destino à Figueira da Foz e a todos os outros concelhos a Norte/Oeste de Coimbra, bem como o trânsito proveniente da Estrada de Eiras, que em horas de maior afluência de tráfego deixa de ter a necessidade de passar pela Rua Padrão. A nível topográfico, apesar dos erros expectáveis existentes na plataforma de onde os dados foram retirados (Google Earth), é facilmente perceptível que se trata de uma zona com perfil de elevação relativamente constante, sendo que para um conhecimento mais aprofundado dos valores associados seriam necessários estudos geotécnicos no local.

Adicionalmente, esta nova ligação tem a potencialidade de responder ao requisito básico associado à Linha Vermelha proposta para o SMM, e que deverá passar pela criação de canal próprio e de prioridade absoluta nas interseções. Da mesma forma, também o serviço de Shuttle de acesso aos HUC careceria de uma medida desta natureza. Refira-se que, em alternativa, e por envolver custos francamente mais reduzidos, poder-se-ia avaliar apenas o desnivelamento da viragem à esquerda entre a R. do Padrão e a Estrada de Coselhas, a qual, acarretaria igualmente reduções drásticas.

- **Anel à Pedrulha e ligação ao Hospital Pediátrico**

O programado “Anel à Pedrulha”, na sua ligação entre a antiga N111 e a Circular Externa, afigura-se como uma infraestrutura essencial para ligação da futura estação intermodal de Coimbra B a toda a estrutura viária da cidade. Essa ligação poderá ser materializada através do atual nó da Pedrulha com o IC2. Igualmente relevante é completar o seu traçado através da sua ligação direta ao Hospital Pediátrico (Figura 4.15).



Figura 4.15 – Localização do proposto Nó do Hospital Pediátrico (Imagem Adaptada do Google Earth).

A inexistência desta ligação traduz-se numa perda significativa da acessibilidade à zona de Celas e Praça da República. Refira-se ainda que a sua materialização traria claros benefícios à proposta da Linha de Shuttle Hospitalar (Coimbra B – HUC), ao permitir criar percursos alternativos ao atravessamento da Casa do Sal.

- **Inversão de Sentidos nas Ruas da Alegria, Olivença e Couraça da Estrela**

A inversão de sentidos no troço composto pelas Ruas da Alegria, Olivença e Couraça da Estrela, passando a ter a configuração apresentada na Figura 4.16, surge com a intenção de efetuar a ligação entre a Central Intermodal da Aeminium e os parques de *Park&Ride* (Convento de São Francisco e Exploratório) servidos pela linha de Shuttle do Botânico. Esta alteração apresenta ainda outros pontos vantajosos, como eliminar uma subida íngreme da Rua da Couraça da Estrela com um índice de dificuldade acrescido devido ao baixo coeficiente de atrito oferecido pela superfície da mesma, passando esta a ser feita pela Rua da Alegria que conta com um declive bastante menos acentuado eliminando também uma entrada (Rua da Olivença) na rotunda presente na intersecção das Ruas da Olivença, Brasil e Avenidas Emídio Navarro e da Lousã, entrada essa que provoca algum congestionamento, passando assim a funcionar como uma saída da mesma.



Figura 4.16 – Proposta de alteração de sentidos nas Ruas da Alegria, Olivença e Couraça da Estrela (Imagem Adaptada do Google Earth).

4.5 Medidas Complementares

A bilhética integrada pode ser definida como um sistema que permite, entre outras modalidades, o uso de um bilhete/passe único para viajar em um ou diversos modos de transporte disponibilizados por diversos operadores que operem na região. Este conceito que pode ser aplicado a todos ou parte dos operadores pretende tornar as interligações/transbordos entre modos e/ou operadores o mais impercetíveis possível, seja em termos coordenação de horários, seja de custo. A sua materialização colide com uma série de barreiras seja em termos legislativos, técnicos ou concorrenciais, que resultam da complexidade do sistema e das diferenças de contextos, práticas e procedimentos entre os vários operadores de transporte que importa combinar. A par com a falta de uniformização dos sistemas tecnológicos de base, a definição do modelo de negócios e de repartição de receitas entre operadores, tem-se revelado o maior entrave à sua implementação.

Em Coimbra, esta prática não existe, pelo que na maioria das situações, a compra de um bilhete apenas é válida no operador que o emite. Com a entrada em funcionamento do SMM, a introdução da bilhética integrada torna-se central e indispensável, para tornar o transporte multimodal mais atrativo e competitivo. Da mesma forma a integração da informação, centralizada numa só central de controlo, releva-se indispensável ao bom funcionamento do sistema, disponibilizando informação integrada, à distância e a partir de qualquer canto do mundo.

