



Anibal José Moreira Lousa

# VEÍCULOS AUTÓNOMOS E CONETADOS - TECNOLOGIA E IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

CONNECTED AND AUTONOMOUS VEHICLES - TECHNOLOGY AND IDENTIFICATION  
OF POSSIBLE CHANGES IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,  
orientada pela Professora Doutora Arminda Maria Marques Almeida

Coimbra 6 de Junho de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Anibal José Moreira Lousa

# **VEÍCULOS AUTÓNOMOS E CONETADOS - TECNOLOGIA E IDENTIFICAÇÃO DE POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE**

## **CONNECTED AND AUTONOMOUS VEHICLES - TECHNOLOGY AND IDENTIFICATION OF POSSIBLE CHANGES IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,  
orientada pela Professora Doutora Arminda Maria Marques Almeida

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.

Coimbra 6 de Junho de 2018

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação e o cumprimento dos objetivos propostos apenas foi possível devido à participação de um modo direto e indireto de várias pessoas, assumindo um apoio fundamental durante o período de desenvolvimento da tese assim como durante toda a minha formação académica. Desta forma, começo por dirigir a essas pessoas algumas palavras, acompanhadas de um profundo sentimento de reconhecido agradecimento.

Um especial agradecimento à orientadora desta dissertação, Arminda Maria Marques Almeida, pelo fantástico acompanhamento disponibilizado durante todo o processo do trabalho, onde a disponibilidade, o incentivo, a entejuda nos diversos obstáculos que foram surgindo, uma excelente orientação e incentivo estiveram constantemente presentes.

À Fernanda Amado por todo o otimismo, ajuda e confiança que sempre depositou em mim e nas minhas capacidades.

A minha Avó, Clorinda Lousa, por todos os telefonemas repletos de preocupação e por todas as velas acendidas em pedidos de força divina, certamente deram resultado nas horas mais críticas.

À rapaziada do M91, essa grande geração trasmontana por serem o exemplo real de que a amizade não precisa de ser trabalhada, basta ser verdadeira.

A ti, IA, por teres sido um dos meus pilares até ao início desta etapa e que certamente, aonde quer que estejas, continuas a iluminar o meu caminho e a segui-lo ao meu lado.

À Inês Afonso, pela ajuda fundamental na redução extensiva de páginas que o trabalho exigiu e por todo o apoio, por todo o incentivo, por toda a confiança, por todo o amor e por acreditar sempre em mim, inclusivamente nos momentos mais inseguros e de desespero.

E por último, todo o agradecimento do mundo são dirigidos às pessoas responsáveis por todos os objetivos que foram e serão cumpridos ao longo da minha vida. À minha mãe, pelo amor incondicional, por me mostrar que a força interior é capaz de ultrapassar todos os obstáculos e por me encher de orgulho em cada palavra. Ao meu pai, pela grande ajuda na fase final do trabalho e por adicionar todos os dias ao papel de pai, o papel de melhor amigo. Um muito obrigado a vocês os dois, a vocês dedico tudo.

*“Eu tenho o tempo  
Tu tens o chão  
Tens as palavras entre a luz e a escuridão”*

## RESUMO

O número de acidentes e as taxas de mortalidade provenientes das vias de comunicação espalhadas pelo mundo, alcançam valores alarmantes e com aumentos significativos nos últimos anos. Estas ocorrências devem-se substancialmente ao fator humano e à sua própria negligência na condução, alcançando registos na ordem dos 90% na culpabilidade e responsabilidade de desastres rodoviários. A condução autónoma aparece nos anos recentes como uma alternativa ao modo de condução convencional, apresentando grandes expectativas no combate a estes números, permitindo que aumentos na segurança, no conforto, na qualidade do ar e nas capacidades das estradas sejam expetados.

No entanto, apesar da tecnologia autónoma, segundo a visão das grandes marcas e fabricantes se encontrar pronta para ser implementada nas estradas, várias barreiras ainda se encontram impostas para que esse fenómeno seja possível, onde questões éticas, morais, legislativas e regulamentares se assumem como as principais dores de cabeça da introdução de autonomia na condução.

Assim esta tese, apresentando todas as valências, potencialidades e aproveitamento que os veículos autónomos alcançam, refere o estado atual da tecnologia e a forma como esta é aplicada pelos diferentes intervenientes do sistema de transporte, abordando os problemas que necessitam de regulamentação e homologação e aponta ainda possíveis alterações que a introdução da tecnologia de veículos autónomos poderá originar na infraestrutura rodoviária atual.

De modo a sintetizar as potenciais implicações dos veículos autónomos e conectados, apresentam-se duas análises SWOT, uma a nível mais geral e outra a nível da infraestrutura, identificando-se assim os pontos fortes (*Strengths*), as fraquezas (*Weaknesses*), as oportunidades (*Opportunities*) e as ameaças (*Threats*).

É importante salientar que algumas destas alterações dependerão da forma como os veículos autónomos forem introduzidos e aceites pela população em geral, prometendo ser um assunto alvo de bastante polémica no seio da comunidade científica e do público alvo devido à inércia natural na aceitabilidade da autonomia nos sistemas de transporte a que se tem assistido por parte da população, onde uma grande mudança de mentalidade atual em termos de mobilidade é imperativo que ocorra, alterando a ideia do veículo como propriedade para apenas um meio de transporte.

**Palavras-Chave:** Veículo autónomo, veículo conetado, comunicação V2X, alterações na infraestrutura de transporte física e digital, análise SWOT.

## ABSTRACT

The number of accidents and mortality rates from the lines of communication across the globe, reaching alarming values and with significant increases in recent years. These occurrences are substantially the human factor and to your own negligence in driving, reaching records in the order of 90% on guilt and responsibility of road disasters. Autonomous driving in recent years appears as an alternative to conventional driving mode, showing great expectations in these numbers, allowing increases in security, comfort, air quality and capabilities of the roads are expected.

However, despite the autonomous technology, according to the vision of the major brands and manufacturers being ready to be implemented on the roads, many barriers are still imposed so that this phenomenon is possible, where ethical, moral, laws and regulations assume as the major headaches of introducing autonomy in conducting.

So this thesis, showing all the skills, potentials and harnessing that autonomous vehicles reach, referred to the current state of technology and how it is applied by the various participants in the transport system, addressing the problems that require regulation and approval and also highlights possible changes that the introduction of autonomous vehicle technology may result in the current road infrastructure.

In order to synthesize the potential implications of the autonomous and connected vehicles two SWOT analysis were developed, a more general level and another at the level of infrastructure, identifying the strengths (*Strengths*), weaknesses (*Weaknesses*), opportunities (*Opportunities*) and threats (*Threats*).

It is important to note that some of these changes will depend on the way the autonomous vehicles are introduced and accepted by the general population, promising to be a target of quite controversial within the scientific community and the target audience due to natural inertia on acceptability of autonomy in the transport systems which has been assisted by the population, where a large change of mentality in terms of mobility, it is imperative that occurs, changing the idea of the vehicle as to property just a means of transport.

**Keywords:** autonomous vehicle, connected vehicle, V2X communication, changes in physical and digital transport infrastructure, SWOT analysis.

# ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO .....	7
1.1	Enquadramento .....	7
1.2	Objetivos e Metodologia.....	10
1.3	Estrutura da Dissertação.....	10
2	VEÍCULOS AUTÓNOMOS E VEÍCULOS CONETADOS.....	11
2.1	Considerações Iniciais.....	11
2.2	Veículos Autónomos .....	13
2.2.1	Considerações Iniciais .....	13
2.2.2	História .....	13
2.2.3	Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor (ADAS) .....	18
2.2.4	Níveis de Automação.....	21
2.2.5	Perceção.....	22
2.2.6	Navegação.....	27
2.2.7	Controlo .....	28
2.2.8	Veículos Inteligentes.....	28
2.3	Veículos Conetados.....	29
2.3.1	Considerações Iniciais .....	29
2.3.2	Comunicações .....	31
2.3.3	Aplicações - exemplos .....	35
2.4	Coexistência.....	38
2.5	On-demand Services.....	39
2.5.1	Car-sharing.....	39
2.5.2	Vehicle Ownership .....	40
2.6	Implicações .....	40
2.6.1	Segurança.....	41
2.6.2	Emissões .....	41
2.6.3	Mobilidade para Todos .....	43
2.6.4	Desemprego .....	44
2.6.5	Tráfego Rodoviário.....	45
2.6.6	Estacionamento e Sinalização .....	46
2.7	Questões a Resolver .....	47
2.7.1	Considerações Iniciais .....	47
2.7.2	Ética.....	47
2.7.3	Regulação e Legislação.....	49
2.7.4	Privacidade e Cibersegurança.....	51
2.7.5	Aceitação dos Consumidores .....	52
3	ESTUDO DE CASO - ALTERAÇÕES NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE .....	55
3.1	Introdução.....	55
3.2	Identificação de Possíveis Alterações nas Infraestruturas.....	56
3.2.1	Desenho Geométrico.....	57
3.2.2	Largura da Rua .....	59
3.2.3	Estacionamentos .....	63
3.2.4	Pavimento .....	66
3.2.5	Infraestrutura Física e Digital.....	67
3.2.6	Número e Função das Vias.....	68
3.2.7	Interseções.....	69
3.2.8	Sistema de Portagens .....	70
3.2.9	Dimensões e Caraterísticas dos Veículos .....	71
3.2.10	Smart/intelligent infrastructure.....	72
3.3	Análises SWOT .....	73
4	CONCLUSÃO .....	75
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Veículo usado no projeto CityMobil2 (Alessandrini e Mercier-Handisyde, 2017) .....	16
Figura 2.2 - Veículos Volvo Serie 90 (@arstechnica, 2017).....	17
Figura 2.3 - Delimitação da área de testes DriveMe da Volvo (@motorauthorit, 2017) .....	17
Figura 2.4 - Protótipo desenvolvido pela Waymo (@futurebehind, 2016) .....	18
Figura 2.5 - Cronograma de desenvolvimento dos ADAS (Adaptado de Pavone, 2016) .....	19
Figura 2.6 - ADAS (Adaptado @Observador, 2017).....	20
Figura 2.7 - Sensores de um Veículo Autônomo (OECD, 2015) .....	23
Figura 2.8 - Radar (Mcgehee et al., 2016).....	24
Figura 2.9 - Ação Radar (Feldmaier (2016) .....	24
Figura 2.10 - Ação Câmaras (Feldmaier 2016) .....	25
Figura 2.11 - Recolha de Informação processada por câmara (Mcgehee et al., 2016) .....	25
Figura 2.12 - Ação LiDAR (Feldmaier, 2016) .....	26
Figura 2.13 - Perspetiva da utilização do LiDAR (Mcgehee et al., 2016) .....	26
Figura 2.14 - Comunicação no ambiente rodoviário.....	31
Figura 2.15 - Comunicação V2V (@extremeTech, 2014) .....	32
Figura 2.16 - Comunicação V2I (@driverless, 2015).....	33
Figura 2.17 - Exemplificação do conceito platooning (@driverless, 2015).....	36
Figura 2.18 - Comparação dos resultados obtidos por Platoon (Mcgehee et al., 2016).....	37
Figura 2.19 - Cenário Ilustrativo da decisão moral (@thecity, 2017 .....	48
Figura 3.1 - "The ripple effect" dos veículos autónomos (Milakis et al., 2017).....	56
Figura 3.2 - Distância de Paragem (Silva, 2014b).....	58
Figura 3.3 - Distância de Visibilidade usando Comunicação (Boonman, 2016).....	59
Figura 3.4 - Perfil Transversal considerando veículos convencionais (@medium, 2017) .....	62
Figura 3.5 - Perfil Transversal considerando tráfego misto (@medium, 2017) .....	62
Figura 3.6 - Infraestrutura de estacionamento localizado fora da zona urbana .....	64
Figura 3.7 - Infraestrutura com Estacionamento Urbano .....	64
Figura 3.8 - design parque estacionamento convencional vs design parque estacionamento para veículos autónomos (Nourinejad et al., 2018).....	65
Figura 3.9 - Libertação de espaço para saída de AV encurralado (Nourinejad et al., 2018) .....	66
Figura 3.10 - Exclusividade de vias (Adaptado de @inhabitat, 2016).....	68
Figura 3.11 - "Leilão eletrónico" (Adaptado de Boonman, 2016).....	69
Figura 3.12 - Interseção Controlada pelos Sistemas Autónomos (Adaptado de Boonman, 2016).....	70
Figura 3.13 - imposição de deflexão dos movimentos (Seco, 2014) .....	70
Figura 3.14 - Aproveitamento do espaço interior (Filo e Lubega, 2015).....	71
Figura 3.15 - Redução dimensão do veículo (@zpm, 2017) .....	71
Figura 3.16 - Forever Open Road (Adapatdo de @FOR, 2017).....	72

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Níveis de Autonomia (SAE, 2016; OECD, 2015).....	22
Quadro 3.1 - Análise SWOT geral.....	73
Quadro 3.2 - Análise SWOT ás alterações identificadas ao nível da infraestrutura rodoviária.....	74

## ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

ABS - *Anti-lock Braking System* (Sistemas de Travagem Anti Bloqueio)

ACC - *Adaptive Cruise Control* (Cruise Control Adaptativo)

ACEA - *European Automobile Manufacturers' Association*

ADAS - *Advanced Driver Assistance Systems* (Sistemas Avançados de Apoio ao Condutor)

AVs – *Autonomous Vehicles* (Veículos Autónomos)

BSM - *Basic Security Message*

CAVs – *Autonomous and Connected Vehicles* (Veículos Autónomos e Conetados)

CVs - *Connected Vehicles* (Veículos Conetados)

DSRC - *Dedicated Short Range Communications* (Comunicações Dedicadas de Curto Alcance)

ESC - *Electronic Stability Control* (Controlo Eletrónico de Estabilidade)

GEE - Gases do Efeito de Estufa

GPS – *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

ITS - *Intelligent Transportation Systems* (Sistemas Inteligente de Transporte)

IVFC - *Intelligent Vehicle Future Challenge* (Concurso Veículo Inteligente do Futuro)

LiDAR - *Ligh Detection and Ranging* (Detecção de luz e alcance)

LRR - *Long Range Radar* (Radar de Longo Alcance)

NHTSA - *National Highway Traffic Safety Administration* Administração

PATH - *Partners for Advanced Transportation Technology*

PCC - *Predictive Cruise Control* (Cruise Control Preditivo)

RSU - *Road Side Unit* (Unidade Lateral da Estrada)

SAE - *Society of Automotive Engineers*

SRR - *Short Range Radar* (Radar de Curto Alcance)

V2I – *Communication Vehicle-Infrastructure* (Comunicação Veículo-Infraestrutura)

V2V - *Communication Vehicle-Vehicle* (Comunicação Veículo-Veículo)

V2X - *Communication Vehicle-Everything* (Comunicação Veículo-tudo)

WiMAX - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Num mundo onde o avanço tecnológico regista desenvolvimentos em campos que em décadas anteriores seria inimaginável, a da autonomia e tecnologia incorporada nos sistemas de transporte e nos veículos assume-se como um desses campos, registando avanços que permitem a questionabilidade do “se” para “quando” acerca da implementação dos mesmos. A tecnologia de veículos autónomos (AVs), como será visto ao longo do presente trabalho, encontra-se em fase de implementação, ou seja, as tecnologias desenvolvidas para a remoção do humano no controlo, encontra-se já desenvolvida, com testes em desenvolvimento e a serem defendidas pelas grandes marcas e fabricantes como aptas e eficazes.

O automóvel representa inegavelmente uma invenção preponderante na evolução humana, apresentando um papel com grande importância e grande escala nos diferentes níveis da sociedade, desde infraestruturas, transporte de pessoas e bens ao planeamento e design da interface urbana. O século XX registou uma revolução nos sistemas de transporte com a produção e fabrico de um grande número de veículos, possibilitando a deslocação de passageiros e de mercadorias de um ponto inicial até ao seu destino. O século XXI projeta-se como o tempo onde será efetuada uma revolução do sistema de transportes com a introdução de tecnologia autónoma nos diferentes intervenientes da infraestrutura rodoviária.

Em geral, os modos de transporte privados apresentam-se como sendo mais atrativos quando comparados com os meios de transporte públicos. Esta perspetiva aumenta a procura e o uso de meios privados, agravando os impactes no meio ambiente, com o aumento das emissões de poluentes, na eficiência de transporte, no congestionamento de trânsito e na necessidade de vários locais de estacionamento ao longo de zonas que não estão preparadas para suportar essa procura (Kumru et al., 2017).

O registo de acidentes e a taxa de mortalidade associada aos sistemas de transporte, é uma realidade assustadora a necessitar de medidas mitigadoras na superação destas ocorrências. Grande parte do aumento considerável de acidentes de trânsito nos últimos anos é devido ao elevado número de veículos em circulação, às negligências praticadas pelos condutores e às más condições das vias públicas (Milakis et al., 2016). Segundo números da Organização Mundial de Saúde, morrem todos os anos, nas inúmeras vias de comunicação do mundo, cerca de 1,25 milhões de pessoas (@Udacity, 2017). Um fator alarmante destes registos prende-se com a culpabilidade que o humano apresenta nestes acontecimentos. Com um registo de cerca de 90% na responsabilidade pelos acidentes rodoviários (Waldrop, 2015), fatores como fadiga, distração, álcool e outras substâncias, assim como irresponsabilidade em determinadas ações tomadas durante o ato de condução (Bener et al., 2017), fazem do ser humano o maior perigo na procura pela segurança e eficiência da condução rodoviária. Além desta grave realidade, a

poluição proveniente dos sistemas de transportes atinge valores preocupantes. Os gastos de energia provocados pelos sistemas de transporte dependem do comportamento e modo de condução, do design do sistema de transporte e das condições ambientais. Por exemplo, se o condutor praticar uma condução agressiva, com acelerações rápidas e travagens constantes, agrava o consumo de combustível em 30%, quando comparado com conduções mais económicas e ecológicas (Jun e Markel, 2017).

Alertando para estes problemas e para a tentativa de soluções de forma a diminuir exponencialmente estas fatalidades é urgente desenvolver soluções. É nesta tentativa de otimizar a situação rodoviária atual que ocorre o investimento nos sistemas inteligentes de transportes (ITS - *Intelligent Transportation Systems*), que podem ser os grandes responsáveis pela revolução necessária. Os ITS traduzem-se por ser uma tecnologia em desenvolvimento que engloba a combinação de tecnologias informáticas, de comunicação e de controlo, permitindo assim a conexão entre veículos e entre os veículos e a infraestrutura (Dar et al., 2010). Estes sistemas, segundo Milakis et al. (2016), permitem melhorar o desempenho, a eficiência, a segurança e o impacto ambiental do sistemas de transporte.

O congestionamento deve-se muitas vezes a acidentes de trânsito ou ao excesso de veículos em circulação em relação à capacidade das vias de comunicação. Com a introdução de AVs, a possibilidade de otimização do processo de condução e de uma redução acentuada de acidentes, promete ser um processo que contribuirá para que o congestionamento e a segurança do sistema de transporte sejam revolucionados. O crescimento do número de veículos exige melhorias na eficiência dos sistemas de transporte. Isto pode ser parcialmente satisfeito pela implementação de sistemas de condução autónomos, devido à sua maior precisão no controlo do veículo. Os AVs prometem progressos na segurança, na capacidade de tráfego, na eficiência de combustível, um melhor uso da infraestrutura existente e possibilitam aos condutores a liberdade de executarem outras tarefas enquanto estão em circulação (Hobert et al., 2016). O desenvolvimento de AVs traduz-se por ser tecnicamente complexo e as pesquisas efetuadas têm-se concentrado na procura pelo aperfeiçoamento das tecnologias existentes e na segurança operacional. À medida que o nível de automação aumenta, o papel do condutor no ato da mobilidade acompanhará tal evolução, vendo o seu papel no processo de condução do veículo substituído, alcançando o estatuto de passageiro (Litman, 2018).

Como referido, os veículos autónomos e conectados (CAV – *Connected Autonomous Vehicles*) apresentam múltiplas oportunidades para lidar com as vertentes negativas dos veículos convencionais. No entanto, segundo Brett (2016), inúmeros são os artigos científicos, notícias ou estudos online que além de registarem as mais valias dessa revolução, sugerem que esta implicará uma série de ameaças à segurança, podendo provocar o colapso dos sistemas de transporte. A possibilidade de aumento do público-alvo, com a introdução de veículos que se dirigem autonomamente, assim como o aumento do número de pessoas a utilizarem os serviços de partilha, poderá implicar uma diminuição da capacidade das estradas devido ao

aumento do número de veículos em circulação. Aliado a novos conceitos de compartilhamento de veículos e revolucionando a forma como este circulará na via pública, a introdução da autonomia e da comunicação nos veículos potencializará uma nova estruturação da infraestrutura rodoviária. Neste campo, alterações no traçado geométrico das vias de comunicação, alterações nas larguras das faixas de rodagem e consequente mudanças nos perfis transversais tipo, revolução dos sistemas de estacionamentos ou a remoção de sinais verticais e luminosos são algumas dos possíveis rearranjos identificados e abordados neste trabalho.

Apesar dos notórios avanços registados na tecnologia de AVs, diversas barreiras têm sido criadas à implementação destes veículos. Uma das principais barreiras prende-se com a aceitabilidade do ser humano, por razões de insegurança na retirada da mão humana do volante, assim como da impossibilidade de praticar o ato de condução, que muitas vezes é tida como uma ação prazerosa. Outro entrave prende-se pelas questões morais e éticas dos veículos, uma vez que as situações de trânsito colocam à prova o condutor, obrigando-o a tomar decisões com possibilidade de pôr em perigo a própria vida assim como a de terceiros. A forma como os softwares serão ensinados a tomar estas mesmas decisões tem sido alvo de bastante discussão. Uma última vertente abordada no trabalho prende-se pela legislação e regulamentação que se encontra atualmente elaborada para o sistema de transporte atual e que não se encontra preparada para suportar a introdução de AVs.