4.6 Considerações Finais

Apresentadas as propostas para o sistema de mobilidade urbana de Coimbra, percebe-se que o mesmo tem um elevado potencial de expansão e de melhoria que além das propostas de maior impacto como a alteração ao SMM ou a construção de Centrais Intermodais da Aeminium e Coimbra B, existem também outras, de menor calibre, que poderão ter um impacto bastante

significativo e positivo a curto prazo, mas que deixam também fundações para planos mais ambiciosos.

Estas propostas assentam, como foi apresentado ao longo do capítulo, em linhas orientadoras que procuram captar um maior número de utilizadores para o transporte público, servindo zonas de elevada densidade populacional periféricas ao meio urbano, seguida pela tentativa da quebra de barreiras entre esse mesmo meio urbano e as zonas suburbanas adjacentes e por último uma tentativa de reduções de tempo de percurso para os vários sistemas de mobilidade, que dependem também de uma redução do congestionamento na rede viária. Num plano mais ambicioso, é necessário perceber que para Coimbra dar voz à potencial criação de uma terceira grande área metropolitana na zona Centro, é necessário que a mesma esteja preparada para tal, e que além dos aspetos socioeconómicos, necessita acima de tudo, de uma boa rede de transportes.

5. CONCLUSÕES

Com o crescimento descontrolado de muitas cidades durante décadas, começa a ser perceptível a preocupação das mesmas em se reorganizarem, sendo as redes de mobilidade a base fundamental dessa mesma reorganização. Assim, muitos são os modos que vão aparecendo, mas também os que se vão reinventando, sendo daqui para a frente o maior desafio dos planeadores urbanísticos, conseguir que todos esses modos coexistam em perfeita harmonia, permitindo que os utilizadores possam usufruir de planos de mobilidade cada vez mais cómodos e que respondam diretamente às suas necessidades. Para isso, a aposta na multi e intermodalidade é cada vez mais central a um sistema eficiente, onde as centrais intermodais representam os seus pontos focais onde se potencia a distribuição dos fluxos associada a um sistema de bilhética e de informação multimodal que permitam o acesso a qualquer meio de transporte e ao seu pagamento, através de um simples clique.

A pandemia de COVID-19 acrescenta também uma variável à mudança no paradigma da mobilidade, tendo sido efetuados estudos durante as quarentenas que indicam um possível aumento da utilização dos veículos automóveis e bicicletas privados em detrimento de transportes públicos e modos partilhados quer no fim das mesmas, quer a curto e médio prazo justificados pela garantia do distanciamento físico necessário.

Assim, no seguimento das mudanças de paradigma na mobilidade, também a consciencialização ambiental tem um papel predominante, com o incentivo aos modos pedonais e cicláveis, mas também através da mudança das fontes de alimentação dos veículos automóveis, como o caso da energia elétrica ou do hidrogénio, que poderá ter um impacto significativamente positivo mas que também ela necessita de um cuidado planeamento das redes de distribuição de energia quer para postos de carregamento de veículos elétricos quer para centrais de produção de hidrogénio.

No entanto, as alterações nos veículos automóveis não se dão apenas nos combustíveis, existindo uma que tem envolvido um maior esforço quer a nível de investigação e desenvolvimento quer a nível financeiro, a automação. Estes esforços devem-se sobretudo à complexidade do tema, envolvendo desde a componente tecnológica, passando pela legislativa, ética e acima de tudo, a segurança. Em suma, os veículos autónomos (VA's) apresentam um grande potencial e são uma descoberta tecnológica que à semelhança da corrida espacial, pode trazer, ainda que indiretamente, inúmeros benefícios para a sociedade. Dentro destes, encontram-se os Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor (ADAS), que pela sua fácil aplicabilidade em veículos convencionais, podem acarretar grande melhorias na segurança

rodoviária permitindo assim aos condutores uma maior perceção do ambiente que os rodeia, incluindo o que se possa encontrar obstruído do campo de visão.

Ainda assim, compreende-se que os sistemas de automação devem ser mais estudados e testados, principalmente em ambiente real de modo a que existam cada vez mais dados que possam ser utilizados quer na sua melhoria quer no planeamento das cidades e acima de tudo para que os mesmos possam funcionar em perfeita harmonia com os veículos convencionais. Quanto aos benefícios trazidos pelos mesmos, talvez apenas seja possível que existam valores mais corretos correspondentes à redução de emissões de gases por força da automação assim que os VA's tiverem uma presença mais forte no mercado, sendo que por um lado, a automação dos mesmos levará a uma otimização da mobilidade, podendo os veículos optarem por rotas mais curtas e menos congestionadas, que na maioria dos casos levará a uma redução de emissões por veículo e que fará uma grande diferença quando somadas as emissões de todos os veículos na rede, sendo que por outro lado essa mesma automação e a consequente perda de necessidade de um condutor poderá levar a que os veículos sejam mais utilizados provocando assim um número elevado de viagens em vazio, efeito negativo que poderá igualar ou até suprimir o efeito positivo da utilização de inteligência artificial no planeamento de viagens. À semelhança deste caso, também na segurança serão necessários mais dados para que possam ser tiradas conclusões, sendo que neste momento apenas podem ser assumidas.

À semelhança do que foi mencionado neste documento, a fase de transição poderá ser iniciada com a utilização deste tipo de veículos para distribuição de bens e serviços ainda que com restrições de cota de mercado, de modo a não ter um impacto tão inesperado no mercado de trabalho.

Relativamente ao estudo de caso apresentado, percebe-se que muito há ainda por fazer no sistema de mobilidade da cidade de Coimbra, tendo esta a vantagem de ser uma cidade de média dimensão, estando assim numa altura crucial para que o seu centro seja transformado num núcleo forte a nível de mobilidade, podendo a mesma expandir-se de uma maneira mais controlada e planeada, tendo sempre o foco mantido na criação de uma terceira grande área metropolitana no país. A acrescer a presença da Universidade de Coimbra, enquanto pólo gerador de conhecimento, representa uma oportunidade, para em parceria com os órgãos de gestão locais, transformar a cidade numa cidade modelo e de experimentação, onde os VA's deverão constituir-se como a alavanca do desenvolvimento do sistema de transportes futuro. Essa pretensão foi apresentada, através da identificação de dois potenciais serviços que, respondendo a objetivos e tipo de procura completamente diferenciados, permitiram evidenciar os claros benefícios da entrada ao serviço deste tipo de veículos, inseridos numa política global de promoção de uma mobilidade urbana, cada vez mais inclusiva e económica e socialmente sustentável. A esta acrescentam-se ainda propostas de expansão do Sistema de Mobilidade de

Mondego, com a adição de duas linhas com capacidade para responder a um elevado nível de procura, bem como atenuar a divisão entre as duas margens, linhas orientadoras e estratégicas e ainda alterações à rede que facilitem não só a implementação dessas mesmas propostas mas também que contribuam para a diminuição do nível de congestionamento.

Mais do que a apresentação de um produto acabado, esta dissertação procurou elencar um conjunto de contributos que, na sua globalidade assegurassem um bom nível de desempenho e de resposta às necessidades dos utilizadores locais, ao mesmo tempo que com intervenções isoladas conferissem uma forte coerência global ao sistema. Considera-se que este trabalho deve ter prossecução, designadamente na avaliação dos seus verdadeiros impactes no funcionamento do sistema de transportes e na avaliação das relações de custo-benefício, tarefas não compatíveis com o curto prazo temporal de desenvolvimento desta dissertação. Esta constatação torna evidente a necessidade de se prosseguir para trabalhos futuros, particularmente centrados na definição de modelos globais ou parciais de microsimulação que permitam avaliar os impactes e por inerência a pertinência ou não das soluções propostas, quer a nível local, quer, e idealmente, na globalidade da cidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M@(2020). Available at: https://www.3m.com/3M/en_US/road-safety-us/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~/-/what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?storyid=021748d7-f48c-4cd8-8948-b7707f231795.

ANA@(2020). Available at: <https://www.ana.pt/en/lis/access-parking/getting-to-and-from-the-airport/kiss-fly>.

ANSR@(2020) *Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária*. Available at: <http://www.ansr.pt/SegurancaRodoviaria/Conselhos/Documents/Fichas/CONDIÇÕES CLIMATÉRICAS ADVERSAS.pdf>.

Ansys@(2019). Available at: <https://www.ansys.com/blog/why-autonomous-vehicles-need-thermal-cameras-flir-ces>.

Arrow@(2018). Available at: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/imu-principles-and-applications>.

Augusto P.N.M (2017) – “O SISTEMA INTEGRADO DE MOBILIDADE MOBICASCAIS” - Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de especialização de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação, Edição FCTUC.