Atualmente, todos os países se encontram abrangidos pelo tratado de Viena, que impõe a presença de um condutor nos veículos. Assim sendo, será necessário que as entidades governamentais centrem atenções para esta temática de modo a para que sejam criadas condições para que a tecnologia seja testada de um modo mais efetivo e lançada nas vias de comunicação.

Segundo Milakis et al. (2016), prevê-se que em 2030 haja uma penetração de 1 a 11% para veículos parcialmente autónomos, chegando a valores de 7 a 61% em 2050 para veículos totalmente automatizados, indicando que entre 2025 e 2045 os veículos totalmente autónomos, representantes do nível máximo de autonomia definido pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) sejam uma realidade.

Na literatura defende-se que o aparecimento de uma forma efetiva na circulação rodoviária e na disponibilização de veículos capazes de substituir o condutor será feita entre 2025 e 2045, mas, veículos equipados com tecnologias que permitem à condução alcançar determinados níveis de autonomia poderão surgir entre o ano de 2018 e 2028 (Milakis et al., 2016).

A tarefa de automação é complexa e necessita que profissionais de todas as áreas tenham um contributo fundamental para o desenvolvimento dos novos sistemas. A intervenção de profissionais nas áreas da arquitetura e do urbanismo é extremamente necessária, para haver

um envolvimento conjunto com o produto, de forma a criar as melhores soluções para o ambiente e infraestruturas em que um AV circulará.

## 1.2 Objetivos e Metodologia

O objetivo do desenvolvimento desta dissertação baseou-se fundamentalmente em perceber as virtudes, potencialidades, impactos e tecnologias envolvidas na automação e conectividade dos veículos, e perceber em que estado se encontra o desenvolvimento e implementação destas tecnologias. Para tal, foi feita uma revisão da literatura que permitiu identificar, possíveis implicações a serem efetuadas na infraestrutura rodoviária de forma a beneficiar de todas as potencialidades das tecnologias da autonomia.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 4 capítulos.

O primeiro capítulo destina-se à introdução e enquadramento geral do tema a ser abordado, assim como à identificação dos objetivos e metodologia aplicada no desenvolvimento do mesmo.

No segundo capítulo é apresentado de uma forma geral todo o conceito de AVs e CVs, a tecnologia, a forma como comunicam entre si e com a infraestrutura, alguns testes desenvolvidos e em desenvolvimento, campos de aplicabilidade de tecnologias como o *platooning* e o *car-sharing*, as consequências que a introdução destas tecnologias apresentará na empregabilidade e na forma de mobilidade e as potencialidades ambientais. Este capítulo aborda também algumas questões que se encontram ainda por resolver relativamente à implementação desta tecnologia nos veículos em circulação, considerando todo o aspeto moral, ético, legislativo e regulamentar associado aos conceitos em estudo.

No terceiro capítulo são identificadas alterações e consequências que a implementação de AVs e conetados (CAVs) poderão registar na infraestrutura de transporte. Encontra-se também desenvolvido neste capítulo duas análises SWOT: a primeira referente á implementação dos AVs nos sistemas de mobilidade e uma segunda analisando os impactos na infraestrutura.

O último capítulo remete para o desenvolvimento de conclusões.

## 2 VEÍCULOS AUTÓNOMOS E VEÍCULOS CONETADOS

### 2.1 Considerações Iniciais

Nos últimos anos, a tecnologia autónoma tem sido uma constante e o ramo automóvel tem sofrido uma verdadeira incorporação dessa tecnologia nos seus produtos. O desenvolvimento da tecnologia tem permitido que empresas, ligadas à produção de veículos, implementem avanços tecnológicos nos seus produtos, permitindo aliar uma nova maneira de mobilidade, de condução e de interação com o ambiente rodoviário, apresentando o potencial de salvar inúmeras vidas. Só nos Estados Unidos prevê-se que este número seja capaz de atingir os 30.000 por ano (Fleetwood, 2017).

Na atualidade, existem em circulação veículos capazes de se conetarem entre si e com outras entidades externas, aproveitando de um modo mais eficiente, toda a informação que é recolhida e telecomunicada com os vários agentes da infraestrutura, contribuindo diretamente para aumentos de conforto e de segurança na circulação. Além da troca de informações entre veículos, já se verificam avanços significativos nos sistemas que auxiliam os em várias fases da atividade de condução. Contudo, ainda não existe uma legislação estruturada no procedimento da conectividade e autonomia na mobilidade terrestre.

Presentemente, apesar de ser um tema com bastante notoriedade, prevê-se que a introdução deste tipo de veículos seja feita de uma maneira gradual, de forma a permitir e consciencializar todo o público-alvo e todas as entidades regulamentadoras.

De acordo com Godoy et al. (2015), a capacidade das estradas pode ser aumentada se existir uma redução no espaçamento entre os veículos em circulação, e este processo, através do uso de veículos autónomos (AVs), pode ser conseguido já que estes têm a capacidade de manter uma reduzida distância em relação a outros veículos, não comprometendo a segurança da circulação nem o conforto dos ocupantes, conforme será descrito nas seguintes seções.

Godoy et al. (2015) salienta que, só na União Europeia, as previsões indicam um aumento de 12% em relação aos valores registados entre 2001 e 2009, situação que contribuirá diretamente para a redução do nível de serviço das vias de comunicação atuais, sendo imperativo a implementação de sistemas capazes de dotar os veículos com maiores índices e precisão que os registados com condutores humanos.

Reforçando esta ideia, Brodsky (2016) defende que estes veículos, capazes de circular com pouca ou nenhuma intervenção humana, passarão por ser a solução de muitos dos problemas causados pelos veículos convencionais e do atual estado de congestionamento registado. Atribuindo benefícios nos fluxos de tráfego, na redução de tempos de espera e nas emissões,

Brodsky (2016) afirma que a mobilidade apresentará melhores processos, exponenciando a segurança, os gastos envolvidos nos transportes e economias nas infraestruturas rodoviárias.

A vertente autónoma resultará numa redução significativa de acidentes de trânsito e congestionamento, já que estudos preveem, com o uso deste tipo de veículos, uma redução de cerca de 60% do número de veículos em circulação, facto que resultaria numa diminuição do congestionamento e diminuição de 80% na emissão de gases poluentes (@TicketLog, 2017).

Substituindo por completo o condutor humano, os acidentes rodoviários poderiam atingir uma diminuição de 90% (Bener et al., 2017), já que este valor é o mesmo em que o condutor humano apresenta culpabilidade. Eliminando erros provenientes de uma condução irresponsável como, lentidão de reflexos, violação de normas de segurança, sono e embriaguez, a condução autónoma promete atingir valores de eficiência que até hoje nunca foram possíveis.

É uma incerteza, o *timing* da chegada dos veículos inteiramente autónomos às estradas, no entanto, com os testes e as publicações encontradas na revisão bibliográfica, a tecnologia parece estar pronta, para ser adaptada à circulação em autoestrada. As cidades com a complexidade que acarretam, devido à existência de peões, semáforos, sinalização vertical e horizontal, obras ou outro tipo de imprevistos são um problema maior para a inteligência artificial utilizada, havendo ainda as questões legais como obstáculo para a implementação em massa (@público, 2017).

Quando se monta o cenário de imaginar a circulação de veículos nas nossas estradas sem a intervenção humana, fica a ideia ainda muito longínqua de concretização e nos dias de hoje só é possível em filmes de ficção científica, no entanto “os carros de condução completamente autónoma já chegaram”, a frase foi utilizada por John Krafcik, o diretor executivo da *Waymo*, aquando da sua apresentação na Web Summit realizada em Dezembro de 2017. A empresa da *Alphabet* vai disponibilizar os seus veículos a voluntários para o uso quotidiano em cidades norte-americanas (@shifter, 2017). Neste âmbito, a realidade autónoma poderá estar disponível num futuro muito próximo.

*“Tudo que posso dizer é que o veículo autónomo é inexorável, será parte de nossas vidas muito antes do que se imagina, as empresas que desenvolvem isso são organizações exponenciais com resultados de sucesso surpreendentes.”*

Carlos Roma, diretor de vendas da Build Your Dreams

Relativamente à estruturação deste capítulo, este encontra-se dividido em 7 secções. Depois das considerações iniciais mencionadas, a segunda secção contextualiza a temática autónoma do veículo, tecnologias que os englobam e os níveis de autonomia existentes. Na secção seguinte são abordados os veículos conetados (CVs), nomeadamente os tipos de comunicação e diversos processos e conceitos relacionados com esta tecnologia e algumas das suas aplicações.. A

---

secção 4 e 5 abordam respetivamente a perspetiva da coexistência entre veículos convencionais e autónomos e introduz o conceito de car-sharing (serviço de compartilhamento). Aborda possíveis transformações a ocorrer no uso de veículo próprio. As duas últimas secções remontam para as implicações e temas que a introdução de AVs poderá revolucionar, assim como identifica problemas e questões sociais que não se encontram devidamente esclarecidos referentes à penetração e expansão da autonomia veicular.

## 2.2 Veículos Autónomos

### 2.2.1 Considerações Iniciais

Segundo Brett (2016) e @TicketLog (2017), os AVs são veículos munidos de tecnologia própria capaz de identificar o ambiente à sua volta e de proceder à condução do veículo sem intervenção humana. São descritos pela *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA) como veículos em que pelo menos uma das funções de controlo crítico de segurança (direção, aceleração ou travagem) ocorrem sem a intervenção direta do condutor (Clark, 2016). Estes veículos são classificados pelo nível de autonomia que apresentam, que pode ir de um nível que presta só auxílio ao condutor através de pequenos sistemas de apoio à condução, até uma fase onde substituem por completo a intervenção humana. Embora ainda não estejam disponíveis para comercialização veículos totalmente autónomos, já existe em circulação veículos com sistemas avançados de apoio à condução.

Esta secção começa por apresentar como e quando surgiu a condução autónoma, apresentando os sistemas avançados de assistência ao condutor (ADAS - Advanced Driver Assistance Systems), os níveis de automação e os três sistemas básicos da tecnologia autónoma, sendo, os sistemas de perceção, os sistemas de controlo e os sistemas de navegação. Por fim, são apresentados alguns projetos e testes em desenvolvimento.

### 2.2.2 História

A primeira aparição dos carros sem condutor remonta aos anos 20 e 30. Conforme relatado no *The Free Lance Star*, jornal diário distribuído em Fredericksburg, um carro apelidado de "Phantom Auto" foi desenvolvido para ser controlado por sinais de rádio enviados de um carro de arranque. Esta foi a primeira tentativa indireta de conduzir um veículo (Drury et al., 2017).

Em 1977, o TMEL (*Tsukuba Mechanical Engineering Lab*) construiu no Japão o primeiro veículo capaz de seguir as linhas brancas de uma estrada, alcançando velocidades até 30 km/h e marcando uma viragem no arranque da condução autónoma no mundo (Barradas, 2017).

Na década de 1980 registaram-se grandes avanços na autonomia veicular com os Projeto de Veículos Terrestres Autónomos na Universidade Carnegie Mellon (CMU) em 1984 e o Projeto Eureka Prometheus da Mercedes-Benz e da Bundeswehr University em 1987. Essas pesquisas

incluíram imagens tridimensionais em tempo real para identificar possíveis obstáculos, dados topográficos, rodoviários e processamento através de sondas. O trabalho realizado lançou as bases para muitos dos sistemas autónomos em estudo (Drury et al., 2017).

Um registo importante foi alcançado em meados da década de 90 quando os veículos usados nos testes pertencentes à CMU completaram a primeira viagem de longo alcance nos Estados Unidos, percorrendo cerca de 98,2% das 2849 milhas entre Pittsburgh e San Diego de forma autónoma, percorridas a uma velocidade média 102,3 km/h (Kistamgari et al., 2017).

Atualmente, a tecnologia autónoma tem sido utilizada pela maioria dos grandes fabricantes de automóveis e empresas de tecnologia. Entre estas salientam-se a General Motors, a Ford, a Tesla, a Audi e a Google.

- **Testes em Desenvolvimento/Projetos**

Uma das grandes apostas do governo norte americano nos últimos anos, tem sido nos sistemas de transporte inteligentes, sobretudo em trabalhos de pesquisa, no campo de sistemas de veículos conectados e autónomos (Shladover, 2017).

Têm sido desenvolvidos vários testes às capacidades dos AVs, em estradas de circuito fechado e em ambientes exteriores (Beleño, 2012). Na década de 90, a Comissão Europeia, com o objetivo de intensificar os avanços nesta área, fundou o *Eureka Prometheus Project*, dedicado ao desenvolvimento de AVs.

De forma mais significativa, a evolução dos AVs ocorreram a partir do ano 2000, com a criação de parcerias entre universidades e indústrias especializadas. Em parcerias como a realizada entre a Universidade de Stanford com empresas como a Volkswagen of America, Mohr Davidow Ventures e Intel Research I, foi criado o veículo Stanley, enquanto que o veículo Boss, foi criado numa parceria entre a Universidade Carnegie Mellon e a General Motors Corporation. Este veículo conseguiu circular em diferentes condições dentro da cidade, contabilizando os sinais de trânsito, os obstáculos e o planeamento da trajetória (Beleño, 2012).

Ao longo dos anos, têm existidos concursos capazes de avaliar os desenvolvimentos tecnológicos nesta área de diferentes equipas e organizações. Segundo Xu et al. (2016), em 2004, 2005 e 2007 centenas de equipas de todo o mundo participaram nos programas Grand Challenge e Urban Challenge Xu et al. (2016) sublinha também que desde 2009, a Fundação Nacional de Ciências Naturais da China (NSFC) organiza uma competição anual denominada "*Intelligent Vehicle Future Challenge (IVFC)*" com o mesmo propósito de avaliar a tecnologia e pesquisas com âmbitos académicos chineses.



A nível nacional, o interesse pela tecnologia autónoma tem aumentado. O ano de 2018 promete ser um ano revolucionário. Os primeiros testes estão previstos para outubro, num corredor de segurança na A9, a Circular Regional Exterior de Lisboa. Os carros vão circular com condutores a bordo, prontos a intervir caso necessário e serão acompanhados por autoridades policiais. A cidade de Coimbra também está contemplada para testes, no complexo do Instituto Pedro Nunes, utilizando um veículo desenvolvido no mesmo (@negócios, 2018). Foi também criada uma parceria entre a Bosch e a Brisa para possibilitar a testabilidade de AVs da marca alemã em autoestradas portuguesas (@jornaldenegócios, 2017). Outra iniciativa, prende-se pelo objetivo de ligar São João do Estoril a Carcavelos, utilizando um autocarro autónomo. Os primeiros testes ainda não arrancaram mas estão previstos para finais do ano 2018 (@Dn, 2018).

Segundo Kistamgari et al. (2017) vários países da união europeia têm focado atenções nos AVs. A Finlândia prevê testar carros robotizados em estradas públicas e áreas predeterminadas. Um teste já em desenvolvimento é o uso de veículos para transportes de mercadorias em autoestradas, onde estes circulam em modo pelotão, devidamente espaçados e conetados, utilizando comunicações veículo-veículo. Este tipo de testes está a ser planeado na Holanda e Bélgica, tendo em consideração o lançamento de um código de prática elaborado pelo Reino Unido. Em Espanha, a Direção Geral do Tráfego aprovou, no final de 2015, a realização de testes de AVs nas suas estradas, enquanto que a Suíça aplicará dois autocarros autónomos em ambiente urbano, utilizados nos serviço de correios, que também fazem o transporte de pessoas. Em 2017, a França realizou várias experiências com AVs, tendo um bom feedback do público que participou nos cenários criados, encorajando o governo francês a permitir a circulação de AVs (@connected, 2018).

Os veículos, modelo S da Tesla e o classe S 400D da Mercedes, já possuem característica autónomas. Estes, além de equipados com inúmeras funções que auxiliam o condutor, são os introdutores dos AVs no mercado. Este veículo tem uma função de piloto automático que, através de uma combinação de câmaras, radar, sensores ultrassónicos e dados, orienta automaticamente o veículo pela faixa de rodagem, ainda sob supervisão do condutor, permitindo a mudança de pista e ajuste da velocidade em relação ao tráfego atual. Este sistema conta com um banco de dados compartilhado entre todos os veículos do Modelo S, o qual é utilizado para que o veículo saiba que decisões tomar em situações atípicas a partir da experiência obtida por outros veículos (Alves, 2017).

De seguida destacam-se alguns projetos.

- **CityMobil 2**

Desde 1991 a União Europeia tem autorizado a realização de testes usando frotas de veículos totalmente automatizadas. O projeto CityMobil, usou um veículo de transporte coletivo de

passageiros (Figura 2.1), para demonstrar as capacidades da tecnologia de AVs em sistemas de transporte urbano com elevados fluxos de tráfego (Mcgehee et al., 2016).

Trata-se de um projeto de sistema de transporte rodoviário urbano autónomo, sem condutor e totalmente elétrico onde o veículo pode transportar até 10 passageiros e atingir uma velocidade máxima de 40 km/h (@123rf, 2017). Os veículos utilizados caracterizam-se por serem pequenos, leves e movem-se a velocidades baixas (Alessandrini e Mercier-Handisyde, 2017), sendo estes veículos exemplos do nível de autonomia 4 (Mcgehee et al., 2016). O objetivo foi a implementação de várias demonstrações a longo prazo onde não existiam procedimentos legais disponíveis. A principal tarefa, além do deslocamento de pessoas, passou por mapear o ambiente legal nesses países e convidar as autoridades das cidades participantes a expressar as suas preocupações. O resultado ajudou a identificar as medidas necessárias para cumprir as medidas legais internacionais, europeias, nacionais e locais (CityMobil2, 2012). O projeto demonstrou com sucesso, a implementação de sistemas de transporte autónomos em 7 cidades europeias que transportam mais de 60 mil passageiros em veículos totalmente automatizados que compartilham a infraestrutura com outros usuários da estrada (Alessandrini e Mercier-Handisyde, 2017).



Figura 2.1 - Veículo usado no projeto CityMobil2 (Alessandrini e Mercier-Handisyde, 2017)

- **Volvo DriveMe**

A Volvo, empresa líder na área da segurança automóvel, defende que a introdução da tecnologia autónoma nos serviços de transporte, resultará numa redução significativa dos acidentes, contribuindo para a redução de tráfego e diminuição das taxas de poluição, dando a oportunidade aos condutores de utilizarem o tempo de condução de outra forma.

O projeto *DriveMe* apresenta como missão colocar nas estradas de Gotemburgo (Suécia) uma série de AVs para ensaios em condições de tráfego real (Figura 2.2 e 2.3) (@revistacarros, 2016). O projeto tem como objetivo demonstrar a capacidade da autonomia de nível 4 em estradas certificadas (Mcgehee et al., 2016), assim como avaliar a importância dos AVs no melhoramento da qualidade de vida e na transformação do ambiente urbano num ambiente mais sustentável e seguro (Victor et al., 2017). As estradas precisam de possuir boas marcações

rodoviárias (pinturas) e de estarem incluídas em mapas 3D. O teste pretende envolver 100 modelos Volvo XC90, equipados com câmaras, LiDAR (*Ligh Detection and Ranging*), radar, sonar e mapas digitais, com cruise control adaptativo (ACC – Adapative cruise control) e a capacidade de operar no tráfego rodoviário *stop-and-go*. Os condutores poderão ativar o modo autónomo e realizar outras tarefas enquanto se deslocam. A empresa acredita que a tecnologia é tão fiável, que o condutor não precisa de estar atento ao tráfego (McGehee et al., 2016).

O projeto *DriveMe* trata-se de um projeto bastante ambicioso composto por diversos participantes, empresas públicas, privadas, e entidades académicas. Este afirma-se mais ambicioso na utilização de veículos equipados com a tecnologia de condução autónoma (@autoclube,2017), sendo fundamental para o desenvolvimento de um automóvel completamente autónomo, que a *Volvo Cars* espera lançar a partir de 2021 (@motormais, 2017). A empresa pretende lançar projetos similares no decorrer do ano 2018 em Londres, e na China, nos anos seguintes.



Figura 2.2 - Veículos Volvo Serie 90 (@arstechnica, 2017)



Figura 2.3 - Delimitação da área de testes *DriveMe* da Volvo (@motorauthorit, 2017)

- **Google Self-Driving Car**

A Google apresenta-se como vanguardista no que respeita à condução autónoma. Esta, afirma-se como uma das primeiras empresas na exploração dos AVs (@Shifter, 2017). A Google começou, em meados de 2009, a equipar veículos tradicionais como o Toyota Prius, Em 2012, equipou o Lexus RX450h para a realização de testes e avaliação da eficiência do software, percorrendo cerca de 400 mil quilómetros sem indicar qualquer registo de acidentes (@tecnoblog, 2014). No entanto, numa fase mais avançada, a *Waymo*, projeto que era responsável pelo desenvolvimento da tecnologia pertencente á Google, desenvolveu um protótipo de AVs (Figura 2.4), munido da tecnologia desenvolvida no seio da empresa, lançando um veículo sem volante, acelerador, nem pedal de travão. Segundo revelações da *Waymo*, mais de 5,5 milhões de quilómetros já foram alcançados com a utilização destes veículos (@Shifter, 2017).

Munidos de sistemas LiDAR, com radares e sensores infravermelhos, os veículos, têm capacidade de detetar objetos até cerca de 300 metros de distância e uma visão de 360°, muito superior à capacidade de um condutor humano (@Shifter, 2017). A aceleração, travagem e direção são controladas por um software capaz de tomar decisões face às informações detetadas pelos sensores. Este veículo alia o acesso aos mapas da Google, interagindo com o GPS, a capacidade de receber informações de trânsito, como limites de velocidade, interseções próximas, eventuais colisões, direções, etc. (tecnoblog, 2014).