Automonitor@(2016). Available at: <https://automonitor.sapo.pt/2016/03/30/novidades/noticias/onu-autoriza-veiculos-autonomos-na-europa/>.

Bansal, P., Kockelman, K. M. and Singh, A. (2016) ‘Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective’, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Elsevier Ltd, 67, pp. 1–14. doi: 10.1016/j.trc.2016.01.019.

Barbeiro, J.M.A.A (2012) – “Planeamento de um Serviço de Transporte Coletivo com um Veículo Autónomo” - Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Especialidade de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação, Edição FCTUC.

BCG@(2020) *Boston Consulting Group*. Available at: <https://www.bcg.com/publications/2020/how-covid-19-will-shape-urban-mobility>.

Bellet, T. *et al.* (2019) ‘From semi to fully autonomous vehicles: New emerging risks and ethico-legal challenges for human-machine interactions’, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. Elsevier Ltd, 63, pp. 153–164. doi: 10.1016/j.trf.2019.04.004

BMW@(2020). Available at: <https://www.bmw.com/en/innovation/car-sharing-and-shared-mobility.html>.

Borges, B.F.S (2009) – “ ESTRATÉGIAS, POLÍTICAS E MEDIDAS DE APOIO À UTILIZAÇÃO DOS TRANSPORTES PÚBLICOS” - Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente, Edição FCTUC.

Botello, B. *et al.* (2019) ‘Planning for walking and cycling in an autonomous-vehicle future’, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. Elsevier Ltd, 1, p. 100012. doi: 10.1016/j.trip.2019.100012.

Van Brummelen, J. *et al.* (2018) ‘Autonomous vehicle perception: The technology of today and tomorrow’, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Elsevier Ltd, pp. 384–406. doi: 10.1016/j.trc.2018.02.012.

Cairns, S. *et al.* (2017) ‘Electrically-assisted bikes: Potential impacts on travel behaviour’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 103, pp. 327–342. doi: 10.1016/j.tra.2017.03.007.

Calvert, S. C., Shackel, W. J. and van Lint, J. W. C. (2017) ‘Will Automated Vehicles Negatively Impact Traffic Flow?’ Available at: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2017/3082781/> (Accessed: 30 May 2020).

Chatman, D. G. and Moran, M. (2019) *Autonomous Vehicles in the United States: Understanding Why and How Cities and Regions Are Responding*. doi: 10.7922/G2CZ35DZ.

CIVITAS@(2020). Available at: <https://civitas.eu/measure/pr-concept-and-implementation-city-parking-system>.

CMC@(2020). Available at: <https://www.cm-coimbra.pt/areas/viver/mobilidade/mobilidade-suave/ciclovias-e-parqueamento>.

CML@(2020). Available at: <https://www.lisboa.pt/cidade/mobilidade/escolar/kiss-ride>.

CNN Business@(2015). Available at: <https://money.cnn.com/2015/07/24/technology/chrysler-hack-recall/index.html?sr=twmoney072415chrysler900story>.

CNN Travel@(2014). Available at: <https://edition.cnn.com/travel/article/starry-night-bike-path/index.html>.

Critical Techworks@(2020). Available at: <https://www.criticaltechworks.com/>.

Dandl, F. and Bogenberger, K. (2019) ‘Comparing Future Autonomous Electric Taxis With an Existing Free-Floating Carsharing System’, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. IEEE, 20(6), pp. 2037–2047.

Diário de Coimbra@(2020). Available at: <https://www.diariocoimbra.pt/noticia/62016>.

DRE@(2020) *Diário da República Eletrónico*. Available at: https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/341446/details/normal?_search_WAR_drefrontofficeportlet_dreId=131091.

EDP@(2020) *Energias de Portugal*. Available at: <https://www.edp.com/pt-pt/inovacao/v2g-vehicle-grid>.

Encyclopedia Britannica@(2020). Available at: <https://www.britannica.com/technology/radar>.

FLIR@(2017) Available at: <https://www.flir.com/news-center/camera-cores--components/four-reasons-why-thermal-imaging-sensors-are-ideal-for-autonomous-driving-vehicles/>.

Forbes@(2019). Available at: <https://www.forbes.com/sites/dalebuss/2019/08/31/dominos-new-driverless-vehicle-test-acknowledges-that-its-all-just-about-the-pizza/#5d0183c3627d>.

Forbes@(2020). Available at: <https://www.forbes.com/sites/ericmack/2020/01/08/electric-scooter-injuries-are-spiking-nationwide/#2222ca354698>.