Figura 2.4 - Protótipo desenvolvido pela Waymo (@futurebehind, 2016)

Relativamente aos testes desenvolvidos pela Google e pelo seu projeto *Waymo*, foram remetidos para as pistas privadas da sede da Google, desde o ano de 2009 até ao ano de 2015. Após os testes da tecnologia em várias cidades norte americanas, registando mais de 15 milhões de quilómetros percorrido em pistas privadas (@Shifter, 2017) e 5,5 milhões de quilómetros em estradas públicas, aliadas aos 25 mil veículos que todos os dias interagem num simulador real (@futurebehind, 2017) de forma a obterem o máximo de experiência para o desenvolvimento da tecnologia, a *Waymo* possui o *Early Rider Program*, onde AVs da empresa se encontram disponíveis para o uso diário pela parte de residentes de Phoenix (@waymo, 2018), com o objetivo de realizar viagens casa-trabalho ou deslocamentos esporádicos, levando os seus testes ao ponto alto de utilizar passageiros humanos.

Passados 8 anos desde o início do projeto *Waymo*, a empresa está ciente que a tecnologia alcançou um estado de viabilidade e eficácia. No final do ano de 2017, os representantes da *Waymo* defendem publicamente que a sua frota, está preparada para circular nas vias públicas. Os seus veículos apresentam um nível de automação 4, têm a capacidade de lidar com os aspetos da experiência de condução sem necessidade da mão humana, sobrepondo-se aos alcances registados nas frotas de empresas competitivas que se fixa apenas no nível 3 de autonomia, (@engenharia, 2018).

### 2.2.3 Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor (ADAS)

Os sistemas avançados de assistência ao condutor (*Advanced Driver Assistance Systems - ADAS*) são sistemas projetados para prestarem auxílio, sendo capazes de fornecer ao condutor informações do ambiente envolvente ao veículo e ao mesmo tempo auxiliar em ações críticas. O objetivo destes sistemas traz benefícios nos consumos, emissões, segurança rodoviária e de

conforto. A sua utilização contribui para a evolução da capacidade tecnológica dos CAVs e para alterações comportamentais nos condutores (Mendonça, 2014). Estes sistemas têm contribuído para que a segurança do sistema de mobilidade seja revolucionado. Exemplo é o decréscimo dos acidentes na Alemanha, em que o número de feridos e de mortes registou uma diminuição de 23% e 66% respetivamente desde 1993 (VDA, 2015).

Para combater a insegurança na condução, os veículos são equipados com medidas de segurança passivas, como os airbags, a estrutura do corpo do carro, os cintos de segurança e apoios de cabeça, e segurança ativas, como o controlo eletrónico de estabilidade (ESC), sistemas de travagem anti bloqueio (ABS) e sistemas avançados de assistência ao condutor como prevenção de colisão de cruzamento e o assistente de manutenção de pista (Ziebinski et al., 2017).

Através de formas visuais, auditivas e de vibrações (Meng et al., 2015), os ADAS, recorrendo à deteção e classificação de objetos, monitorizam a posição do veículo em relação à faixa de rodagem e determinam as distâncias perante objetos e veículos em circulação. De seguida, o condutor é alertado para determinadas situações que estejam a ocorrer durante a circulação, o que provoca uma reação no condutor de modo a ajustar o seu comportamento para evitar acidentes (Biondi et al., 2017) ou a paragem do veículo (@nvidia, 2017).

A introdução dos sistemas que fazem parte dos ADAS têm sido implementados consoante o estado de desenvolvimentos das tecnologias que permitem auxiliar o condutor, estando a ser implementadas desde a década de 80, com um exponencial desenvolvimento de vários sistemas a ocorrer entre 2000 e 2010. Na Figura 2.5 Pavone (2016) ilustra uma relação entre a evolução dos níveis de autonomia dos veículos (definidos na secção seguinte) e a introdução dos sistemas de apoio à condução ao longo dos anos.

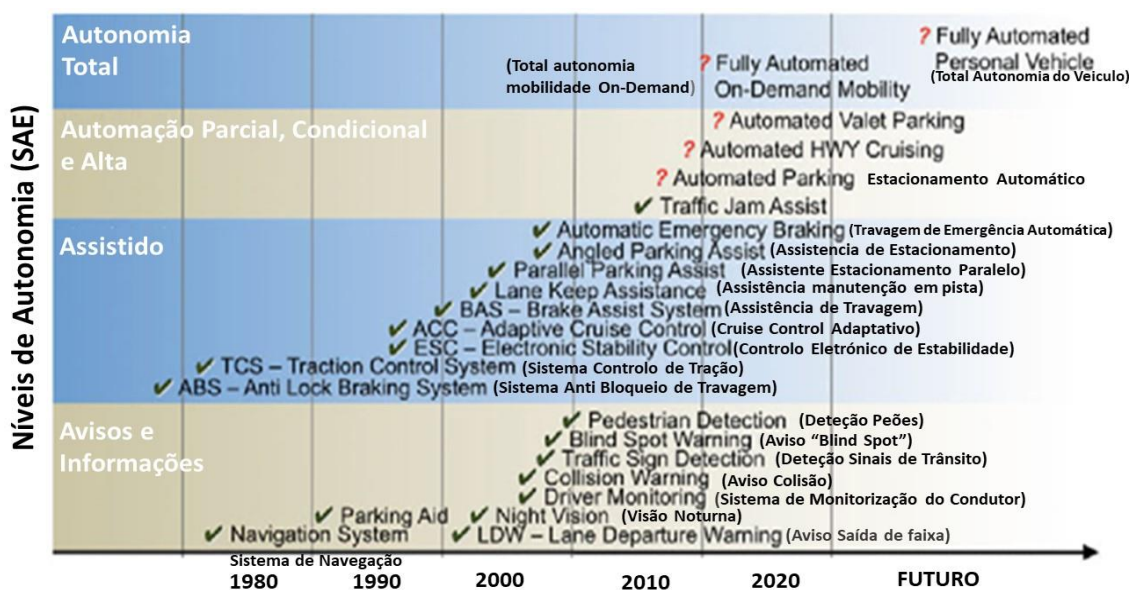


Figura 2.5 - Cronograma de desenvolvimento dos ADAS (Adaptado de Pavone, 2016)

Como se percebe pela análise da Figura 2.5, muitos são os sistemas que se encontram incorporados nos veículos. Os sistemas podem ser agrupados pelo auxílio que prestam ao condutor, fornecendo informações, capacitando o veículo com sistemas que podem intervir em determinadas funções, com tecnologia de automação capaz de controlar a condução e, numa fase mais complexa e avançada, capaz de substituir completamente as funções do condutor.

Na Figura 2.6 pode-se entender alguns dos exemplos da intervenção destes sistemas, nomeadamente avisos de colisão de todos os ângulos do veículo, manutenção do veículo em pista, alertas sobre eventuais cansaços e fadigas e avisos de saída da faixa de rodagem.



Figura 2.6 - ADAS (Adaptado @Observador, 2017)

Além destes, existem outras tecnologias disponíveis nos veículos, tais como: indicadores de velocidade, que aconselham o condutor a adaptá-la de forma a reduzir o consumo de combustível; o reconhecimento de sinais de trânsito que automaticamente alertam o condutor com informação gráfica; sistemas de navegação por GPS, com informação de trânsito e do ambiente; sistemas de controlo automático de velocidade, onde o veículo mantém uma velocidade definida pelo condutor (CC - Cruise Control), o Cruise Control Preditivo (PCC) que utiliza informação sobre a topografia da estrada para permitir ao veículo alterar ligeiramente a sua velocidade face à estabelecida pelo condutor, o Cruise Control Adaptativo, capaz de manter o veículo a uma velocidade constante em relação ao veículo da frente; ou o sistema autónomo de travagem de emergência: através de sensores de distância, deteta automaticamente uma situação de emergência e suplementa a força de travagem do condutor ou ativa ele próprio o sistema de travagem para evitar uma colisão (Mendonça, 2014).

Heucke et al. (2016) defende que o aumento gradual da presença de ADAS e dos recursos autónomos do veículo irá permitir que as gerações futuras possuam a capacidade de reconhecer o estilo do condutor, o que permitirá individualizar os sistemas e melhorar o consumo de combustível e a segurança. Através das pesquisas efetuadas percebeu-se que os testes desenvolvidos necessitavam das linhas delimitadoras de vias bem definidas e legíveis, para que os componentes do veículo conseguissem manter a trajetória e a circulação do veículo dentro

dos limites da via. Um desafio impõe-se quando os veículos necessitam de circular em estradas com marcações horizontais inexistentes ou se encontram degradadas. No entanto já existem tecnologias capazes de solucionar este problema. Exemplo disso é o trabalho desenvolvido por Narayan et al. (2018) que através da deteção de diferenças de cores entre a zona de estrada e as áreas que não pertencem à estrada, desenvolveram um sistema capaz de projetar controladores que permitem a circulação em estradas sem marcações horizontais delimitadoras da via.

A complexidade e o tipo de auxílio que os ADAS oferecem permitem agrupar os veículos em diferentes níveis de automação.

#### 2.2.4 Níveis de Automação

Com o objetivo de clarificar qual o nível de autonomia que os veículos possuem, a SAE (*Society of Automotive Engineers*) e a NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) desenvolveram classificações, tendo em conta o papel do condutor e do veículo no exercício de condução.

A SAE organiza a autonomia em seis níveis distintos (Quadro 2.1) que vão de SAE 0 (sem automação) a SAE 5 (automação total). Já a NHTSA usa cinco níveis (@Tecnomundo, 2017). O objetivo da classificação da SAE consiste em fornecer uma terminologia comum para a condução automatizada, oferecendo um sistema de classificação harmonioso tendo como base definições sobre os aspetos funcionais das tecnologias implementadas nos veículos, esclarecendo qual o papel do condutor em cada nível de automação (SAE international, 2016).

Existe uma distinção fundamental a ser efetuada entre o nível 2 e o nível 3. No segundo nível o condutor humano faz parte integrante da tarefa de condução dinâmica, enquanto que no nível seguinte o sistema de condução automatizado apresenta a possibilidade de executar toda a tarefa de condução dinâmica (McGehee et al., 2016), embora, este nível continue a necessitar da intervenção humana para determinadas tarefas aquando solicitado. A função de condução dinâmica inclui os aspetos operacionais e táticos da prática da condução, deixando de parte os aspetos não táticos, como determinar destinos e pontos de passagem. Os aspetos operacionais englobam a direção, a aceleração e a monitorização do veículo e da estrada, enquanto que os aspetos táticos correspondem á resposta a determinados eventos existenciais, á determinação de quando mudar de pista, quando virar e enviar sinais (SAE international, 2016).

Ao longo dos anos e do desenvolvimento das tecnologias que mostraram apresentar condições para serem utilizadas na automação dos veículos, foram feitas extensas pesquisas relativamente aos níveis de autonomia iniciais, ou seja o nível 0 e nível 1. Com isto, as pesquisas começaram a dirigir-se para os níveis de autonomia de 2 a 4, onde o ACC e modos de evitar a colisão foram estudados de forma significativa, exemplo disso é a pesquisa de Moon et al. (2009). A maioria dos carros fabricados hoje estão munidos de autonomia de nível 2.

Quadro 2.1 - Níveis de Autonomia (SAE, 2016; OECD, 2015)

	Nível SAE	Definição	Direção, Aceleração, Desaceleração	Monitorizar ambiente de condução	Condução dinâmica	Capacidade do sistema
Ambiente rodoviário monitorizado pelo Condutor	0	<u>SEM AUTOMAÇÃO</u> O condutor é o único interveniente em todos os processos da condução do veículo, desde a aceleração e direção, ao monitoramento do ambiente exterior e às respostas dinâmicas em situações de risco.				
	1	<u>ASSISTÊNCIA AO CONDUTOR</u> execução específica do modo de condução por um sistema de assistência ao condutor na direção ou aceleração / desaceleração usando informações sobre o ambiente de condução e com a expectativa de que o condutor humano execute todos os aspectos restantes da tarefa de condução dinâmica.				Alguns modos de condução
	2	<u>AUTOMAÇÃO PARCIAL</u> a execução específica de modo de condução por um ou mais sistemas de assistência ao condutor tanto de direção como de aceleração / desaceleração usando informações sobre o ambiente de condução e com a expectativa de que o condutor humano execute todos os aspectos restantes da tarefa de condução dinâmica				Alguns modos de condução
Ambiente rodoviário monitorizado pelo Veículo	3	<u>AUTOMAÇÃO CONDICIONAL</u> desempenho específico do modo de condução por um sistema de condução automatizado de todos os aspectos da tarefa de condução dinâmica com a expectativa de que o condutor humano responda adequadamente a um pedido para intervir				Alguns modos de condução
	4	<u>ALTA AUTOMAÇÃO</u> desempenho específico do modo de condução por um sistema de condução automatizado de todos os aspectos da tarefa de condução dinâmica, mesmo que o condutor humano não responda adequadamente a um pedido para intervir				Alguns modos de condução
	5	<u>AUTOMAÇÃO COMPLETA</u> desempenho em tempo integral por um sistema de condução automatizado de todos os aspectos da tarefa de condução dinâmica sob todas as condições ambientais e rodoviárias que podem ser geridas por um condutor humano				Todos os modos de condução

Os AVs serão considerados veículos nos quais o condutor não é obrigado a monitorar as condições da estrada, ou seja, os carros irão reagir sem necessidade de interação humana. Atualmente, não há veículos com tecnologia de nível 4, no entanto, Elon Musk, co-fundador e CEO da Tesla, antecipa que o nível 4 será alcançável até 2018 (Drury et al., 2017).

### 2.2.5 Perceção

O sistema de perceção de um AV, permite que as características do ambiente exterior sejam classificadas de modo a obter o maior número de informações em tempo real. A tecnologia de perceção é constituída na sua maioria por sensores, nos quais podem ser registados com maior utilização: o LiDAR, radares, câmaras, sensores ultrassônicos, entre outros. Os dados gerados a partir de cada sensor têm de ser interpretados com precisão para uma operação satisfatória dos AVs (De Silva et al., 2017). Apesar da grande fiabilidade e eficácia, os sensores podem apresentar incertezas. Além de eventuais erros provenientes dos dispositivos eletrónicos e dos



parâmetros de calibração, interferências devido às condições climáticas e do ambiente exterior podem afetar também a qualidade das informações. Devido a reflexão de luz e existência de sombras, as câmaras podem sofrer interferências na qualidade da imagem, enquanto que os lasers podem apresentar problemas na identificação de distâncias a objetos metálicos, e os sensores ultrassônicos geralmente não possuem precisão adequada para determinar a correta dimensão de determinado objeto (Barbosa, 2017).

A informação obtida pelos componentes que constituem o sistema de perceção é processada sendo obtidos indicadores tridimensionais dos obstáculos estáticos e em movimento, onde o veículo deverá realizar determinadas ações de modo a evitar colisão. De um modo geral, este sistema, distingue veículos, peões ou outros elementos, definindo as marcações existentes na faixa de rodagem e identificando sinais de trânsito e luminosos. As tecnologias implementadas nos AVs encontram-se em permanente estado de desenvolvimento e vão sendo aplicadas nos veículos consoante o estado de autonomia que possuem.

A perceção é alcançada através da fusão dos dados recolhidos pelos diferentes sensores, o planeamento é executado usando os algoritmos presentes no sistema, enquanto que os atuadores transformam as informações recolhidas em movimentos (Mcgehee et al., 2016). Percebendo como estes sistemas funcionam, entende-se como se torna possível a circulação de um veículo sem intervenção humana.

Assim, para que a autonomia seja alcançada nos diversos níveis, o veículo necessita de estar equipado com diversos componentes capazes de fornecer à interface responsável a obtenção das necessárias informações para a atuação dos diversos mecanismos autónomos (@Autoesporte, 2017). De seguida descrevem-se os seguintes sensores (Figura 2.7): radar, câmaras, LiDAR, sensores ultrassônicos e tecnologias de fusão sensorial.

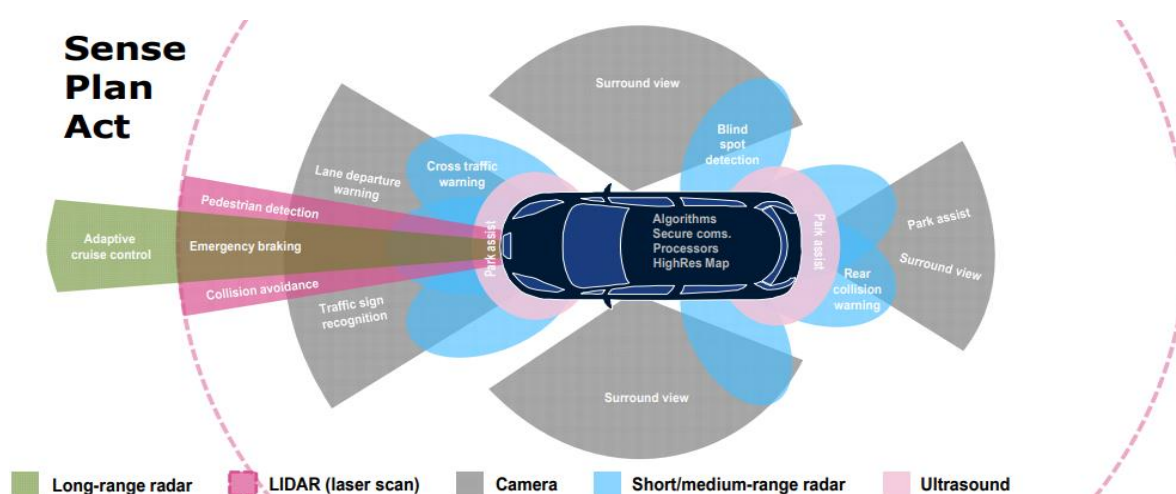


Figura 2.7 - Sensores de um Veículo Autónomo (OECD, 2015)

- **Radar**

Os veículos equipados com radares emitem ondas de rádio com o objetivo de detetar objetos, estimando a distância a que estes se encontram e por vezes, o local. Segundo Mcgehee et al. (2016), existem dois tipos de radares nos AVs, os de curto alcance (SRR - *Short Range Radar*) que detetam a que distância se encontram determinados objetos, num alcance até 20 metros e os de longo alcance (LRR - *Long Range Radar*) que consegue calcular a distância de um objeto no caminho do veículo até 150 metros, possuindo uma resolução angular de dois graus. Devido à particularidade do SRR não possuir a capacidade de detetar ângulos, este tipo de radar é emparelhado com outros sensores, como câmaras, para conseguir obter esse tipo de informação. O radar é ainda capaz de calcular a velocidade dos carros e dos objetos existentes na via e classificá-los de acordo com a sua relevância (@Autoesporte, 2017).

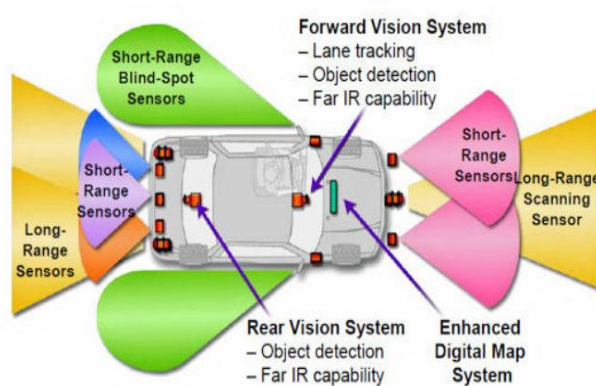
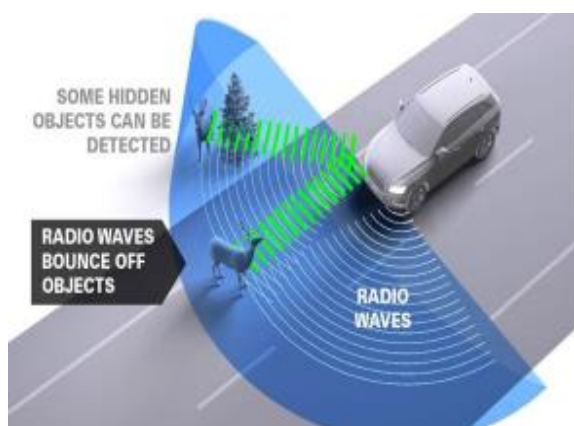


Figura 2.9 - Ação Radar (Feldmaier (2016))      Figura 2.8 - Radar (Mcgehee el al., 2016)

Relativamente á aplicabilidade dos dois tipos de radares, o SRR pode ser encontrado em sistemas de assistência de estacionamento e de aviso de colisão, enquanto o LRR é usado em aplicações de deteção de longo alcance como o ACC, ou medindo a distância a um determinado veículo que se encontre sua frente indicando a velocidade desse (Mcgehee et al, 2016). A utilização de radares é eficiente por ter a capacidade de atuar tanto de dia como de noite, e consegue detetar objetos escondidos, apesar de não conseguir fazer uma diferenciação de cores nos objetos que identifica (Feldmaier, 2016).

- **Câmaras**

Um veículo equipado com câmaras ostenta um mecanismo essencial no estudo do ambiente externo, crucial na tecnologia veicular autónoma. A câmara consegue detetar obstáculos, conseguindo identificar as suas cores e os seus limites, permitindo o reconhecimento das linhas nas estradas, a leitura de sinais luminosos, de trânsito e luzes traseiras de veículos (Mcgehee et al, 2016). Apesar de conseguir classificar os objetos que identifica, não conseguem detetar objetos que estão escondidos, por exemplo um animal que se encontre atrás de um obstáculo.

Apresenta também a desvantagem de não ser eficaz quando a luz solar incide diretamente na câmara ou em situações noturnas, em que a visibilidade é reduzida (Feldmaier, 2016).

Embora não consigam medir distâncias de modo direto, as câmaras conseguem comparar as mudanças de tamanho dos objetos (Mcgehee et al., 2016). Sistemas mais evoluídos possuem duas câmaras que conseguem gerar uma imagem 3D, possibilitando a perceção de distância (@Autoesporte, 2017). Um exemplo da importância deste componente de resposta autónoma pela parte do sistema, no caso de detetar uma criança, que aparece na frente do veículo, depois da imagem fornecida, os freios são acionados, parando autonomamente o carro.

A Figura 2.11 ilustra a forma como as informações recolhidas pela câmara são processadas. Referido anteriormente, as imagens recolhidas são processadas por um software com o intuito de fazer a distinção dos intervenientes do ambiente rodoviário. A integração com o radar torna possível identificar os objetos que se encontram em movimento com o fluxo de tráfego (azul) e aqueles que não acompanham esse fluxo (vermelho), assim como procede à identificação das marcações das vias (amarelo).

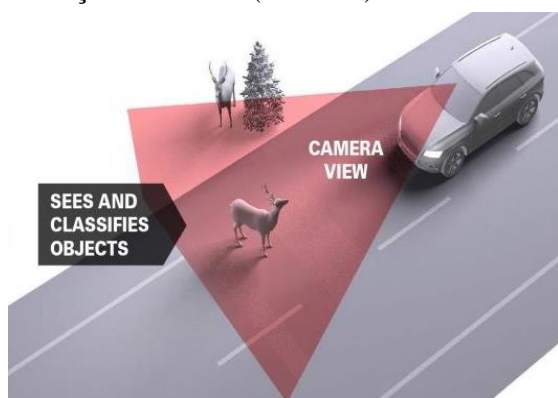


Figura 2.10 - Ação Câmaras (Feldmaier 2016)

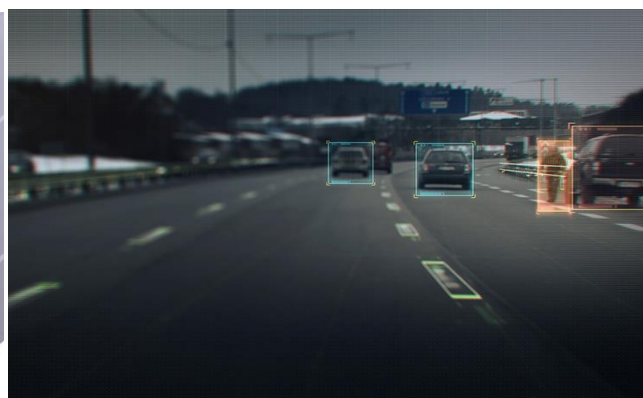


Figura 2.11 - Recolha de Informação processada por câmara (Mcgehee et al., 2016)

- **LiDAR**

O aparelho LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é um sensor externo, no teto do veículo com forma cilíndrica (@Tecnomundo, 2017). Seguindo o mesmo princípio do radar, o LiDAR, através de ondas eletromagnéticas de luz, tem a capacidade de projetar o ambiente em torno do veículo. Essas ondas são refletidas nos objetos, são recebidos dados para interpretação (Feldmaier, 2016), que permitem o cálculo da distância dos objetos (Figura 2.12), conseguindo proceder á distinção entre pessoas e objetos (@Autoesporte, 2017; Filgueira et al., 2017). O LiDAR é o único sensor capaz de medir ângulos precisos, na direção horizontal e vertical, possibilitando a criação de mapas 3D (Figura 2.13), de alta resolução, do ambiente rodoviário externo ao veículo. Estes dados integrados com dados do mapa GPS 2D permitem que os veículos naveguem nos ambientes em que estão inseridos (Mcgehee et al., 2016).

De um modo geral, os carros que têm sido desenvolvidos com características autónomas encontram na sua constituição este componente. Relativamente ao seu funcionamento, o LiDAR atua permanecendo em movimento giratório, usando os raios laser (Figura 2.13) para gerar um conjunto de coordenadas dos lugares onde são refletidos.

É importante referir que quanto maior o número de lasers e de sensores de captura existentes, maior é a quantidade e a qualidade dos pormenores obtidos, importante na deteção de objetos com configuração mais pequena e que se encontrem em movimento. No entanto, o LiDAR apresenta limitações: devido às propriedades físicas da luz, há elementos que refletem melhor a luz do que outros; em condições meteorológicas adversas os lasers podem apresentar dificuldade em definir objetos (Feldman, 2016; Rasshofer et al., 2011), a distância máxima normalmente é de algumas dezenas de metros, o que pode não ser o suficiente em velocidades elevadas (@exameinformática, 2017). Filgueira et al. (2017) estudaram a forma como a chuva influencia a funcionalidade do equipamento. Segundo o fundador e CEO da *Luminar Technology*, empresa de sensores de AVs, os radares LiDAR mais sofisticados utilizam um conjunto de 64 lasers para analisar o ambiente, obtendo um alcance de cerca de 40 metros.

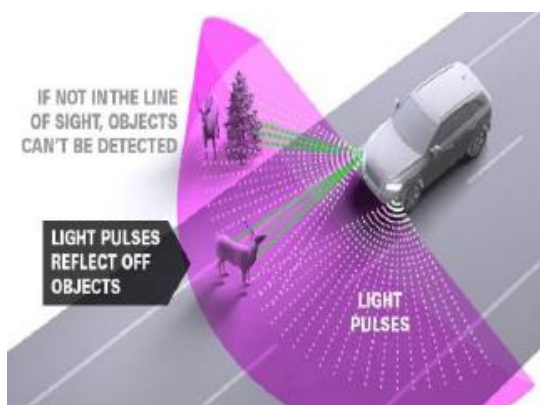


Figura 2.12 - Ação LiDAR (Feldmaier, 2016)

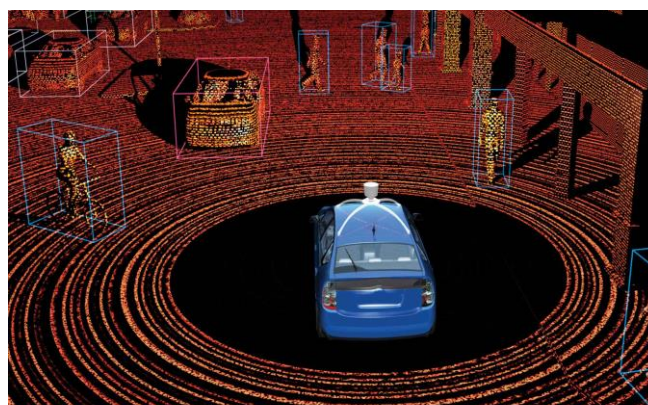


Figura 2.13 - Perspetiva da utilização do LiDAR (Mcgehee et al., 2016)

- **Sensores Ultrassónicos (“sonar”)**

Ao contrário dos outros sensores, que visam substituir a visão humana, os ultrassónicos são similares ao ouvido humano. São usados para determinar a distância de um objeto que esteja nas redondezas do veículo, através do envio de ondas sonoras de alta frequência. Estes componentes estão geralmente associados a sistemas de apoio encontrados nos veículos, como a assistência ao estacionamento, a manutenção do veículo em pista e em recursos de ACC (Mcgehee et al., 2016).

- **Fusão Sensorial**

A perceção do meio envolvente é obtida a partir de dados de diferentes sensores. Torna-se necessário a fusão de toda informação de modo a permitir uma operacionalidade mais eficiente

e segura. Este aglomerado de sensores permite que existam múltiplas perspetivas e informação semelhante capazes de auxiliar a tomada de decisão do sistema (Jun e Markel, 2017). A diversidade oferecida por múltiplos sensores, contribui positivamente para a perceção dos dados detetados. O alinhamento efetivo (seja no espaço, em elementos geométricos ou no tempo) de múltiplos fluxos de sensores heterogêneos e a utilização da diversidade oferecida pela deteção multimodal é referida como fusão de dados dos sensores (De Silva et al., 2017).

Segundo Martinez et al. (2017), a integração de vários sensores e de dados apresentam uma grande significância na tecnologia de AVs, defendendo que a informação proveniente de câmaras, radar, LiDAR e outros sensores especializados deve ser integrada para entender o ambiente rodoviário. Esta multimodalidade e redundância na deteção precisam de ser positivamente utilizadas para uma perceção fiável e consistente do meio ambiente através da fusão de dados dos sensores. No entanto, esses fluxos de dados de sensores multimodais diferem entre si, na resolução temporal e espacial, formato de dados e alinhamento geométrico.

Embora os fabricantes dos sensores geralmente forneçam informação sobre o comportamento de seus dispositivos, não é presumível que estes estejam disponíveis numa situação de fusão de sensores (Martinez et al., 2017). Assim para que os algoritmos de perceção subsequentes utilizem a diversidade oferecida pela deteção multimodal, os fluxos de dados precisam ser alinhados uns com os outros em, temporal e geometricamente (García-Ligero et al., 2012).

### 2.2.6 Navegação

O sistema de navegação fornece informações de alto nível para garantir que o veículo seja capaz de se deslocar desde um ponto inicial e alcance com sucesso, e em segurança, o destino final. Este sistema define por exemplo, se numa interseção o veículo deve virar à direita, à esquerda ou seguir em frente, recalcula rotas e procura formas alternativas de chegar ao destino. Assim, o sistema de navegação é responsável por determinar a posição e velocidade lineares e angulares de um corpo relativamente a um referencial, recorrendo para tal a um conjunto de sensores internos (Carvalho, 2009). O sistema de navegação incorporado nos veículos permite que o deslocamento feito nos variados ambientes seja calculado através de informações proprioceptivas e exteroceptivas fornecidas, respetivamente, pelos sistemas de localização e perceção. As informações são processadas por algoritmos de navegação, desenvolvidos em função de fatores como o nível de autonomia do veículo, das aplicações existentes, entre outros (Barbosa, 2017).

A utilização de Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Positioning System*) permite que os sistemas de navegação consigam alcançar os objetivos a que se propõem, mencionados anteriormente.

O GPS tem como principal função, encontrar a rota para um determinado local, a velocidade e direção. Esta tecnologia, inserida no veículo e atuando como um sistema importante na

definição da trajetória, contribui com importantes informações para a deslocação de forma autónoma dos veículos. Assim, através desta tecnologia, o veículo consegue traçar o caminho desejado, tendo em conta as rotas fornecidas pelo GPS. Quando emparelhados com GPS e mapas digitais, os algoritmos de planeamento de rotas podem selecionar a rota mais curta para um destino, representando mesmo o tráfego congestionado ou bloqueado e definindo rotas alternativas mais rápidas (Mcgehee et al, 2016).

Os sistemas de perceção permitem conhecer o ambiente envolvente, porém é também importante conhecer previamente a área em que o veículo se encontra. Isto, é possível através de mapas de alta-definição previamente carregados no veículo. Estes mapas têm a vantagem de reduzir o processamento de dados sensoriais, necessário para conhecer o ambiente envolvente. Com estes mapas a perceção pode-se focar somente na envolvente dinâmica, por exemplo a identificação de peões, em vez de se dedicar ao reconhecimento, de sinais de trânsito ou marcas rodoviárias. Todavia a criação destes mapas e a sua constante atualização é uma tarefa bastante desafiante.

### **2.2.7 Controlo**

O Sistema de Controlo apresenta um importante papel na condução dos AVs. A competência de execução de um sistema autónomo é o processo de conversão de intenções em ações. O principal objetivo deste sistema é executar todos os processos e informações provenientes dos sistemas anteriormente descritos, de modo a fornecer as diretrizes necessárias aos atuadores dos sistemas de ação para realizarem as intenções planeadas (Pendleton et al., 2017).

Este sistema necessita de estar em constante interação em (tempo real) com os sistemas de planeamento ou navegação e perceção para que, sempre que uma alteração seja abordada por estes sistemas, o controlo tenha capacidade para atuar de um modo eficiente, rápido e constante. O controlo recebe assim informações destes sistemas e procede à gestão da utilização dos recursos de bordo de forma a maximizar o valor das atividades para cumprimento dos objetivos de acordo com os requisitos especificados (Carvalho, 2009).

O sistema de controlo automático de condução existente num veículo autónomo inclui controladores longitudinais e laterais. O controlador longitudinal é responsável por regular a velocidade do veículo de acordo com o requisito de velocidade, enquanto o controlador lateral manipula o sistema de direção do veículo para o rastreamento da trajetória (Xu et al., 2016).

### **2.2.8 Veículos Inteligentes**

Além da autonomia que caracteriza os AVs, estes serão também reconhecidos pela sua inteligência. Incorporados com todas as tecnologias com o objetivo de procederem à recolha de informação e dos hardwares e softwares que fazem parte dos sistemas autónomos, os veículos serão também equipados com inteligência artificial, possuindo um computador de bordo com inteligência artificial e capacidade de aprendizagem, que será o cérebro dos AVs do futuro.

Um veículo equipado com inteligência artificial tem o potencial de reconhecer situações de tráfego mais complexas, aprendendo de forma autónoma como lidar em determinada situação, tendo em consideração decisões tomadas anteriormente. Um exemplo disso é a forma como o modelo semiautónomo da Mercedes procede, que reconhece informações de como o condutor se comporta num determinado troço de uma estrada, para que quando a tecnologia estiver no controlo, proceder de igual forma na mesma situação de trânsito. A inteligência artificial terá assim a potencialidade de gerar conhecimentos para poderem ser transmitidas para outros computadores de bordo com inteligência artificial através de atualizações (@sapo, 2017).

## 2.3 Veículos Conetados

### 2.3.1 Considerações Iniciais

Os veículos autónomos e conectados (CAV - *Connected and Autonomous Vehicles*) têm a capacidade de antecipar e de evitar possíveis colisões, de se deslocarem utilizando itinerários mais eficazes para alcançarem o seu destino, fazendo uso de relatórios de trânsito atualizados, identificar estacionamentos disponíveis mais próximo e de minimizar emissões.

Os AVs, conectando-se com os restantes veículos, com a infraestrutura e com os elementos do ambiente rodoviário, podem revolucionar a mobilidade e, conseqüentemente, o meio em que circulam. Segundo Nair et al. (2017) a NHTSA defendeu publicamente uma proposta em que tornaria obrigatório o uso de comunicação nos veículos do futuro, apresentando um relatório onde é sugerido que a comunicação nos veículos apresenta o potencial de reduzir o número de colisões em cerca de 81%, tornando razoável defender que, num futuro próximo, uma grande proporção de veículos em circulação apresentará a capacidade de comunicar entre si e com a infraestrutura.

Os sistemas de veículos conectados têm exercido relevância no desenvolvimento de programas inteligentes de sistemas de transporte, dada a sua capacidade de suportar uma ampla gama de aplicações de sistemas inteligentes de transporte (ITS - *Intelligent Transportation Systems*) e de englobar veículos e elementos da infraestrutura, resultando num sistema de transportes bem integrado (Shladover, 2017). A tecnologia tradicional procura a otimização das funções internas dos veículos, a atenção dos fabricantes de automóveis tem procurado desenvolver a capacidade do veículo em conectar-se com o mundo exterior, melhorando o processo de condução e de segurança.

Segundo uma pesquisa efetuada em 2014 e referenciada em @Pirelli (2017), em países como Alemanha, Estados Unidos e Brasil, 13% dos consumidores não dispõem de veículos sem acesso a internet, e ainda um quarto destes prefere as características de conectividade às potencialidades do motor. Estes dados esclarecem que as expectativas dos consumidores têm

impulsionado as linhas de produção no desenvolvimento e introdução das características de conectividade nos veículos.

Um CV (veículo conetado), entende-se como um veículo capaz de comunicar com outros veículos e com agentes externos, capazes de receber sinais sobre o estado do veículo, de determinada ocorrência na faixa de rodagem ou sinais de alerta para auxiliarem o condutor na sua condução.

Pelo trabalho de Diniz (2017) e de acordo com a NHTSA, as colisões envolvendo veículos a motor somaram 32.885 mortes em 2012 traduzindo-se como a principal causa de óbito entre americanos de 5 a 44 anos. Este, apoia que a inclusão das tecnologias de veículos conectados oferece condições para que o número de colisões e fatalidades sejam reduzidas a médio prazo. Diniz (2017) indica ainda que o uso combinado de aplicativos capazes de proceder à troca de informação entre veículos e a infraestrutura têm o potencial de evitar 81% das colisões quando não se registam debilidades no estado de saúde dos condutores.

Uma rede de comunicação sem fio é a base dos sistemas de transporte conectados. Confiável e sem erros, a comunicação direta entre veículos e com a infraestrutura é o componente crítico das aplicações da tecnologia de um CV (Dey et al., 2016). Um dos grandes desafios, é o desenvolvimento de protocolos de comunicação, uma vez que existem diversos requisitos de comunicação, usados em diferentes países seguindo diferentes regras de trânsito e até mesmo diferentes frequências de bandas legais (Dar et al., 2010).

Diniz (2017) aponta vantagens da comunicação entre veículos, salientando as seguintes ideias:

- As colisões podem diminuir drasticamente quando os veículos são alertados de situações de perigo com antecedência;
- A mobilidade pode ser otimizada quando os condutores, utilizadores do transporte público e controladores de tráfego, têm acesso a informações atualizadas, precisas e abrangentes sobre as condições do trânsito;
- O impacto ambiental pode ser reduzido se as decisões feitas pelos condutores resultarem de informações antecipadas, acerca de meios de transporte ou de rotas, ou quando os veículos consigam comunicar com a infraestrutura para otimizar o gasto de combustível, evitando paragens, acelerações e ou desacelerações desnecessárias.

Segundo a pesquisa bibliográfica, até 2020 o veículo conetado deverá transformar todo o ecossistema automotivo, no entanto, ainda restam muitos desafios técnicos, legais e de segurança a serem vencidos para que os futuros consumidores se sintam confortáveis e seguros ao usufruir de veículos altamente conectados e autónomos.



### 2.3.2 Comunicações

Através da pesquisa literária foi possível identificar os tipos de comunicações possíveis entre veículos, restantes intervenientes e infraestruturas do ambiente rodoviário. Na Figura 2.14 é ilustrado que tipo de entidades o veículo será capaz de comunicar.

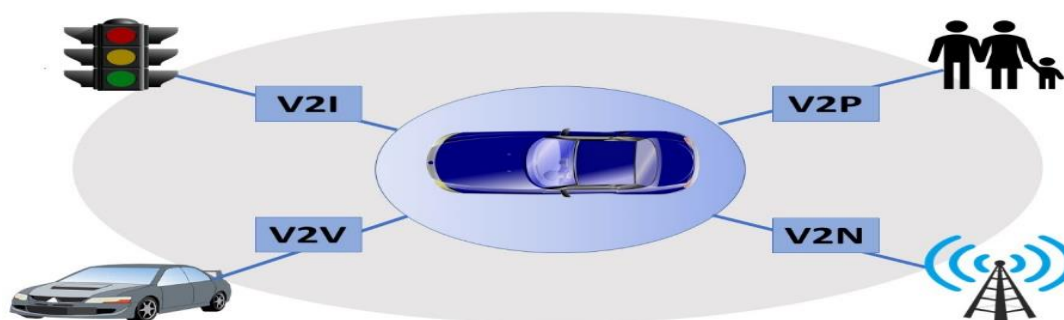


Figura 2.14 - Comunicação no ambiente rodoviário

- **V2V**

V2V sendo a sigla do termo *Vehicle-to-Vehicle*. Caracteriza-se por ser a comunicação entre veículos em circulação na faixa de rodagem (Figura 2.15). Ao trocar dados de forma anónima, a comunicação V2V permite que um veículo preveja ameaças e certos perigos, além de calcular riscos ou alertar os condutores a tomar iniciativas de maneira a evitar ou minimizar colisões (Hill, 2013).

As comunicações V2V e V2P (*vehicle-pedestrian*) baseiam-se essencialmente na capacidade de transmissão entre veículos ou entre veículos e utentes vulneráveis da estrada como peões e ciclistas. Dependendo do sistema adotado, pode ser gerado um alerta ao condutor numa situação de perigo ou realizar uma ação preventiva (Neto et al., 2016). A comunicação V2V envolve veículos que usam redes sem fio para enviar mensagens entre si sobre o que fazem. As informações retratam a localização atual do veículo, a velocidade, a trajetória, eventuais paragens ou se os sistemas de controlo de estabilidade ou de tração foram ativados. O princípio fundamental desta abordagem é a comunicação de uma mensagem *básica* de segurança (BSM - *Basic Security Message*). Que pode ser proveniente dos dados de sensores implementados, sendo os dados de localização e velocidade provenientes do computador do veículo e combinados simultaneamente com outros dados, tais como latitude, longitude ou ângulo, proporcionando uma informação situacional sobre a posição dos restantes veículos (Hill, 2013).

Na possibilidade de uma colisão com um obstáculo, a comunicação V2V pode enviar um sinal para os veículos que se encontrem nas proximidades, permitindo que adequem a circulação de modo a realizar uma ação que permita evitar qualquer comportamento que ponha em perigo os intervenientes do trânsito. Assim, é possível a redução do número de acidentes, havendo uma atualização constante em tempo real de informações de trânsito, com uma transmissão efetiva

para todos os veículos em circulação. A comunicação entre veículos contribui para o aumento da segurança rodoviária permitindo uma redução exponencial de situações de perigo e de colisão entre os diversos intervenientes das faixas de rodagem, salvando milhões de vidas e evitando dezenas de milhões de lesões todos os anos (@saferoads, 2017).

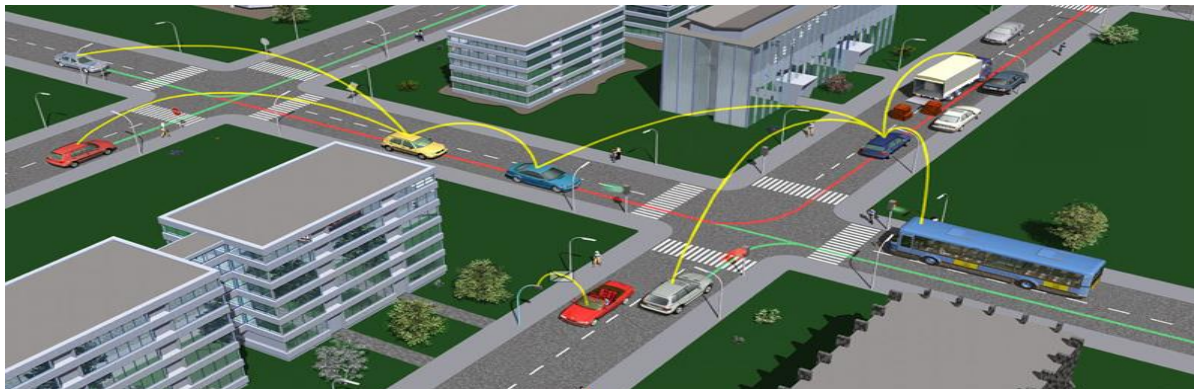


Figura 2.15 - Comunicação V2V (@extremeTech, 2014)

Este tipo de interação de informação utiliza a comunicação de curto alcance (DSRC - *Dedicated Short Range Communications*) para transmitir as informações. Os dados são atualizados e transmitidos até 10 vezes por segundo, e através dessa informação, veículos equipados com V2V podem identificar riscos e avisar os condutores de perigos. A comunicação DSCR entende-se como uma tecnologia de comunicação que utiliza uma ou duas vias de transmissão de dados sem fio, projetada para uso automobilístico (Varum et al., 2010). A DSRC é um protocolo de fonte aberta para a comunicação sem fios, semelhante ao Wi-Fi em alguns aspetos. Enquanto o Wi-Fi é usado em redes locais sem fios, a DSRC tem como objetivo a comunicação sem fios em alta velocidade entre veículos e a infraestrutura, primando a segurança (Hill, 2013).