Fox News@(2016). Available at: <https://www.foxnews.com/auto/dominos-and-ford-testing-self-driving-pizza-delivery-car>.

Fraedrich, E. *et al.* (2019) ‘Autonomous driving, the built environment and policy implications’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 122, pp. 162–172. doi: 10.1016/j.tra.2018.02.018.

Fu, M. *et al.* (2020) ‘LiDAR-based vehicle localization on the satellite image via a neural network’, *Robotics and Autonomous Systems*. Elsevier B.V., 129, p. 103519. doi: 10.1016/j.robot.2020.103519.

Gavanas, N. (2019) ‘Autonomous Road Vehicles: Challenges for Urban Planning in European Cities’, *Urban Science*, 3(2), p. 61. doi: 10.3390/urbansci3020061.

Gössling, S. (2020) ‘Integrating e-scooters in urban transportation: Problems, policies, and the prospect of system change’, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier, 79(January), p. 102230. doi: 10.1016/j.trd.2020.102230.

GSA@(2017) *European GNSS Agency*. Available at: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>.

Hao, K. (2017) *Police sirens, wind patterns, and unknown unknowns are keeping cars from being fully autonomous*. Available at: <https://qz.com/1027139/police-sirens-wind-patterns-and-unknown-unknowns-are-keeping-cars-from-being-fully-autonomous/>.

Imai, T. (2019) ‘Legal regulation of autonomous driving technology: Current conditions and issues in Japan’, *IATSS Research*. Elsevier B.V., pp. 263–267. doi: 10.1016/j.iatssr.2019.11.009.

ITF@(2018) *International Transport Forum*. Available at: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safer-roads-automated-vehicles.pdf>.

Kaspersky@(2015). Available at: <https://www.kaspersky.com/blog/blackhat-jeep-cherokee-hack-explained/9493/>.

Kiliszek, D. and Kroszczyński, K. (2020) ‘Performance of the precise point positioning method along with the development of GPS, GLONASS and Galileo systems’, *Measurement*. Elsevier BV, 164, p. 108009. doi: 10.1016/j.measurement.2020.108009.

Kolarova, V., Steck, F. and Bahamonde-Birke, F. J. (2019) ‘Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings: A comparison between current and future preferences’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 129, pp. 155–169. doi: 10.1016/j.tra.2019.08.011.

Lee, D. and Hess, D. J. (2020) ‘Regulations for on-road testing of connected and automated vehicles: Assessing the potential for global safety harmonization’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 136, pp. 85–98. doi: 10.1016/j.tra.2020.03.026.

Live Science@ (2017). Available at: <https://www.livescience.com/44765-who-invented-the-bicycle.html>.

MalwareBytes@ (2020). Available at: <https://pt.malwarebytes.com/malware/>.

Manns, J. (2010) ‘Park-and-Ride: Politics, Policy and Planning’.

Mati Shani (2020) *Lidar vs Camera: Can Autonomous Vehicles Really Waive One*. Available at: <https://www.assemblymag.com/gdprpolicy?url=https%3A%2F%2Fwww.assemblymag.com%2Ftopics%2F6390-autonomous-electric-mobility%2Farticles%2F2470-lidar-vs-camera-can-autonomous-vehicles-really-waive-one>.

McAfee@ (2018). Available at: <https://www.mcafee.com/blogs/other-blogs/mcafee-labs/todays-connected-cars-vulnerable-hacking-malware/>.

Menon, N. *et al.* (2019) ‘Shared autonomous vehicles and their potential impacts on household vehicle ownership: An exploratory empirical assessment’, *International Journal of Sustainable Transportation*. Taylor and Francis Ltd., 13(2), pp. 111–122. doi: 10.1080/15568318.2018.1443178.

Namazu, M. *et al.* (2018) ‘Is carsharing for everyone? Understanding the diffusion of carsharing services’, *Transport Policy*, 63(December 2017), pp. 189–199. doi: 10.1016/j.tranpol.2017.12.012.

NASA@ (2019) *National Aeronautics and Space Administration*. Available at: <https://spaceplace.nasa.gov/gps/en/>.

NBC News@ (2019). Available at: <https://www.nbcnews.com/tech/tech-news/self-driving-uber-car-hit-killed-woman-did-not-recognize-n1079281>.

NHTSA@ (2020) *National Highway Traffic Safety Administration*. Available at: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/vehicle-vehicle-communication>.