A literatura pesquisada provou que o uso do DSRC é capaz de suportar redes móveis com a comunicação V2V e V2I (*Vehicle-to-infrastructure*) (Lioris et al., 2016). Ploeg et al. (2011) centralizaram a sua investigação no controlo coordenado de veículos usando a comunicação V2V de maneira a alcançar manobras, usando o controlo de cruzeiro adaptativo cooperativo, assim como Au et al. (2015) que estudaram a passagem de veículos numa interseção sem sinais.

- **V2I**

Além da comunicação descrita anteriormente, a infraestrutura apresenta mecanismos que possibilitam a troca de informação com os veículos. A esta troca de informação dá-se o nome de comunicação V2I (Figura 2.16).

A infraestrutura pode funcionar como intermediário para a comunicação entre veículos, auxiliando a transmissão de dados quando as distâncias são maiores, ou então realizar a gestão de tráfego, processando os dados recolhidos pelos veículos ou pelos equipamentos instalados nas vias, enviando dados e informações atualizadas para os veículos em circulação (Neto et al.,

2016). A comunicação V2I ocorre entre um veículo e um RSU (*Road Side Unit*). Este tipo de comunicação pode incluir a comunicação entre veículos e dispositivos de controlo de tráfego como sinais luminosos, placas de obras na estrada, entre outros (Barradas, 2017).



Figura 2.16 - Comunicação V2I (@driverless, 2015)

A comunicação V2I traduz-se pela troca de informação sem fios de dados críticos de segurança e operacionalidade entre os veículos e a infraestrutura rodoviária, com o principal objetivo de evitar acidentes entre os veículos em circulação, permitindo uma ampla gama de benefícios de segurança, mobilidade e meio ambiente. Os dados enviados dos veículos para a infraestrutura designam-se por *Probe Vehicle Data* e indicam parâmetros como a velocidade, posição, taxa de aceleração ou desaceleração e velocidade angular do veículo equipado (Neto et al., 2016).

O Departamento de Transportes dos Estados Unidos refere que podem ser evitados mais 12% de possíveis cenários de colisão com o uso de aplicativos de segurança contendo V2I. A visão defendida, relativamente às pesquisas relacionadas com a comunicação V2I, tem como objetivo alcançar aplicações de segurança capazes de mitigar acidentes rodoviários, com preponderância nos cenários de colisão que não são abordados pela comunicação V2V (@its, 2016). Um exemplo prático desta intervenção é a capacidade de monitoramento de uma via permitindo a imposição de uma velocidade limite variável para permitir um maior fluxo de veículos.

A NHTSA planeia formalizar regulamentação para a comunicação V2I. A finalidade desta prende-se com a necessidade e interesse em melhorarias na mobilidade, no congestionamento e na redução do número de acidentes. Avançando com valores estimados dá-se conta que cerca de 80% dos acidentes em que o condutor não tem ângulo de visão para com o carro oposto, como em situações de cruzamento ou mudança de faixa, podem ser evitados com a implementação e utilização das duas tecnologias, V2V e V2I.

Como descrito em Dey et al. (2016) o uso de tecnologias sem fio como Wi-Fi, LTE ou WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), permitem comunicações de longo alcance e requisitos de taxas de transferência que não podem ser suportados apenas com o uso da tecnologia DSRC. Enquanto a DSRC oferece uma baixa área de envolvimento, uma conectividade de rede rápida e uma comunicação altamente segura e de alta velocidade para

aplicações de segurança, a dependência do uso de DSRC pode ser prejudicial para determinados aplicativos. Segundo Dey et al. (2016) têm sido realizadas diversas pesquisas com o objetivo de estudar aplicações de tecnologias sem fios para aperfeiçoar as comunicações V2V e V2I. Face a estas diretrizes, o objetivo das entidades de pesquisa tem-se traduzido numa combinação de DSRC com tecnologias de comunicação Wi-Fi, WiMAX e LTE para fornecer uma rede de comunicação de gestão próxima para veículos conectados (Dar et al., 2010).

- **V2X**

A comunicação no sistema rodoviário necessita inevitavelmente de um parceiro, sendo um veículo ou algum equipamento na infraestrutura. No entanto, além destes dois conceitos, surge um terceiro que se destina á troca de informação entre um veículo com qualquer elemento do sistema de transporte. Esta vertente designa-se por V2X e alcança veículos, peões, *gateways* de internet e equipamentos da infraestrutura de transporte como semáforos e sinais (Abboud et al., 2016). Neto et al. (2016) define a comunicação V2X como a conetividade entre o veículo e qualquer outro elemento do sistema, sendo apelidada de conexão *Vehicle-to-Everything*.

A comunicação V2N ocorre entre um veículo e um servidor de aplicação V2X, esta comunicação pode incluir a comunicação entre o veículo e o servidor via rede 4G / 5G, como para operações de tráfego (Barradas, 2017). Segundo Abboud et al. (2016) aplicações que permitam fornecer aviso de colisão cooperativa, acesso á internet no veículo, notificações de pontos de interesse e diagnóstico remoto de veículo poderão ser suportadas com as comunicações V2X. Estas permitem que a colaboração entre os elementos seja exponenciada, permitindo eliminar até cerca de 80% dos acidentes existentes (Hobert et al., 2016).

Existem duas soluções capazes de suportar este tipo de comunicação, a comunicação dedicada de curto alcance e tecnologias de rede celular. De modo a evoluir com estas vertentes de comunicação tem-se registado o impulso de marcas mundiais com o desenvolvimento de produtos. Para tal, marcas como a *Bosch*, *Vodafone* e *Huawei* no ano de 2017, anunciaram a criação de uma nova tecnologia, denominada *Cellular-V2X*, que permite proceder á comunicação em tempo real, entre automóveis e o espaço exterior que o rodeia. Aplicando testes numa cidade alemã, os relatórios comprovaram a validade da solução, tendo aplicabilidade em sistemas de alerta, em tempo real, quando se muda de faixa nas autoestradas ou em caso de travagem brusca (@bosh, 2018).

A @razaoAutomóvel (2017) avança ainda que a tecnologia pode possibilitar a troca de informação entre veículos no que toca a cruzamentos com má visibilidade, sobre veículos em paralelo, ou sobre uma possível situação que esteja a acontecer quilómetros a frente. Esta tecnologia oferece auxílio nos sistemas de apoio á condução como o ACC, onde existe apoio na manutenção da velocidade desejada, ou ações como travar e acelerar antecipadamente em

função da situação de tráfego existente, com o veículo a reconhecer e a antecipar o comportamento dos outros intervenientes ao seu redor.

### 2.3.3 Aplicações - exemplos

- **Interseções**

Os índices de segurança e de fluxo de trânsito, encontrados nas diferentes situações citadinas e que originam normalmente congestionamento de trânsito, podem ser ultrapassados e melhorados com a introdução dos AVs e CVs. Um dos exemplos onde a tecnologia CAVs pode beneficiar os padrões de segurança e eficiência de transporte é no uso de semáforos e comunicação veículo-infraestrutura (Li et al., 2014).

A forma como a informação é distribuída e processada, pode ser praticada usando duas abordagens diferentes, de uma maneira centralizada quando existe pelo menos uma tarefa encontrada no sistema que é globalmente decidida para todos os veículos por um único controlador central. Por outro lado, numa abordagem descentralizada, um "coordenador" pode ser usado para manipular ou distribuir informações disponíveis no sistema, no entanto, não procede a qualquer realização de controlo (Martínez et al., 2017).

Dresner e Stone (2004) propôs um esquema de reserva para o controlo automatizado da interseção do veículo, onde um controlador centralizado coordena um cronograma de cruzamento tendo por base solicitações e informações recebidas dos veículos localizados dentro de um intervalo de comunicação. Com o passar dos anos, novos estudos foram realizados, lidando sempre com o objetivo de aumentar o caudal dos cruzamentos, otimizando o tempo de viagem, onde a tentativa de resolver e melhorar a coordenação em interseções com um controlo considerado descentralizado era o principal objetivo (Huang et al., 2012).

Mais recentemente Martinez et al. (2017) através de um estudo, onde utilizaram duas interseções adjacentes numa área urbana, abordou a situação da coordenação entre um fluxo contínuo de CAVs. Salientando um controlo descentralizado, a solução sempre que possível, considerava quando os veículos deveriam proceder a acelerações e desacelerações, visando minimizar o consumo de combustível e evitar o congestionamento, levando em consideração a restrição de evitar a colisão. Com avanços práticos na comunicação V2I, condições são asseguradas para que sejam procedidas alterações na infraestrutura rodoviária convencional, no que a controlo de tráfego por sinais luminosos diz respeito, podendo tornar mais fácil o reconhecimento da tecnologia existente em todos os intervenientes.

As interseções rodoviárias são situações de trânsito onde o congestionamento se intensifica, uma vez que a capacidade destas representam apenas um quarto do fluxo máximo que pode ser acomodado na aproximação ao cruzamento (Lioris et al., 2016). Com o objetivo de fazer face a este tipo de congestionamento e aplicando a tecnologia CV, Lioris et al. (2016) explorou o

uso desta tecnologia aliada ao conceito *platooning* concluindo ao permitir a organização de veículos em pelotões, a capacidade da interseção pode ser aumentada em duas ou três vezes.

- **Platooning**

Só na União Europeia, a circulação de veículos pertencentes ao transporte de mercadorias é responsável por cerca de 21% das emissões totais de CO<sub>2</sub>, onde, 26% são provenientes do transporte rodoviário de mercadorias (Turri et al., 2015). Juntamente com os aumentos exponenciais dos combustíveis e a preocupação evidente da poluição provocada pela circulação de veículos pesados, a indústria automóvel tem desenvolvido uma técnica de circulação para este tipo de veículos designada de *platooning* (formação de pelotões) (Kamali et al., 2017). Este consiste numa série de camiões equipados com sistemas de suporte de direção de última geração, onde o primeiro se traduz como sendo o veículo líder, formando o resto dos veículos uma fila com proximidade reduzida entre eles. Esta forma de deslocamento forma um pelotão com os camiões movidos pela tecnologia inteligente e em mútua comunicação como ilustrado na Figura 2.17 (@eutruckplatooning, 2017).



Figura 2.17 - Exemplificação do conceito *platooning* (@driverless, 2015)

Nesta técnica de circulação, o veículo principal, ou seja, aquele que se desloca na primeira posição do pelotão formado, é seguido pelos restantes de forma autónoma, existindo uma comunicação entre todos os intervenientes, onde cada veículo, de um modo individual, observa o ambiente exterior e segue os comandos recebidos do veículo principal. (Kamali et al., 2017)

Os primeiros testes relacionados com o uso do *platooning* foram realizados e desenvolvidos no programa PATH - *Partners for Advanced Transportation Technology*, um dos pioneiros do desenvolvimento dos ITS. Segundo Godoy et al (2015) os testes desenvolvidos foram capazes de identificar benefícios no campo da segurança e no consumo de combustível.

Segundo Mcgehee et al. (2016), o *platooning* afirma-se como uma aplicação promissora capaz de aumentar a capacidade rodoviária e reduzir o consumo de combustível. Associado a sistemas de *cruise control* o sistema permite que através da comunicação V2V, os sistemas de travagem e de aceleração e desaceleração estejam interligados, permitindo que o veículo localizado na

retaguarda reaja automaticamente a ações realizadas pelo veículo à frente, de uma forma mais rápida que um condutor humano.

Organizando o grupo de veículos em curtas distâncias, ou seja, havendo um afastamento reduzido entre os veículos em circulação, permitindo uma circulação em segurança devido às comunicações entre veículos, o arrasto aerodinâmico geral pode ser reduzido já que ocorre uma redução da resistência praticada pelo vento. Como indicado em Turri et al. (2015) cerca de um quarto do consumo de combustível de um camião é gasto devido ao arrastar aerodinâmico, assim a circulação com esta técnica pode ter um grande efeito sobre a eficiência do combustível. Analisando os resultados experimentais abordados em Browand et al. (2004) e Alam et al. (2015), a utilização desta técnica reduz até 10% o consumo de combustível.

Em paralelo com testes realizados em ambientes de autoestrada, foram testadas aplicações em contexto urbano. Nas pesquisas efetuadas sobre a aplicação do *platooning* na mobilidade urbana, Lioris et al. (2017) avaliaram os potenciais benefícios desta técnica numa interseção, apresentando resultados satisfatórios comprovando que a capacidade da mesma, atinge valores onde o índice seria dobrado e por vezes triplicado. Apresentando o estudo efetuado por Peloton e descrito no trabalho de Mcgehee et al. (2016), Peloton conseguiu provar que a utilização da técnica em veículos em constante comunicação, reduz significativamente os tempos de reação, perante a condução humana, como perante a condução usando ACC.

Assim analisando a Figura 2.18 é feita uma comparação do período de latência, definido como a diferença de tempo entre o início de um evento e o momento em que os seus efeitos se tornam perceptíveis, entre camiões conduzidos por humanos sem qualquer tecnologia de assistência, veículos equipados com tecnologia automática (ACC) e veículos coordenados (em pelotão).



Figura 2.18 - Comparação dos resultados obtidos por Platoon (Mcgehee et al., 2016)

Nas primeiras duas barras é perceptível o grande período de tempo registado entre a travagem de um camião em circulação dianteira e a perceção, reação e travagem do camião com controlo humano imediatamente em perseguição. No conjunto de barras seguinte pode-se visualizar como um sistema "automatizado" com ACC, embora apresente tempos de perceção e reação diminuídos, ainda se regista um atraso considerado na travagem. Já nos último conjunto de barras, a perceção e reação dos camiões coordenados vêm os seus tempos quase desaparecerem, permitindo uma travagem realizada num curto período de tempo em relação ao primeiro camião, permitindo a circulação com distâncias próximas e reduzidas.

A ACEA (*European Automobile Manufacturers' Association*) aponta o *platooning* como um conceito muito apoiado na comunidade científica. Saliencia a melhoria dos consumos, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e o aumento da segurança com a eliminação do erro humano e de melhoraria nos tempos de reação das manobras como os principais benefícios do *platooning* (@ACEA, 2016).

## 2.4 Coexistência

Através da pesquisa realizada foi perceptível que tanto a comunidade científica como os autores que centram os seus estudos nas temáticas que envolvem a introdução da autonomia nos veículos, projetam a introdução dos AVs de uma forma gradual, defendendo que a circulação exclusiva de veículos sem condutores estará alcançável num futuro relativamente distante. Espera-se assim que exista um grande espaço de tempo onde as vias de comunicação serão partilhadas entre os AVs os veículos convencionais. Apesar da literatura sugerir que, através da análise dos testes que têm sido implementados pelo mundo, numa fase precoce os AV terão vias próprias para circular, podendo ou não misturar-se com os restantes veículos, mas não existem estudos de como será realizada a organização do sistema de transporte possuindo uma maior penetração de AV. Torna-se imperativo que a introdução da tecnologia seja acompanhada com um aprimoramento e melhoria das infraestruturas de transporte, tornando a sinalização vertical bem perceptível para que os veículos possam recolher todas as informações necessárias.

Esta coexistência entre AVs e os habituais intervenientes do sistema de transporte como peões, ciclistas e veículos convencionais, levanta sérias questões em relação ao comportamento dos intervenientes da rede rodoviária. A forma como peões, ciclistas e os condutores abordarão as diferentes saturações de trânsito poderá provocar comportamentos de risco, uma vez que estes têm a ideia que os AVs são ensinados a circular em segurança e a contribuir para a fluidez do tráfego, assim com esta mentalidade, e com irresponsabilidade que cateteriza tanto condutores como peões, a introdução dos AVs em cenários de coexistência poderá ter impactos negativos na mobilidade e em potencializar as vantagens da autonomia.



Como se poderá perceber no próximo capítulo, uma das possibilidades a adotar na infraestrutura rodoviária será a exclusividade de vias para os AVs, tanto em ambiente urbano como em autoestrada, no entanto, estas implicações dependerão da forma como a aceitabilidade dos AVs será feita pelo público-alvo. Projeta-se ainda que uma maior penetração dos AVs contribuirá para que a própria eficiência e facilidade de uso seja alcançada, ainda assim, a possibilidade de veículos convencionais e a própria infraestrutura serem complementados nos seus sistemas com elementos de comunicação, será um processo que contribuirá para uma melhor coexistência dos AVs com o sistema de transporte atual.

## 2.5 On-demand Services

Os AVs podem alterar substancialmente o paradigma de mobilidade atual, principalmente em meio urbano pela criação de novos modelos de negócio como os serviços a pedido (*on-demand services*). Estes serviços trazem novas formas de propriedade (*vehicle ownership*) e de utilização dos veículos.

### 2.5.1 Car-sharing

Entende-se por *car-sharing* o modelo de aluguer, assente em plataformas digitais, de um veículo por determinadas horas ou para uma deslocação específica. Associar este método de deslocamento a AVs torna-se um processo interessante e com índices de adequabilidade altos, já que o *car-sharing* pode traduzir-se num estilo de vida, havendo a possibilidade de reduzir o número de veículos próprios, diminuindo o congestionamento e as emissões (Brett, 2016). Segundo Fagnant e Kockelman (2014) 1 AV poderá substituir cerca de 11 veículos convencionais. Estudos demonstram que as novas gerações têm alterado a forma como o automóvel é visto na sociedade, passando a ser visto como um serviço que permite a deslocação, substituindo a visão de objeto de posse, reforçando o conceito de *car-sharing* (@kbb.sapo, 2017).

Um dos exemplos atuais do uso deste processo é o projeto *Uber*. Utilizando uma aplicação é possível o aluguer de um veículo, rastreando o mesmo através da aplicação, sabendo previamente o trajeto a seguir, assim como os custos associados. Em Portugal, na cidade de Lisboa, além deste serviço, que também já se encontra implementado noutras cidades portuguesas, existem mais dois serviços que utilizam o conceito de *car-sharing* para oferecer novos tipos de mobilidade à população. Estes serviços são o *CityDrive* e a *DriveNow*.

Com o objetivo de diminuir cerca de 10 veículos na cidade de Lisboa, os fundadores da *CityDrive* implementaram um sistema capaz de oferecer uma solução eficiente, prática e sempre disponível. Segundo um artigo avançado no *Jornal Económico*, o serviço, equipado com uma frota de 60 carros, funciona através do aluguer de um veículo que esteja localizado nas imediações do lugar de partida do utilizador. O aluguer é feito através de uma aplicação que permite também a abertura das portas e a imediata utilização do veículo (@sapo,2017).

Chegando ao destino basta apenas estacionar o veículo e este fica automaticamente disponível para nova utilização.

Numa parceria mais recente com a Brisa, surge a *DriveNow*, disponibilizando 211 viaturas e cobrindo ainda apenas uma área de apenas 48 km<sup>2</sup>, permite um aluguer semelhante ao serviço anterior, no entanto apresenta a particularidade de o cliente apenas poder estacionar o veículo em locais específicos. Estando devidamente registado, o serviço torna-se disponível para o cliente, em mais 13 cidades europeias (@sapo,2017).

### 2.5.2 Vehicle Ownership

Prevê-se que com a introdução dos AVs, o número de registos de propriedade em termos de veículo próprio reduza. Esta redução pode ser explicada devido ao possível acréscimo no preço de venda desses veículos assim como a existência de *on-demand services*. A existência de veículos inteligentes munidos de hardwares e softwares próprios provavelmente tornarão os veículos mais dispendiosos, por isso prevê-se que os custos fixos relacionados com os AVs sejam superiores aos veículos convencionais. Este aumento poderá influenciar a taxa de penetração e, conseqüentemente, a magnitude dos efeitos dos AVs (Milakis et al., 2017).

Este aumento poderá diminuir em grande escala, o número de veículos próprios em circulação, aliada aos desenvolvimento dos serviços de compartilhamento de veículos que poderão servir a procura e a necessidade de mobilidade, alcançando uma redução de cerca de 43% (ETSC, 2016). O uso de aplicativos *on-demand* para arranjar um veículo compartilhado poderá otimizar o transporte para indivíduos que querem a privacidade de um veículo de ocupação individual, mas que não se encontrem em condições, nem com interesse em pagar os custos iniciais e de manutenção de um veículo (Brett, 2016).

Heilig et al. (2017) realizando um estudo na cidade de Estugarda, abordaram a mobilidade terrestre efetuada apenas por AVs partilhados, transporte publico, bicicletas e usando o modo pedonal, substituindo assim todos os veículos privados. Como esperado, devido à opção do automóvel privado não estar disponível, o serviço mais utilizado foi o de partilha de AVs, com o uso do transporte publico e dos outros modos de transporte a registarem também aumentos. Considerando um período de simulação de uma semana, os autores concluíram que cerca de 85% de todos os veículos na região de Estugarda podem ser dispensáveis.

## 2.6 Implicações

A introdução dos CAVs no ambiente rodoviário trará implicações e efeitos consideráveis em várias áreas. De seguida descrevem-se mais ao pormenor algumas das implicações mais importantes: segurança e emissões (principais impulsionadores dos AVs), implicações de carácter mais social (a equidade e o desemprego) e por fim implicações no tráfego e no estacionamento.