Nick Oliver, Kristina Potocnik, T. C. (2018) *To Make Self-Driving Cars Safe, We Also Need Better Roads and Infrastructure*. Available at: <https://hbr.org/2018/08/to-make-self-driving-cars-safe-we-also-need-better-roads-and-infrastructure>.

Noy, I. Y., Shinar, D. and Horrey, W. J. (2018) ‘Automated driving: Safety blind spots’, *Safety Science*. Elsevier B.V., pp. 68–78. doi: 10.1016/j.ssci.2017.07.018.

Nvidia@ (2019). Available at: <https://blogs.nvidia.com/blog/2019/04/15/how-does-a-self-driving-car-see/>.

Observador@ (2019). Available at: <https://observador.pt/2019/12/12/area-metropolitana-de-lisboa-submete-candidatura-de-10-milhoes-de-euros-para-melhorar-sistema-de-informacao-e-bilhetica/>.

On Centro@ (2020). Available at: <https://on-centro.pt/index.php/pt/noticias2/item/3029-bicicletas-partilhadas-da-figueira-da-foz-realizaram-mais-de-mil-quilometros-ate-fevereiro>.

Petrovic, D., Mijailović, R. and Pešić, D. (2020) ‘Traffic Accidents with Autonomous Vehicles: Type of Collisions, Manoeuvres and Errors of Conventional Vehicles’ Drivers’, in *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., pp. 161–168. doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.003.

Pickering, J. E., Podsiadly, M. and Burnham, K. J. (2019) ‘A Model-to-Decision Approach for the Autonomous Vehicle (AV) Ethical Dilemma: AV Collision with a Barrier/Pedestrian(s)’, in *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., pp. 381–386. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.08.080.

Pickering, P. (2017) *The Radar Technology Behind Autonomous Vehicles*. Available at: <https://www.eeworldonline.com/the-radar-technology-behind-autonomous-vehicles/>.

PORDATA@(2020).Availableat:<https://www.pordata.pt/Municipios/População+residente++estimativas+a+31+de+Dezembro-120>.

Puhe, M. (2014) ‘Integrated urban e-ticketing schemes – conflicting objectives of corresponding stakeholders’, *Transportation Research Procedia*. Elsevier B.V., 4, pp. 494–504. doi: 10.1016/j.trpro.2014.11.038.

RailwayTechnology@(2018).Availableat:<https://www.railway-technology.com/features/around-world-driverless-metro-lines/>.

Santos, L. (2020) ‘Inteligência Artificial e Cibersegurança’, *Ingenium*, p. 32.

Sheehan, B. *et al.* (2019) ‘Connected and autonomous vehicles: A cyber-risk classification framework’, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Elsevier Ltd, 124, pp. 523–536. doi: 10.1016/j.tra.2018.06.033.

Simões, G. D (2009) – “Promoção da Mobilidade Sustentável em Cidades de Média Dimensão” - Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente na especialidade de Território e Gestão do Ambiente, Edição FCTUC.

Singleton, P. A. (2019) ‘Discussing the “positive utilities” of autonomous vehicles: will travellers really use their time productively?’, *Transport Reviews*. Routledge, 39(1), pp. 50–65. doi: 10.1080/01441647.2018.1470584.

Sinhasane, S. (2020) *Park and Ride System: Is It Defining Better Future for Urban Commuters?* Available at: <https://mobisoftinfotech.com/resources/blog/park-and-ride-services/>.

SMTUC@ (2020). Available at: <https://www.smtuc.pt/quem-somos/historia-dos-transportes-urbanos-em-coimbra/>.

Sparton@ (2015). Available at: <https://www.spartonnavex.com/imu/>.

ST@(2020). Available at: <https://www.st.com/en/applications/telematics-and-networking/vehicle-to-everything-v2x.html>.

Terh, S. H. and Cao, K. (2018) ‘GIS-MCDA based cycling paths planning: a case study in Singapore’, *Applied Geography*. Elsevier Ltd, 94, pp. 107–118. doi: 10.1016/j.apgeog.2018.03.007.

Tesla@ (2020). Available at: https://www.tesla.com/de_de/model3/design#battery.

TheAtlantic@(2018). Available at: <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2018/03/can-you-sue-a-robocar/556007/>.

The Conversation@ (2016). Available at: <https://theconversation.com/the-trolley-dilemma-would-you-kill-one-person-to-save-five-57111>.

TheCultureTrip@(2018). Available at: <https://theculturetrip.com/north-america/usa/articles/the-10-most-walkable-cities-in-the-world/>.

Thompson, J. (2019) *Ultrasonic Sensors: More Than Just Parking*. Available at: <https://levelfivesupplies.com/ultrasonic-sensors-more-than-just-parking/>.

Viatech@ (2019). Available at: <https://www.viatech.com/en/2019/09/which-sensors-are-best-for-autonomous-vehicles-cameras-radar-or-lidar/>.

Watts On@ (2020). Available at: <https://www.wattson.pt/2018/11/04/ensaio-ao-hyundai-nexo-fuel-cell-sera-o-futuro-a-hidrogenio/>.

Wavestone@ (2017). Available at: <https://www.wavestone.com/en/insight/best-driverless-metro-lines-world-2017/>.

Waymo@ (2017). Available at: <https://medium.com/waymo/recognizing-the-sights-and-sounds-of-emergency-vehicles-8161e90d137e>.

Wevolver@ (2020). Available at: <https://www.wevolver.com/article/2020.autonomous.vehicle.technology.report#reference24>.

youmatter@ (2020). Available at: <https://youmatter.world/en/hydrogen-electric-cars-sustainability-28156/>.

Zhong, H. *et al.* (2020) 'Will autonomous vehicles change auto commuters' value of travel time?', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier Ltd, 83, p. 102303. doi: 10.1016/j.trd.2020.102303.

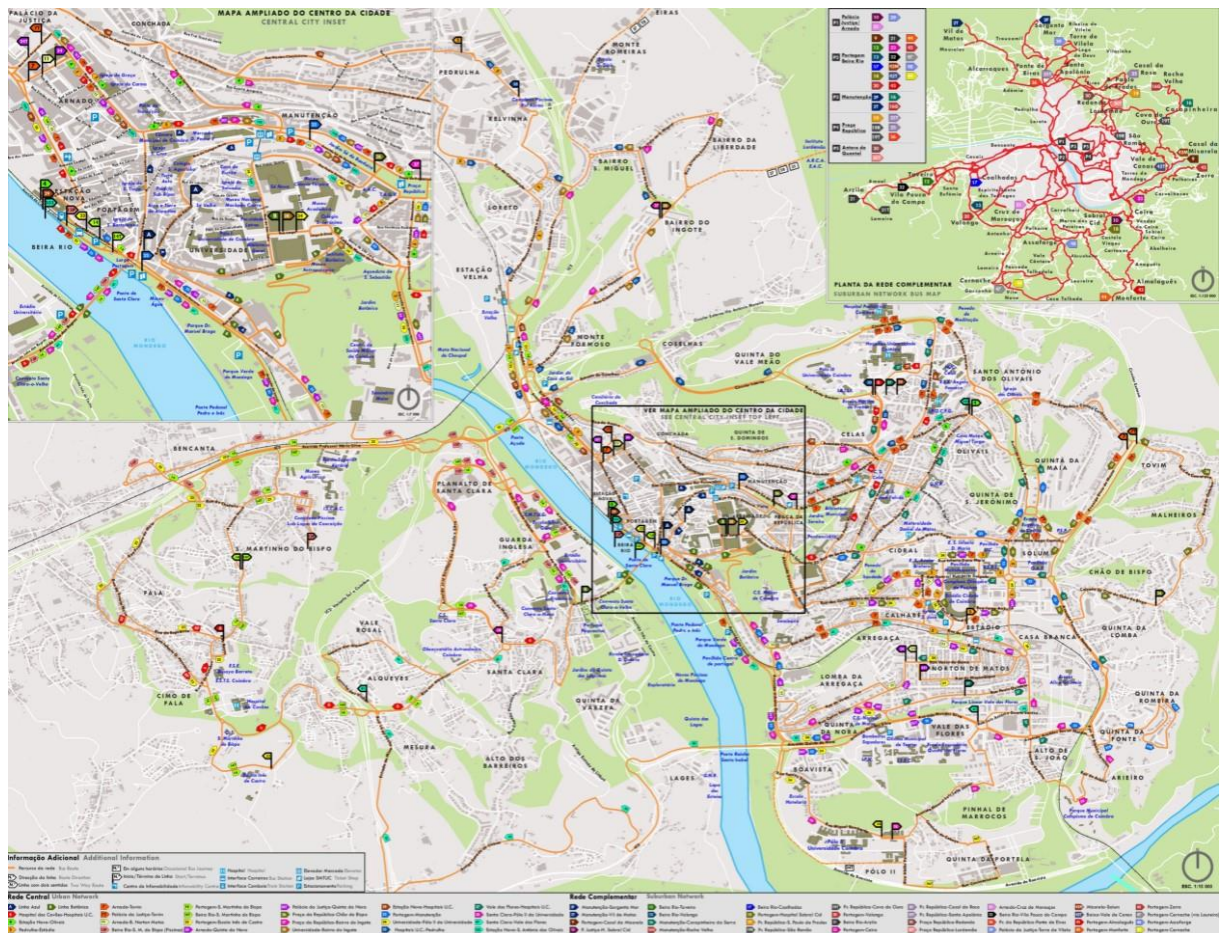


Figura A.1 – Rede geral dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC@2020).