### 2.6.1 Segurança

Os 5.3 milhões de acidentes ocorridos nos Estados Unidos em 2011 (Brett, 2016) e as mais de 25 mil vidas perdidas em 2016 nas rodovias pertencentes à União Europeia (@Dn2, 2018), reforçam a necessidade de uma mobilidade focada na redução da sinistralidade e no aumento aprimorado e urgente da segurança rodoviária.

Como já referido, os acidentes rodoviários resultam de vários fatores, sendo a responsabilidade humana a vertente que mais contribui para a ocorrência destes. Além da fadiga e do uso de substâncias como o álcool, a distração representa cerca de 30% nas situações em que o humano é responsável, (EC, 2015) assim a introdução de funções totalmente automatizadas apresentam o potencial de eliminar, a uma grande escala, o número de falhas associadas ao condutor humano e os benefícios para a segurança rodoviária podem-se tornar substanciais (ETSC, 2016).

Inúmeros estudos e trabalhos identificam que os acidentes associados às distrações e erros originários da ação humano será eliminada com a introdução de níveis elevados de autonomia, garantindo uma diminuição de cerca de 90% dos acidentes nas estradas, no entanto este tipo de segurança defende-se que demorará até cerca de 3 décadas para que seja encontrada nas diferentes frotas de veículos em circulação (IIHS, 2014). Apesar desta questão temporal e além de todas as tecnologias que já foram mencionadas que contribuem para a segurança dos AVs, diversas funcionalidades já se encontram instaladas em determinadas frotas em circulação capazes de promover a segurança e diminuir o número de colisões e de fatalidades. Segundo a ETSC (2016) o controlo eletrónico de estabilidade é atualmente um componente obrigatório nos veículos que são vendidos na Europa e tecnologias como a travagem de emergência autónoma (AEB), o assistente de velocidade inteligente (ISA) e sistemas de manutenção de linhas são também cada vez mais comuns, possibilitando um auxílio eficaz à condução em determinadas funções.

Apesar das características que possibilitam a transformação dos veículos para a segurança rodoviária ainda não se encontrarem implementadas e estarem sujeitas a diversas fases de processamento, de testabilidade e recursos automatizados existentes, apresentam fortes indícios na melhoria da segurança. Quem o afirma é o Instituto de Seguros para Segurança Rodoviária (IIHS), que através de um estudo realizado apurou que cerca de um terço dos acidentes e do número de fatalidades têm o potencial de serem reduzidos, caso todos os veículos possuam características de segurança automatizadas, capazes de auxiliar e atuar em situações de colisão direta, na saída da faixa de rodagem, na assistência em pontos cegos e com o uso de faróis adaptativos (Zuby, 2014).

### 2.6.2 Emissões

O aumento e crescimento contínuo do uso do transporte rodoviário tem contribuído em grande escala para o aumento das emissões de gases para a atmosfera, onde este mesmo setor se assume

---

como o maior emissor de gases do setor do transporte. Este fenómeno é particularmente preponderante em países industrializados. Em países da União Europeia, no ano de 2014, o setor dos transportes foi responsável por 30.5% da emissão total de gases de estufa (GEE), com a parcela do transporte rodoviário a atingir 72.8% (Igliński e Babiak, 2017). Em Portugal, o setor dos transportes é responsável por 27% das emissões de GEE, registando um aumento das emissões per capita de GEE, entre 1990 e 2010, de 74%, devido sobretudo ao crescimento do número de veículos a gasóleo (Mendonça, 2014).

A preocupação ambiental tem gerado várias ações junto dos fabricantes de automóveis para que sejam tomadas medidas de forma a reduzir as emissões. No entanto as ações adotadas por estes não têm sido eficazes, já que a procura pelo uso de transportes apresenta níveis de crescimento superiores às melhorias na eficiência do consumo de energia e na redução de emissões. Os AVs e conectados podem conduzir a um ponto de viragem nesta situação, já que a sua ampla implantação pode levar a reduções nas emissões de gases de efeito de estufa (Igliński e Babiak, 2017).

Apesar da introdução de melhorias tecnológicas apresentar tendências de redução no consumo de combustível no setor dos transportes rodoviários, o comportamento que os condutores apresentam no ato de condução apresenta também uma influência significativa no consumo. As alterações comportamentais a este nível podem ser implementadas através da inclusão nos veículos de tecnologias inteligentes que influenciem ou limitem as atitudes dos condutores, com efeitos a nível tanto ambiental como de segurança rodoviária, onde os ADAS apresentam um papel fundamental para que esses comportamentos sejam alterados e adaptados às exigências ambientais atuais.

Vários estudos têm mostrado que a aplicação de princípios de condução defensiva e ecológica permitem reduções no consumo de combustível entre 10 e 20% (Barth e Boriboonsomsin, 2009); Li et al. (2015); Filgueira et al. (2017)). Apesar destes valores serem públicos e bastante satisfatórios, esse potencial não é atingido devido ao modo de condução que geralmente é praticado e característico do condutor humano, assim implementar conceitos de condução defensiva e ecológica nos softwares dos CAVs poderá contribuir para uma redução nas emissões. Para além de reduções devidas ao modo de condução, a redução do número de veículos em circulação e, conseqüente diminuição do congestionamento pode levar a reduções registadas entre os 40 e 80% (Igliński e Babiak, 2017; Milakis et al., 2017).

Estes aspetos aliados ao conceito de *platooning* que possibilita uma redução da resistência do ar durante a circulação, a possibilidade dos veículos se tornarem mais leves, possibilitam um impacto positivo na percentagem de emissões provenientes da mobilidade terrestre (Waldrop, 2015; Jun & Markel, 2017).

Se as projeções encontradas na pesquisa literária se concretizarem, uma grande parte dos veículos em circulação serão veículos compartilhados, onde as altas velocidades e acelerações espontâneas não serão praticadas devido ao fundamento a que estes veículos se propõem. Assim segundo Milakis et al. (2017), os AVs poderão ser equipados com motores menos potentes, capazes de limitar as emissões e economizar os gastos e combustível.

A admissibilidade da redução das emissões provocadas pelos CAVs será dependente de fatores que condicionarão o futuro do sistema de transporte. Esta vertente estará dependente da mudança no modelo de mobilidade e da gradual substituição de veículo próprio pelo uso de serviços de compartilhamento de veículos e de viagem (Igliński e Babiak, 2017). Torna-se interessante perceber se as pessoas estarão dispostas a renunciar aos inúmeros benefícios que estão ligados à mobilidade através de veículo próprio, em restrição de melhorias sociais como a redução da poluição ambiental.

### **2.6.3 Mobilidade para Todos**

Existem milhões de pessoas espalhadas por todo o mundo que estão incapacitadas de conduzir um veículo devido a várias situações, como incapacidade, idade ou até mesmo a inaptidão de obter aprovação nas qualidades necessárias para a obtenção de licença de condução. Os veículos totalmente autónomos possibilitarão equidade social, na medida em que se apresentam como uma janela capaz de abrir novas possibilidades de mobilidade para essas pessoas (Harper et al., 2016).

Considerando valores apresentados numa notícia avançada pelo jornal *O Publico*, números da Comissão Europeia estimam que, até 2030, um quarto da população dos países da União Europeia tenha 60 ou mais anos, alcançando em 2060 um valor de cerca de 12% para população com 80 anos. Remetendo para valores registados em estudos para o crescimento populacional dos Estados Unidos, estima-se que a população sénior continue a crescer em termos absolutos e em relação ao resto da população. Segundo Rosenbloom e Winsten-Bartlett (2002) (visto em Harper et al., 2016), prevê-se que até 2030, o número de idosos residentes nos Estados Unidos seja de 74 milhões de idosos, passando a representar cerca de 26% da população total dos Estados Unidos da América. Face a esta aplicabilidade e mais valia das tecnologias autónomas, existem entidades relacionadas com a prestação de cuidados de saúde a planear usar AVs com o objetivo de aumentar a mobilidade nos seus serviços. Essa ambição remonta a uma abordagem australiana que pretende que os utentes da instituição permaneçam independentes e conectados à comunidade local sem necessitar de terceiros para que essa socialização seja realizada. (@connected, 2018). Estes valores podem provocar um manifesto interesse por parte dos fabricantes de automóveis autónomos, já que significa um aumento considerável do público-alvo, visto que esta faixa etária regista valores decrescentes na mobilidade individual através de veículo convencional (Harper et al., 2016).

Torna-se evidente que ao imaginar uma estrutura rodoviária, onde os AVs sejam introduzidos oferecendo a possibilidade de serem usados tanto de uma maneira privada como usando *on-demand services*, permitirá que a mobilidade apresente índices de satisfação e qualidade maiores do que os registados atualmente com os veículos convencionais. O facto desta equidade permitir que seja possível a um idoso que não reúne as condições para conduzir um veículo, desde à criança que passa a não depender do acompanhamento de alguém competente para o ato de condução, até ao adulto que devido a vários fatores não possuiu a capacidade de condução, faz com que a implementação dos AVs surja de uma maneira natural, necessária e urgente.

#### 2.6.4 Desemprego

O avanço da tecnologia na indústria, apesar de acarretar inúmeros benefícios como aumento da produtividade, sempre apresentou um impacto negativo em qualquer sector industrial, a substituição de trabalho de manufatura por máquinas. A introdução de tecnologias inteligentes na mobilidade não será diferente e promete também causar um impacto negativo, aumentando a taxa de desemprego mundial e retirar a mão humana na realização de determinadas tarefas.

A propagação dos AV implicará que a empregabilidade de motoristas diminuirá com uma intensidade muito significativa (Igliński e Babiak, 2017). Os fabricantes de automóveis e as grandes marcas poderão, com a utilização dos serviços de compartilhamento, sofrer grandes quedas na quantidades de veículos vendidos, prejudicando gravemente as situações económicas desses sectores. Outro impacto que os AVs oferecem é a redução acentuada de acidentes entre veículos, o que fará que os custos associados a manutenções e reparações de veículos diminua consequentemente, provocando uma redução da ida de veículos para oficinas de reparação, diminuindo a produtividade e os ganhos económicos neste sector.

As seguradoras serão certamente um ramo que estará dependente da forma como a implementação dos AVs e a legislação seja efetuada em volta destes. Com o objetivo de tornar os veículos 100% autónomos e com índices de confiança inabaláveis os fabricantes poderão comercializar os veículos com seguros incluídos, uma vez que a responsabilidade de eventuais situações deixa de pertencer ao condutor. A Tesla é o exemplo deste ideal, uma vez que comercializa veículos com seguro incluído, fazendo parte de um pacote que tem duração vitalícia e é oferecido com um pack de manutenção (@kbb2.sapo, 2017). Caso as restantes marcas e fabricantes adotem o mesmo sistema que a Tesla deixará de ser necessário recorrer às seguradoras para permitir a circulação de veículos.

A necessidade de analistas de tráfego será também afetada. Apesar de não haver uma eliminação deste posto de trabalho, o facto da substituição do condutor significar reduzidas probabilidades de acidentes, as alterações que são provocados no tráfego rodoviário poderá ser nulo. A utilização de corpos policiais no trânsito poderá também ser completamente reduzido. O facto de os AVs serem programado com elevadas taxas de obediências para respeitar as regras

de trânsito, impossibilitando ultrapassagens proibidas ou estacionamento em locais inapropriados, assim como respeitar os limites de velocidade, a realização de trabalho policial como agentes de trânsito poderá ser desnecessária. Outro setor de empregabilidade que sofrerá um impacto bastante significativo são as escolas de aprendizagem de condução. Num contexto em que os AVs substituíam a 100% os veículos convencionais a necessidade de possuir uma licença de condução deixara também de prevalecer. Nesta perspetiva, inspetores e examinadores passarão também para segundo plano.

### **2.6.5 Tráfego Rodoviário**

O tráfego rodoviário e o seu eventual estado depende fortemente da forma como as vias de comunicação são projetadas, tendo em conta o fluxo de veículos que determinado troço da estrada deverá suportar. Ao longo das pesquisas e trabalhos realizados pela comunidade científica, vários são os autores que através das suas pesquisas concluem abordagens diferentes na introdução dos AVs. Associada a estas abordagens está claramente envolvida a transformação da capacidade das estradas e do estado de congestionamento.

A partir do momento em que o número de veículos em circulação numa determinada estrada aumenta em relação ao número para o qual a capacidade daquela estrada foi dimensionada, a existência de trabalhos na via ou a ocorrência de acidentes, podem provocar um aumento do congestionamento do tráfego, fazendo com que a capacidade das estradas diminuam de uma maneira acentuada. O crescimento exponencial do número de veículos em circulação nas vias de comunicação, além dos impactos negativos a níveis ambientais relacionados com esse aumento, onde o tráfego rodoviário regista-se como o principal causador de poluição sonora na europa, sendo o segundo fator de impacto ambiental, depois da poluição atmosférica (@observador, 2017) impossibilita também que a eficiência na mobilidade seja alcançada, provocando em várias vias de comunicação do mundo, o aumento do tempo de viagem e consequente aumento de congestionamento de transito.

A ocorrência de acidentes nas vias de comunicação e manobras que são efetuadas durante a circulação, como o processo de estacionamento de viaturas, são também ocorrências que apresentam consequências no funcionamento do sistemas de transportes e no tráfego rodoviário.

Durante a pesquisa literária foi possível perceber que os AVs poderão revolucionar a forma como o tráfego rodoviário se encontra, onde a potencialidade das tecnologias provocará uma redução acentuada do número de veículos em circulação (Fagnant e Kockelman, 2014). Aliada a esta redução, a segurança que este tipo de veículos poderão fornecer implicará que os acidentes tenham também uma elevada redução, assim como alterações na infraestrutura de estacionamento poderá contribuir para que a problemática abordada seja revolucionada. Kistangari et al. (2017) defendem como os AVs raramente estarão envolvidos em acidentes, o potencial na contribuição para um alívio do congestionamento e otimização do trafego é

bastante alto. No entanto autores como Berrada e Leurent (2017) defendem que a implementação deste tipo de veículos provocará um aumento de veículos em circulação, onde a ETSC (2016) aponta que os serviços de compartilhamento poderão impulsionar um aumento no uso individual de veículos em cerca de 75%, fatores que prejudicarão a forma como o tráfego rodoviário se encontra, uma vez que as capacidades das estradas deixam de oferecer condições para que esse aumento seja suplementado.

### 2.6.6 Estacionamento e Sinalização

A circulação de AVs que alcancem os níveis de automação 4 e 5 provocarão certamente alterações de arquitetura e planeamento urbano nas cidades e no sistema rodoviário. Uma vez que os AVs dispensam o condutor humano, o potencial de aliviar as preocupações de estacionamento, em áreas urbanas com elevada densidade populacional e elevada afluência de trânsito, será visível. Os veículos serão capazes de libertar os condutores numa determinada zona e deslocar-se para outro local, ou até mesmo, manter-se em circulação até que os passageiros necessitem do veículo outra vez (Kistangari et al., 2017).

Admitir a possibilidade de um veículo se encontrar disponível para, através do conceito de *car-sharing*, realizar uma viagem até um determinado destino sem a necessidade de o estacionar, pode levar à diminuição de vários lugares de estacionamento e até à eliminação de parques de estacionamento (Milakis et al., 2017). No entanto, a eliminação de lugares de estacionamentos terá de ser colmatada com a criação de locais específicos de estacionamento para onde os veículos se poderão deslocar quando não estão em circulação. Estes locais podem ser colocados em locais específicos, fora das áreas de grande afluência populacional e densidade de trânsito. Os espaços libertados dentro das cidades podem ser convertidos, dando origem, por exemplo, a vias próprias destinadas a transporte público ou novas vias na faixa de rodagem, espaços verdes ou zonas pedonais.

Sparrow e Howard (2017) avançam que grandes prédios, infraestruturas e espaços comerciais que possuem garagens de estacionamento, poderiam transformar esses espaços em pequenos locais onde os veículos entregam e recolhem os passageiros.

Os AVs não terão apenas implicações na forma como o estacionamento se processará, mas também na sinalização do trânsito, uma vez que infraestruturas físicas como sinais luminosos, sinalização vertical ou obstáculos de redução de velocidade poderão ser removidos do ambiente rodoviário.

Sparrow e Howard (2017) defendem que com os CAVs, os convencionais sinais e infraestruturas serão substituídas por versões digitais em *cloud*, onde o veículo ajustará, automaticamente e em tempo real, a sua trajetória e velocidade de modo a lidar com a situação de trânsito de forma cómoda e segura. Este novo paradigma de sinalização permitirá uma gestão mais eficiente do tráfego.



## 2.7 Questões a Resolver

### 2.7.1 Considerações Iniciais

Juntamente com a evolução da tecnologia que tem permitido projetar grandes benefícios, os principais dilemas envolvendo a sua produção não têm evoluído à mesma escala. Matérias como a regulação e legislação de cada país para adoção e implementação deste tipo de veículos nas suas estradas ainda não se encontra devidamente estudada, estruturada e aplicada para que essa introdução seja realizada. Outra vertente a necessitar de análise prende-se pela ética do veículo, ou seja, registando situações de falha ou acidente, como decidirá o veículo qual a ação a tomar, onde as preocupações dos especialistas e das entidades governamentais se prende com o facto de como os veículos serão instruídos a resolver problemas éticos (Igliński e Babiak, 2017). Para além de questões éticas e morais, de regulação e legislação, existem outras matérias importantes que carecem de atenção, tais como a privacidade e cibersegurança e aspetos relacionados com a aceitação dos consumidores. Todos estes aspetos serão descritos de seguida.

### 2.7.2 Ética

Abordar o mundo da autonomia, da inteligência artificial e do poder que os humanos dão a máquinas para realizar determinado tipo de tarefa, implica referir as leis da robótica criadas em 1942 pelo escritor de ficção científica Isaac Asimov (@folha, 2017). Este estipulou que:

- “um robô não deve ferir um ser humano”;
- “um robô deve obedecer às ordens que lhe sejam dadas por seres humanos”;
- “um robô deve proteger sua própria existência desde que tal proteção não entre em conflito com a primeira ou segunda lei”.

Considerando este modo de pensar, torna-se inevitável projetar que o veículo autónomo lidará com situações em que as questões éticas e morais terão impactos significantes na vida humana, onde as leis da robótica serão insuficientes para resolver determinadas situações e auxiliar nas tomadas de decisão.

A revista *Science* foi uma das primeiras plataformas a abordar a questão ética e moral dos AVs. “Suponha que um carro sem condutor se encontra em direção a cinco peões na faixa de rodagem. O veículo deve continuar a trajetória ou deve desviar-se e embater contra um obstáculo, matando o passageiro.” Este dilema social, ilustrado na Figura 2.19 foi a base do artigo desenvolvido onde refere que os possíveis utilizadores destas tecnologias não se mostraram entusiasmados com a ideia de, em situações de emergência, a decisão do veículo seja sacrificar em prol da segurança dos passageiros. Embora a ocorrência deste tipo de situação seja diminuta, os veículos têm de ser programados para lidar com este tipo de situações, ficando a questão no ar, o que decidir?

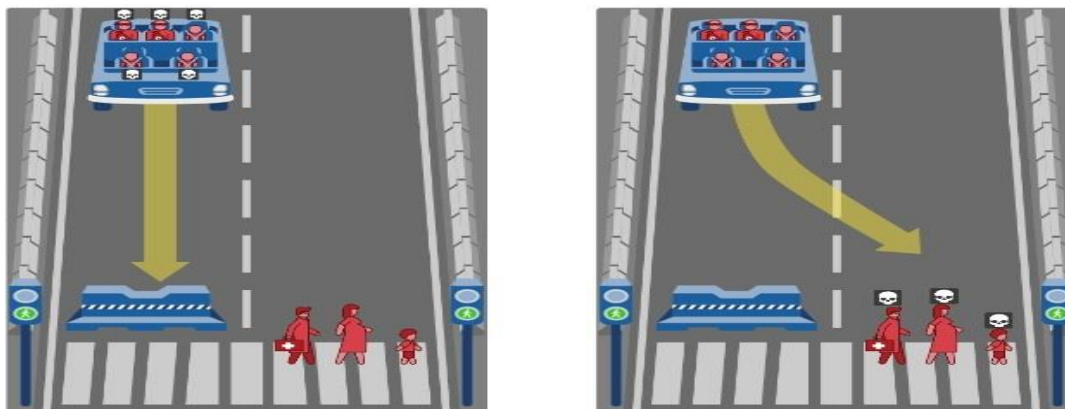


Figura 2.19 - Cenário Ilustrativo da decisão moral (@thecity, 2017)

Se os veículos forem programados para sacrificar os passageiros da viatura, que comportamentos esta situação provocará na forma como os peões se relacionam com o ambiente rodoviário e quantas situações de perigo serão causadas com este pensamento. Ou será que o proprietário do veículo poderá decidir se o seu veículo autónomo deverá preservar a segurança dos passageiros em vez do ambiente exterior?

Através de um estudo envolvendo a população norte americana, onde foram abordados vários cenários em que os inquiridos deveriam escolher entre a fatalidade de um ou mais peões ou a morte do passageiro ou passageiros, Fleetwood (2017) conclui que 76% admitem que a escolha mais sensata seria sacrificar a vida dos passageiros se isso contribuísse para salvar um maior número de vidas humanas. No entanto, aqui volta a surgir as grandes questões morais e éticas que se encontram enfasadas neste ponto e prende-se com o seguinte: apesar da grande margem apresentada, quando abordados para a aquisição de um veículo autónomo, os entrevistados reduziram significativamente a vontade de o fazer se, eles e os seus familiares forem sacrificados em cenários de acidentes, contrapondo-se ao que responderam na abordagem anterior. Aqui conclui-se que apesar da grande parte dos entrevistados entender e assumir que em condições de risco da vida humana, será a escolha pelo bem maior que os softwares devem defender, os mesmos preferem AVs que façam exatamente o contrário.