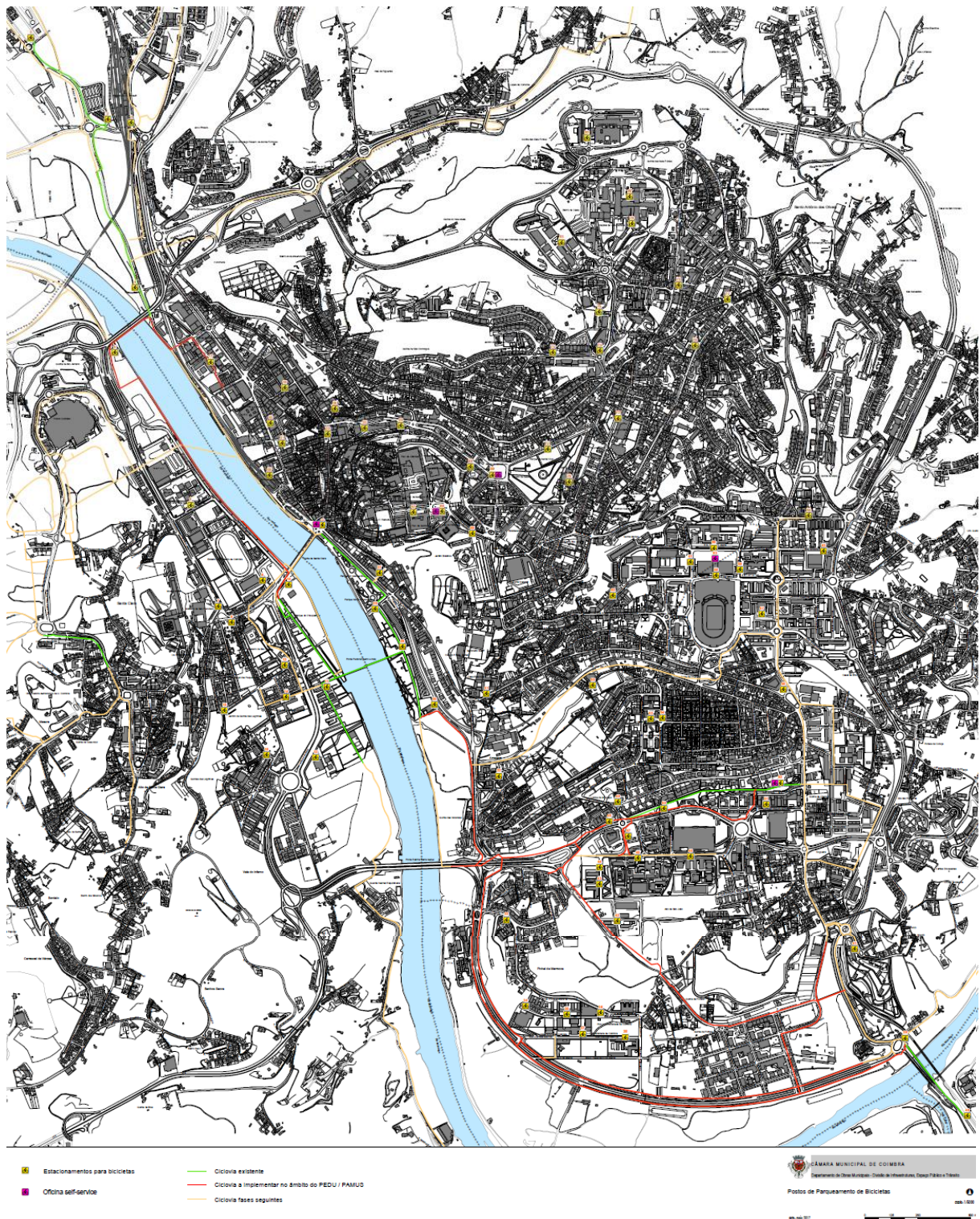


Figura B.1 – Postos de estacionamento de bicicletas (PEDU CMC, 2018).