Tendo em consideração a opinião das grandes marcas, existem algumas que já deram o seu parecer sobre esta questão. Preocupado com a barreira ética, moral e regulamentar, o CEO da Volvo anunciou que a empresa assumirá total responsabilidade sempre que os seus veículos se encontrarem em modo autónomo, posição que pode significar um grande passo para a simplificação deste tipo de temática. No entanto, outros fabricantes de AVs, como a Tesla, não compartilham da mesma visão, projetando apenas veículos semiautónomos, para que o condutor humano possa ser responsabilizado em caso de acidente (Waldrop, 2015).

O governo alemão afirmou-se como a primeira entidade governamental a formular diretrizes federais para possibilitar a circulação nas estradas alemãs de AVs e impulsionar ao mesmo

tempo outros governos a procederem a legislação semelhante de forma a que uma das principais barreiras ao implemento de autonomia nas estradas seja feito. Segundo BMVI (2017) o Ministro dos Transportes alemão com o apoio de uma comissão composta por especialistas em ética, direito e tecnologia, tornou publica a posição do governo alemão em relação a questões éticas dos veículos. Esta comitiva defendeu que os AVs não deverão ser programados para escolher, em caso de acidente inevitável, a segurança de uma pessoa em detrimento de outra. Esta decisão remete-se para o software que deverá escolher o cenário que prejudique o menor número de pessoas. Permissão de destruir qualquer tipo de propriedade, possibilidade de colocar em risco a vida animal se isso significar reduzir o risco humano e não realizar diferenciação entre pessoas, desconsiderando género, idade ou condição física são outros pontos defendidos pela legislação alemã.

São estas questões éticas, sociais e morais que se podem apresentar como um entrave á comercialização dos AVs, ficando por entender como decidirá um indivíduo no ato de adquirir um veículo autónomo, optar por um veículo programado para garantir a segurança dos passageiros ou então optar por um veículo capaz de colocar a segurança de um maior numero de pessoas em primeiro lugar, sacrificando os passageiros.

Porém, segundo Sparrow e Howard (2017) o momento em que um condutor humano opere a condução de um veículo estará automaticamente a aumentar a probabilidade de situações de risco, mantendo a sua segurança e a de terceiros em perigo. Sendo o condutor humano o equivalente moral de um robô alcoolizado, já que apesar de o veículo ser capaz de operacionalizar a condução do veículo, este será afetado pela condução do humano. Os autores acreditam que o argumento moral convincente contra os condutores humanos será refletido na lei considerando a condução humana como ilegal.

### **2.7.3 Regulação e Legislação**

Os regulamentos existentes, criados para os veículos convencionais, têm-se mantido estáveis ao longo do anos. Os CAVs operados sem condutor violam os pressupostos estabelecidos nesses regulamentos, pelo que nova regulamentação e legislação é necessária.

No panorama europeu, o projeto CityMobil2 indica uma lacuna legal que resulta de incertezas provenientes dos próprios fabricantes neste campo. Ao não existir um quadro legal formulado e em prática, os únicos tratados em vigor são os tratados impostos em 1949 na Convenção de Genebra e de Viena (1968) sobre o Tráfego Rodoviário, que obrigam todos os veículos em circulação a possuir um condutor capacitado (Bartolini, et al., 2017), não fornecendo a liberdade necessária para a execução de testes nem a implementação dos mesmos. Perante isto, em Março de 2016, as Nações Unidas aprovaram uma alteração à Convenção. O documento que antes estipulava que a condução tinha de ser feita por alguém "com as duas mãos ao volante", e a obrigação "manter o controlo do veículo em todas as circunstâncias", passou a permitir os carros autónomos na estrada, desde que possam ser controlados e desativados por um condutor caso

necessário. (@público, 2017). Para contornar esta situação foram definidas algumas propostas. Segundo Bartolini et al. (2017) uma delas seria definir o conceito de piloto-robô do AV como condutor. Essa situação permitiria que o software que controla o veículo fosse considerado uma pessoa. Uma outra solução seria proceder á alteração da Convenção de Viena, passando a serem considerados também condutores não-humanos, abrindo asas à questão ética e moral em situações de condução complexas ou acidentes como apresentado no ponto anterior.

Segundo Shladover e Nowakowski (2017) no ano de 2012, a Califórnia avançou com uma lei onde definiu uma estrutura de regulamentação para testes e operação na via pública de AVs que registassem um nível de autonomia 3 ou superior. De acordo com as novas regras, os fabricantes possuem autorização para testar AVs sendo exigida a criação de um link de comunicação remoto para um monitor com a possibilidade do humano assumir o controlo de imediato. Este novo regulamento entrará em vigor em 2018 e permite que os fabricantes disponibilizem as tecnologias autónomas aos consumidores, sendo um grande passo para a implantação da tecnologia (@connected, 2018).

Portugal tem demonstrado, desde o ano de 2016, interesse em criar legislação que autorizem as ruas portuguesas no auxilio de testes de VA. Citando José Mendes, secretário de estado adjunto do Ambiente, “Podemos criar uma legislação que permita, numa primeira fase, termos funções mais básicas de condução autónoma, como, por exemplo, a entrada e a saída de um parque de estacionamento, e, depois, numa segunda fase, funções mais avançadas” (Barradas, 2017). Nos Estados Unidos, já quatro estados e o Distrito de Columbia reconhecem a importância dessas tecnologias para a futura mobilidade sustentável e promulgaram leis específicas para permitir a condução automática no trânsito comum (Gonzales et al., 2016) como o caso do estado de Nevada, que em maio de 2015, homologou uma licença para que a Daimler pudesse operar os camiões autónomos da sua frota em estradas públicas (Noorvand et al., 2017).

Outro aspeto que carece de clarificação é a responsabilização aquando de acidente, essencial na definição do seguro automóvel. Os AVs são “vendidos” como mais seguros, pelo que a probabilidade de ocorrência de acidentes será menor, o que poderá levar a uma diminuição dos valores do seguro. Se o condutor do veículo vê a sua atividade substituída, deixa de ser responsável pela tarefa de condução. Assim sendo, segundo Brett (2016) as seguradoras devem-se dirigir a outra pessoa ou entidade. Neste âmbito as seguradoras tenderão a segurar mais as entidades que gerem os veículos do que propriamente as viaturas, uma vez que as diminuições de registro de sinistralidade será notória.

Em fevereiro de 2017, o governo Britânico homologou uma proposta onde é prevista uma atribuição de responsabilidade de eventuais acidentes registados com veículos em circulação em modo autónomo aos seus fabricantes. A proposta de lei, exige às seguradoras a constituição

de dois tipos de seguros: um só pode ser acionado quando o condutor assume o controlo e o outro para os casos em que o veículo circula em modo autónomo. Esta proposta apresenta ainda duas exceções na atribuição de responsabilidades: as seguradoras não serão obrigadas a assumir os custos de acidentes quando os veículos em causa possuam software alterado pelos proprietários ou quando os veículos não apresentem os *updates* ou atualizações disponibilizadas pela marca do veículo (Butcher et al., 2017).

Segundo Sparrow e Howard (2017) e Igliński e Babiak (2017), como os veículos são operados e controlados por software, todos os veículos que possuem o mesmo software devem registar o mesmo condutor, isso implica que a equipa responsável pelo software ou os próprios fabricantes do veículo sejam os responsáveis, de um ponto de vista ético e legal, de todos os acidentes em que o veículo esteja envolvido. Os autores defendem também que, como as empresas que produzem os veículos compreendem melhor tecnologia que os utilizadores futuros, sugerem, que devem ser as mesmas a negociar com as próprias seguradoras. Segundo Brett (2016), as seguradoras terão a necessidade de criar precedentes legais para estabelecer os culpados de um acidente englobando AVs, de maneira a terem a capacidade de diferenciar a responsabilidade para as diferentes entidades envolvidas, desde os fabricantes dos veículos, aos engenheiros responsáveis pela programação do softwares até ao próprio proprietário do veículo. Como em qualquer lei aplicada nos diferentes estados governamentais, os AVs verão a sua implementação influenciada pelas diferentes regras e regulamentos impostos por cada entidade governamental. Como descrito, as diferenças no controlo jurídico das políticas e do planeamento ditarão as ferramentas que os governos podem usar para enfrentar os benefícios e os custos do desenvolvimento dos AVs (Brett, 2016).

#### **2.7.4 Privacidade e Cibersegurança**

Apesar da corrida para a implementação de AVs e inteligentes nas estradas já se encontrar numa fase adiantada, com grande disputa tecnológica entre as grandes marcas e produtores para perceber quem oferece o veículo mas avançado e eficaz, problemas como a privacidade e a cibersegurança impõem um sentimento de insegurança e desconfiança. O crescente uso de componentes eletrónicos e de tecnologia de comunicação tornam os AVs sistemas bastantes complexos e com uma ampla vertente comunicativa, no entanto essas tecnologias tornam o veículo vulnerável a interferências cibernéticas devido ao aumento da superfícies de ataques que estes componentes permitem, podendo causar sérios riscos à segurança dos passageiros e intervenientes do ambiente rodoviário. Com o crescente aumento da inteligência dos veículos, equipados com componentes wi-fi e milhões de linhas de código, estes veículos estão sujeitos a ataques de pirataria, de roubo de dados e ameaças á privacidade, registando uma preocupação com bastante significância no seio da industria automóvel (@gov, 2017).

Ao comparar um veículo autónomo com um computador ou com um smartphone com a capacidade de se deslocar, as tecnologias de conetividade têm mostrado ao longo dos anos, que mesmo com o avanço das medidas de segurança e de privacidade, continuam a registar falhas

e a ser alvo de ataques. Porém, as necessidades de segurança num veículo, em nada se comparam com esses dispositivos. Imaginar um ataque a um dos sistemas do veículo durante a sua circulação, como por exemplo, um erro em que é necessário desligar o veículo, este erro não se apresenta como um simples incómodo como se fosse num computador ou num telemóvel, mas sim uma situação que pode por em perigo a vida dos passageiros.

Citando Mark Greven, responsável jurídico da ACAE, "o acesso aos dados em tempo real coloca grandes problemas de segurança. Se criamos pontos de acesso aos nossos veículos estamos a criar o mesmo número de riscos à nossa segurança. Quando um equipamento é instalado em milhões de exemplares num modelo, é natural que suscite o interesse de 'hackers' e se torne uma fonte de potenciais riscos" (@maquina, 2018), este problema poderá implicar, apesar da tecnologia se provar eficaz no ato da mobilidade, implicações graves, já que apresenta vulnerabilidades a ataques informáticos. Alertas deste género têm sido efetuados de uma maneira bastante interventiva com o objetivo de consciencializar tanto os fabricantes como o público-alvo, podendo transparecer uma visão pessimista, no entanto a realidade desta temática é notória e as medidas de segurança deverão ser reforçadas ao máximo.

Segundo Barradas (2017), um estudo realizado pela seguradora *Munich Re* apurou que 55% dos gerentes de riscos corporativos entrevistados apontam a Cibersegurança como a principal preocupação da autonomia nos veículos, sendo que 64% das empresas afirmaram não estarem preparadas para atender à segurança cibernética. No trabalho de Bernardini et al. (2017) são referidos alguns trabalhos onde foi salientada a cibersegurança dos veículos autónomos. Miller e Valasek (2014) demonstraram exemplos de ataques em carros modernos, Petit e Shladover (2015) analisaram potenciais ataques que os AVs podem sofrer e Kleberger et al (2011) revisaram os aspetos de segurança da rede V2V. No entanto, nenhum dos trabalhos aborda soluções nem os caminhos a seguir para combater estas eventuais situações.

### **2.7.5 Aceitação dos Consumidores**

Outro obstáculo da implementação dos AVs prende-se com a direta aceitação, confiança e conhecimento que o público alvo possui sobre estas tecnologias. Apesar dos avanços tecnológicos na área apresentarem, ao longo das publicações mais recentes, processos que garantam uma evolução e alcance no que ao controlo eficiente do veículo pela parte tecnológica diz respeito, as entidades relacionadas com essa tecnologia, desde instituições, marcas especializadas no ramo ou até mesmo os próprios vanguardistas deste novo conceito de transporte, vêem-se perante um problema relacionado com o público alvo. Apesar de comprovados os benefícios desta tecnologia, não se encontra ainda demonstrado, se os consumidores compreendem as capacidades dos sistemas em desenvolvimento, a complexidade envolvida nos vários tipos de automação e em como esta fusão de conceitos permite suportar e revolucionar as diferentes necessidades de mobilidade. Para desenvolver e implementar sistemas que melhorem a segurança e a mobilidade do condutor através de níveis de automação superiores, a compreensão, a confiança e o desejo dos consumidores por esses sistemas

precisam de ser desenvolvidos para que as opções oferecidas pelo mercado sejam devidamente suportadas.

Abordando diferentes faixas etárias, assim como as temáticas em questão, Abraham et al., (2016) analisaram os indicadores e o impacto que a tecnologia de automação provoca no quotidiano e mentalidade dos usuários. Questionados sobre a tecnologia existente atualmente nos veículos em circulação, uma grande percentagem mostrou-se estar satisfeito com a tecnologia encontrada. Concluiu-se também que face à possibilidade de novas formas de mobilidade, existe uma notória vontade de optar pelo uso de transporte público convencional como forma alternativa de transporte, alcançando valores muito insignificantes para os novos ideias de deslocamento. Esta análise de resultados é explicada facilmente devido ao facto de uma grande percentagem das classes etárias superiores desconhecer de facto estes novos processos de transporte, sendo apenas alguns utilizadores de classes etárias mais baixas as que utilizam e possuem conhecimento do seu funcionamento.

O nível de automação e as suas preferências aponta os adultos mais jovens, os que se sentem mais confortáveis no que concerne à autonomia nos veículos, em comparação com os utilizadores de idades superiores (Abraham et al., 2016; Hulse et al., 2018). Apesar de a comunidade mais velha se sentir com índices de confiabilidade aceitáveis no que se refere a alguns processos de autonomia e auxílio na condução, a mesma vai sofrendo alguma desconfiança com o aparecimento da total automação num futuro próximo. No entanto, o público com idade mais precoce alcança valores bastante satisfatórios no que diz respeito à consideração de características autónomas que assumem o controle total da condução.

Os resultados de um inquérito baseado na internet onde foram entrevistados 347 habitantes de Austin com o objetivo de entender as opiniões relativas às tecnologias e estratégias de veículos inteligente ou autónomos, indicam a diminuição de acidentes como principal benefício dos AVs, sendo a falha do equipamento a principal preocupação, registando ainda que os consumidores preferem suportar maiores custos e adquirir autónoma de nível 4 do que pagar valores inferiores ficando apenas munidos de automação de nível 3, nos veículos atuais (Bansal et al., 2016).

Hulse et al. (2018) remetendo a sua pesquisa para o público britânico instigou a mentalidade do Reino Unido sobre a perceção geral dos AVs nos índices de segurança e aceitação. Os resultados revelaram que os AVs eram percebidos como uma forma de transporte com um risco associado com baixa preponderância, e embora apresentassem preocupações com esta tecnologia, muito baixa foi a oposição sobre a eventual perspectiva de uso na via pública. No entanto, este estudo conclui que na visão dos passageiros do veículo, um AV é percebido como mais arriscado em comparação com veículos convencionais mas na ótica do peão é concluído o oposto. Os veículos totalmente autónomos apresentam um potencial significativo de como a

mobilidade pode ser melhorada e aumentada, no entanto, os índices de confiança e conforto para adotar estes tipos de soluções não se encontra ainda devidamente trabalhada e com aceitação unânime.

Para que se torne possível uma alteração de mentalidades torna-se imperativo que as diferentes tecnologias associadas à autonomia, assim como a forma de as usar, seja abordada de forma a que todos os intervenientes sejam sensibilizados para tal, desde o conhecimento teórico ao processo prático.



## 3 ESTUDO DE CASO - ALTERAÇÕES NA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE

### 3.1 Introdução

O compartilhamento de veículos e a expansão da autonomia veicular consideram-se como conceitos influentes no futuro dos sistemas de transporte. Apesar de na literatura consultada os dois conceitos se encontrarem bem estudados e abordados em relação às alterações nas características do tráfego rodoviário, as implicações no projeto e no design da infraestrutura de transporte não têm sido abordadas com a mesma amplitude. A infraestrutura rodoviária atual encontra-se projetada para fornecer informações e auxílio aos condutores humanos, assim, com a implementação de veículos autónomos (AVs), alguns dos equipamentos que caracterizam a infraestrutura poderão não ser utilizados pelos sistemas autónomos levando a que sejam reduzidos significativamente gastos relacionado com estes equipamentos. Este estudo centraliza-se no impacto que os novos conceitos e avanços na mobilidade (*car-sharing*, veículos autónomos e conectados) apresentam nas infraestruturas de transporte e de que forma eventuais alterações poderão potenciar benefícios económicos, sociais e ambientais. Para a implementação dos AVs na rede rodoviária existente é necessário proceder a algumas alterações, de forma a permitir uma aplicação mais eficiente desta tecnologia, assim como otimizar o espaço a ser utilizado pela rede rodoviária. A penetração dos AVs provocará significantes alterações no sistema de mobilidade, a forma como esta alteração ajudará ou afetará este sistemas é também uma questão que só será resolvida quando a tecnologia se encontrar em movimento.

Ao longos das pesquisas e trabalhos realizados pela comunidade científica, vários são os autores que através das suas pesquisas concluem abordagens diferentes na introdução dos AVs. Associada a estas abordagens está claramente envolvida a transformação da capacidade das estradas e do estado de congestionamento. O uso de veículos compartilhados apoia-se como uma das grandes aliadas da inteligência autónoma potenciando a substituição de veículos convencionais por veículos autónomos compartilhados. Fagnant e Kockelman (2014) apontam que um destes veículos substituirá 9 a 11 veículos convencionais, alertando que a aplicação desta abordagem em grande escala poderá reduzir a frota veicular em cerca de 90%. No entanto, autores como Berrada e Leurent (2017) provam que a substituição de veículos pelos AVs privados levará a um aumento considerável do congestionamento e dos tempos de viagem.

Este capítulo centra-se no impacto que os novos conceitos e avanços (*car-sharing* e CAVs – *Autonomous and Connected Vehicles*) terão nas infraestruturas de transporte. Primeiramente é feita uma descrição dessas implicações e de seguida apresentam-se duas análises SWOT, uma a nível mais geral e outra a nível da infraestrutura, identificando-se assim os pontos fortes (*Strengths*), as fraquezas (*Weaknesses*), as oportunidades (*Opportunities*) e as ameaças (*Threats*).

### 3.2 Identificação de Possíveis Alterações nas Infraestruturas

A introdução dos AV no ambiente rodoviário trará implicações e consequências consideráveis em várias vertentes, registrando efeitos consequenciais de determinadas ações. A forma como Milakis et al. (2017) retrata esta questão em muito se assemelha às ideias que foram desenvolvidas ao longo da realização da pesquisa bibliográfica, da autonomia na mobilidade e dos benefícios e transformações que a penetração de AV poderão arrecadar no sistema de transportes e na forma como a organização urbanística e infraestrutural irá ser transformada. De forma a prever e apresentar essas mesmas consequências e implicações, Milakis et al (2017) expôs um modelo ondulatório (*"the ripple effect"*) (Figura 3.1), onde os efeitos dessa introdução é organizada em 3 fases,. Esta ilustração enobrece a forma como a introdução dos AVs implicará alterações em diferentes vertentes, realçando que as alterações e implicações que essa introdução possa ter numa primeira fase, a forma como essa fase primordial seja abordada, levará a que no futuro haja consequências devido à forma como a aceitação e utilização seja praticada no inicio da autonomia. Este modelo de efeitos trona-se muito importante para perceber de que forma e a que escala poderão ser efetuadas alterações na infraestrutura, tendo em conta a forma como os AV serão adaptados na circulação rodoviária.

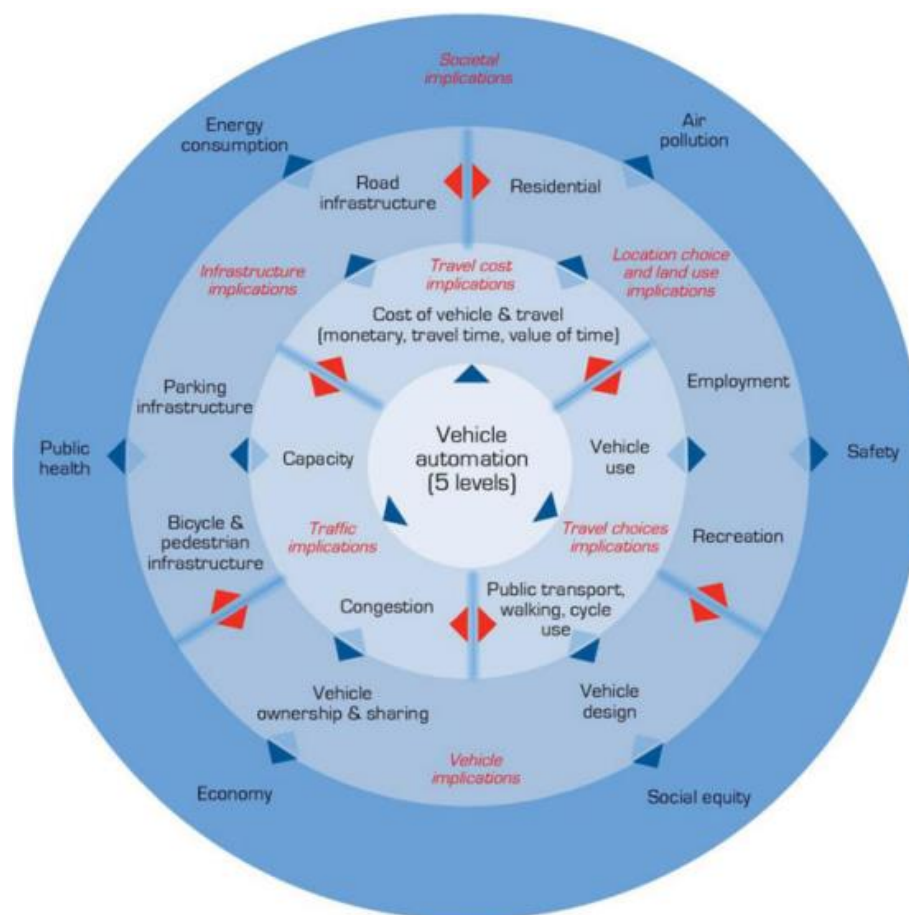


Figura 3.1 - "The ripple effect" dos veículos autónomos (Milakis et al., 2017)

As primeiras vertentes a serem analisadas recairão fundamentalmente em como a introdução dos AV afetarão o congestionamento, os custos de viagem e as escolhas do modo de viagem. Alterações para o custo fixo de possuir um veículo e o custo de transporte serão terão também um impacto fundamental. Visto que os custos associados aos AV serão superiores aos veículos convencionais, a taxa de penetração poderá ser inferior ao que se está a espera. Se a capacidade aumentar, serão procedidas alterações de forma a aproveitar as áreas de estradas para outros espaços, no entanto se o contrário se vier a realizar, serão as estradas a necessitar de uma intervenção de forma a que a capacidade seja aumentada.

A segunda onda de consequências e implicações tenderá a abordar a forma como o veículo passará a ser utilizado, ou seja, se será vantajoso possuir um veículo ou utilizar os serviços de compartilhamento de veículos, haverá também alterações na forma como o uso do solo será explorado e que tipos de infraestruturas serão apoiadas ou retiradas devido às manifestações da primeira onda de consequências. Por fim, todas estas medidas e implicações da introdução dos veículos provocarão consequências aos mais variados níveis, sociais, ambientais, de segurança, de equidade, económicos e de saúde pública.

### 3.2.1 Desenho Geométrico

O desenho geométrico das infraestruturas de transporte rege-se por normas (JAE, 1995) que tem por base princípios como a segurança, a comodidade e o escoamento de tráfego. Baseiam-se em hipóteses simplificativas relativas ao comportamento dos condutores e às características dos veículos. Estas normas constituem uma base eficaz e segura para o projeto das estradas, contudo, baseiam-se no condutor humano e na sua falta de visibilidade para além do que está ao alcance dos seus olhos. Assim sendo, os CAVs poderão alterar os tradicionais princípios das normas de traçado. Segundo Washburn e Washburn (2018), o desenho geométrico é projetado tendo em conta três fatores: o desempenho do veículo, as distâncias de visibilidade e as dimensões do veículo.

A velocidade é o elemento que define a dinâmica do traçado pelo que é considerada na definição de elementos do projeto, como a visibilidade, os raios mínimos, as inclinações e a largura das vias. A visibilidade apresenta-se como um elemento fundamental na segurança tendo o objetivo de proporcionar aos condutores um comprimento de traçado que lhes permita ter tempo suficiente para fazer as manobras impostas pelo aparecimento de obstáculos no seu percurso ou para poder ultrapassar veículos mais lentos (Silva, 2014b), a distância de visibilidade disponível deve ser sempre superior á distância de visibilidade necessária ao longo de um alinhamento (Thomas e Martinez-Perez, 2014).

Uma estrada deve ser projetada tendo em conta as seguintes distâncias de visibilidade: paragem, decisão e ultrapassagem, que dependem da velocidade de projeto. A AASHTO define a distancia de visibilidade como o comprimento que é visível para o condutor, assumindo que a

distância de paragem é a soma da distância de reação e da distância de travagem (AASHTO, 2011). O tempo de reação traduz-se pelo tempo que decorre entre a perceção de um estímulo e o momento em que o condutor inicia a resposta a esse estímulo, acionando o respetivo comando do veículo.

Por exemplo, a distância de paragem, segundo Silva, (2014b) deve ser garantida ao longo de toda a estrada e em qualquer dos sentidos. É medida supondo os olhos do condutor 1,05 acima do pavimento e o obstáculo com 0,15 m de altura. (Figura 3.2)

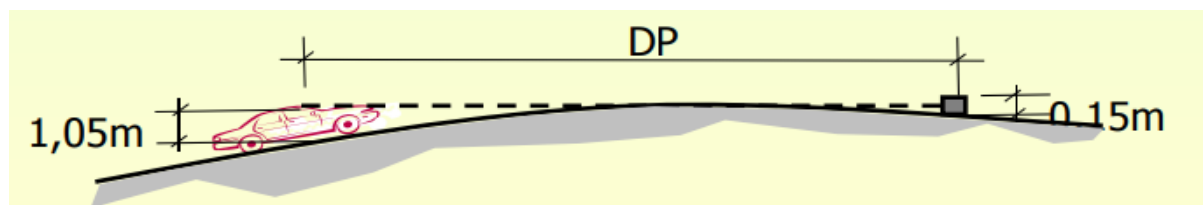


Figura 3.2 - Distância de Paragem (Silva, 2014b)

Segundo Silva (2014b) o condutor utiliza a informação visual recolhida da infraestrutura para perceber as condições de circulação e adaptar o seu comportamento consoante as informações obtidas. Assim, a informação que é fornecida pela infraestrutura rodoviária deve-se encontrar concisa e credível de forma a que sejam evitadas ambiguidades que provoquem hesitações e ações comportamentais negativas por parte do condutor. Para que as informações oferecidas ao condutor possuam os objetivos mencionados, a homogeneidade de traçado, a coordenação planta-perfil e a integração paisagística assumem-se como tópicos preponderantes no projeto de uma via de comunicação. Estes tópicos estão envolvidos numa série de regras apresentadas na JAE, onde relacionam velocidades de circulação, comprimentos de alinhamentos retos e raios de curvas para que estas situações sejam respeitadas.

A coordenação planta-perfil é projetada para que o condutor consiga (Silva, 2014b): compreender facilmente o desenvolvimento do traçado à sua frente; distinguir a tempo as zonas singulares (intersecções, etc.); ver o pavimento e eventuais obstáculos a uma distância tal que possa efetuar a manobra necessária em segurança.” Apesar destas distâncias necessitarem de bastantes elementos para serem definidas, a comunicação existente nos AVs permitirá que um veículo deixe de se sujeitar à necessidade de visibilidade direta para qualquer obstáculo, otimizando os tempos de reação de modo a perceber as distâncias de paragem, de decisão e de ultrapassagem. Na Figura 3.3 é possível perceber que o veículo autónomo deixará de requerer distancias de visibilidade definidas como os veículos convencionais para que a sua trajetória e tomadas de decisão sejam feitas de maneira segura.

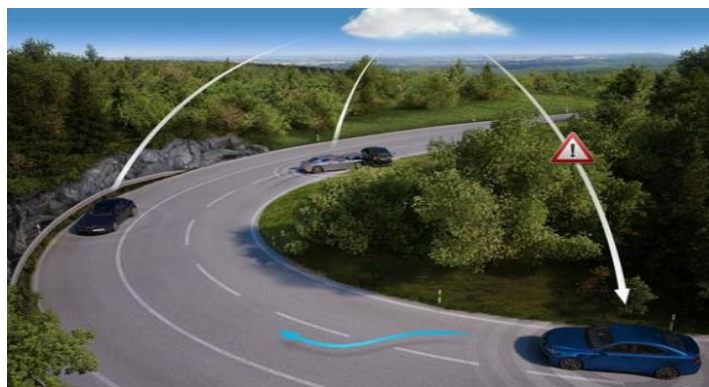


Figura 3.3 - Distância de Visibilidade usando Comunicação (Boonman, 2016)

Como as distâncias mencionadas podem sofrer grandes reduções devido á tecnologia autónoma, a definição do traçado poderá sofrer alterações neste âmbito, já que o AV não necessita da perceção do condutor humano para as decisões de circulação, mas sim baseia-se nas tecnologias que o constituem para detetar de uma forma mais eficaz e antecipada as condições e dados da via. Assim alguns dos critérios impostos nas normas de traçado podem ver os seus pressupostos alterados, como raios de curvas circulares, alinhamentos retos entre duas curvas circulares com o mesmo sentido podem ser implementados, troços de visibilidade reduzida podem ser implementados, a restrição de não se iniciar uma curva em planta após um curva convexa, por razões de quebra de visibilidade, e de não se iniciar uma curva em planta após uma curva côncava, por originar uma quebra de traçado, podem ser eliminadas. São todo um conjunto de regras que foram projetadas tendo em consideração o condutor.

### 3.2.2 Largura da Rua

A largura das vias é definida de acordo com a capacidade da via e a velocidade, influenciando a forma como o espaço disponível para a infraestrutura rodoviária é ocupado, assim como o comportamento do condutor. Se o espaço, isto é, a largura disponível para a infraestrutura, for fixo, o arranjo da secção transversal (largura dos passeio, espaço verde) varia com a largura mínima que as vias devem ter, permitindo que a utilização de uma infraestrutura automatizada diminua o congestionamento e a diminuição da largura de vias de comunicação. (Boonman, 2016)

O perfil transversal tipo define-se como uma peça desenhada que resulta da aplicação do perfil transversal tipo ás condições específicas do terreno, onde elementos como a faixa de rodagem, a berma, valetas, taludes, separador e geometrias como a sobrelargura e sobrelevação são representadas. Segundo Silva (2014) a o perfil transversal tipo de uma via de comunicação traduz-se por ser uma peça desenhada onde são definidas as características geométricas de uma estrada, transversalmente ao eixo. Esta peça integra informação como:

- N° de faixas de rodagem;
- N° e largura das vias de tráfego;
- Largura e tipo de separador central;

- Largura das bermas;
- Forma e dimensão das valetas;
- Inclinação dos taludes de escavação e aterro;
- Inclinação transversal da faixa de rodagem;
- Dimensão dos dispositivos de drenagem;
- Constituição do pavimento.

A definição deste tipo de perfil tem por base quatro vertentes, sendo elas a capacidade da estrada, a segurança, a economia e o ambiente. Para cada tipo de via de comunicação que fazem parte da rede viária, existem diversos perfis já que a velocidade de circulação interfere nas medidas de elementos que estão representados nos perfis-tipos e a secção da estrada em estudo pode também provocar alterações das inclinações.

A JAE (Junta Autónoma de Estradas) impõe uma largura mínima de 3,5 m por via, admitindo um aumento até 3,75 m em estradas com 2 vias e uma redução até 3 metros em estradas em que a velocidade base seja inferior a 80 km/h e o volume horário de projeto inferior a 300 veículos. Esta largura está definida considerando que o condutor humano não segue sempre a mesma trajetória longitudinal, existem movimentos laterais na via. A existência destes movimentos laterais faz com que a largura da faixa de rodagem exerça um efeito psicológico no condutor. Sendo, a redução da largura das vias por vezes usada como medida de acalmia de tráfego (InIR, 2011), uma vez os condutores tendem a reduzir a velocidade quando confrontados com segmentos de faixa de rodagem estreitos, provocando um sentimento de desconforto durante a condução com receio das colisões laterais. Assim como refere Öztürker et al. (2016) “estradas mais largas reduzem a carga de trabalho mental do condutor, mas ocupam mais espaço”.

Os veículos sem condutor são conduzidos/controlados por algoritmos, reduzindo ou anulando movimentos laterais. Várias tecnologias/algoritmos têm sido desenvolvidos para manter o veículo na via de circulação (*lane-keeping technology*) e para controlar os movimentos laterais (*lateral control*), aumentando a precisão destes veículos quando comparada com a dos veículos com condutor humano. Se conseguir que o veículo permaneça numa determinada rota, situando a sua circulação no centro da pista, evitando assim desvios, assim como o controlo da distância perante obstáculos e outros veículos, torna-se possível que as medidas estabelecidas e recomendadas para a largura das faixas de rodagem sejam diminuídas, podendo esse espaço ser reaproveitado ao longo da infraestrutura rodoviária para variados fins como por exemplo, a criação de espaços verdes ou pedonais (Farah et al., 2018).

Têm sido efetuadas varias pesquisas nas ultimas duas décadas no âmbito do controlo lateral em AV, onde foram desenvolvidos algoritmos de controlo de rastreamento do caminho. Dentro dos algoritmos que utilizam a geometria da estrada no processo de rastreamento do caminho, os algoritmos de Stanley e Purepursuit são os mais conhecidos. Stanley apresenta-se como um método capaz de controlar o ângulo de direção capaz de aproximar a zero o erro em índices de desvio lateral. O Purepursuit é desenvolvido para veículos terrestres que não apresentam

características autónomas, sendo capaz de calcular o comando de velocidade angular que move o veículo da sua posição atual para alcançar um ponto de avanço na frente do veículo (Kim et al., 2016). Assim, aplicando controlos específicos nas tecnologias autónomas, capazes de proceder a um controlo efetivo lateral e longitudinalmente, a dinâmica e a estabilidade lateral do veículo autónomo são melhoradas (Xu et al., 2016). O principal objetivo do controlo lateral é manter o veículo na via e permitir a mudança de via (Kang et al., 2016). O processo de mudança de via durante a circulação de um veículo apresenta um efeito bastante significativo no tráfego assim como na segurança (Monteil et al., 2014; Lin et al., 2014).

Com veículos equipados com os mais recentes *updates* da tecnologia autónoma, foram testados algoritmos capazes de adaptar os veículos as diferentes situações de trânsito e permitir que estes façam as mudanças de pista e a manutenção da trajetória retilínea de uma forma segura e eficiente. Atagoziyev et al. (2016) desenvolveram um algoritmo capaz de programar a mudanças de pista de AVs, conseguindo determinar as trajetórias de todos os veículos num determinado segmento de faixa de rodagem, contribuindo assim para o aumento da segurança rodoviária.

O controlo lateral de veículos pode ser realizado através de métodos tradicionais e métodos inteligentes. Com a finalidade de estudar o comportamento do condutor em determinadas situações rodoviárias, Hongbo et al. (2017) introduziram um modelo de *cloud* no controlo lateral inteligente do veículo usando dados estatísticos. No modelo e raciocínio em *cloud* as experiências de condução, tomadas de decisão e formas de condução pela parte de condutores humanos são convertidos em dados estatísticos, permitindo que o sistema consiga identificar através dos dados que possui qual a melhor maneira de recriar o processo de condução satisfazendo restrições de segurança, velocidade e conforto.

Para o veículo manter a trajetória desejada, assim como o controlo das distâncias laterais, existem várias abordagens nos procedimentos de deteção da via, no entanto estes processos só funcionam corretamente quando o sensor existente na câmara de deteção de vias se encontra em normal funcionamento (Kang et al., 2016). Com o objetivo de lidar com possíveis falhas momentâneas, situação que poderia implicar alterações na trajetória desejada assim como nas mudanças de via, Kang et al. (2016) propuseram um método de previsão de faixa virtual, permitindo melhorar o desempenho na mudança de via e reduzir os desvios laterais e a guinada pela parte dos AV nas faixa de rodagem. Propondo um esquema de controlo usando sensores com câmaras para a deteção da via, substituindo a faixa virtual prevista através de uma amostra realizada, demonstraram que o controlo lateral pode ser efetuado quando as informações da pista estão momentaneamente indisponíveis. Para além das vias, existem outros elementos no perfil transversal tipo, como as bermas e as guardas de segurança. As bermas apresentam-se por ser elementos capazes de fornecer refugio para veículos avariados, circulação de veículos de socorro e asseguram o suporte lateral da faixa de rodagem (JAE, 1995). As guardas de segurança são utilizadas nas bermas e na separação de faixas de rodagem e visam evitar a

colisão com obstáculos desde que estes se situem a uma distância inferior a 3,5 metros das mesmas e receber o impacto de veículos descontrolados, reencaminhando-os para a faixa de rodagem (Silva, 2014a). Assim sendo, numa situação de veículos sem condutor com taxas de penetração de 100%, estes elementos podem ser repensados e até mesmo eliminados das faixas de rodagem

Com a introdução dos AVs no ambiente rodoviário, nomeadamente em situação urbana, o perfil transversal pode sofrer alterações que até a data seriam inconcebíveis com a circulação de veículos convencionais. De seguida, apresenta-se um perfil com veículos convencionais (Figura 3.4) e o mesmo perfil idealizado para um situação de coexistência (Figura 3.5).

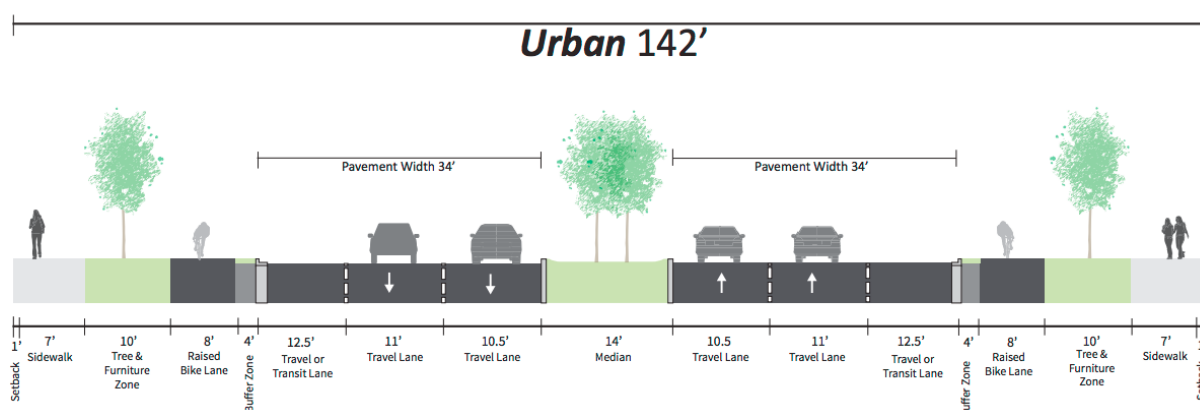


Figura 3.4 - Perfil Transversal considerando veículos convencionais (@medium, 2017)

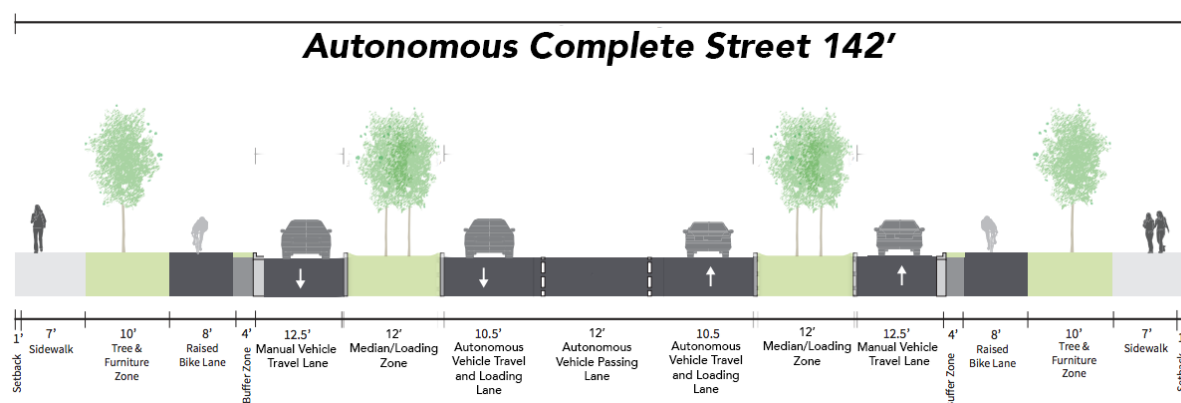


Figura 3.5 - Perfil Transversal considerando tráfego misto (@medium, 2017)

Este exemplo, traduz a forma como pode ser organizada a faixa de rodagem para permitir a circulação mista de veículos convencionais com AVs. Na Figura 3.4 o perfil transversal divide a faixa de rodagem em dois sentidos, com várias vias, existência de um separador central e zonas reservadas para peões e ciclistas. A Figura 3.5 representa a mesma faixa de rodagem, mas em que existe a separação de vias. Os veículos convencionais transitam numa via em específico, com os AV a utilizarem a mesma área de pavimento, sem separador central e com a possibilidade de utilizarem em simultâneo a via central, já que esta será utilizada para efeitos



de ultrapassagem ou quando as vias estiverem congestionadas. A via central pode ser utilizada de igual modo, já que os veículos comunicam entre si e podem ser conduzidos pelo sistema de gestão da rede. Na figura pode-se visualizar a diminuição das larguras das vias destinadas aos AVs e a continuação de zonas próprias para peões e ciclistas.

É natural que o exemplo apresentado não seja adequado para uma grande parte das áreas urbanas, no entanto para perfis transversais que apresentem condições para acoplar estas infraestruturas rodoviárias, este exemplo apresenta uma estratégia de como pode ser feita a coexistência nos primeiros anos da condução autónoma. No entanto, numa visão mais futurista e conjectural, em cenários em que o ambiente rodoviário se traduza apenas pelo uso de AVs, maiores transformações podem ocorrer no perfil transversal tipo. Eliminar separadores centrais e bermas, assim como a redução das larguras das vias da faixa de rodagem podem permitir a utilização das áreas sobranes de um modo mais eficiente, em aspetos sociais e ambientais, transformando-as em novas zonas para peões, espaços verdes ou estacionamento.

### 3.2.3 Estacionamentos

A circulação de AVs que alcancem os níveis 4 e 5 de autonomia provocarão alterações de arquitetura e planeamento urbano das cidades e do sistema rodoviário. Como já referido, admitir a possibilidade de um veículo se encontrar disponível para, através do conceito de *carsharing*, se deslocar até um determinado destino e não necessitar de ser imobilizado, pode levar a diminuição e até à eliminação de vários lugares de estacionamento (Washburn e Washburn, 2018). Apresentado grande potencial na redução da procura de estacionamentos, numa taxa de penetração no mercado de 2%, esta procura é reduzida em cerca de 90% (Zhang et al., 2015), estimando-se uma redução de 8 lugares de estacionamento por veículo autónomo compartilhado (Berrada e Leurent, 2017). A eliminação de estacionamento pode ir desde a eliminação de estacionamentos nas imediações das habitações, ou via pública, à eliminação de garagens dentro de edifícios. No entanto, essa eliminação de estacionamentos deverá ser colmatada com a criação de locais de estacionamento específicos, para onde os veículos se poderão deslocar quando não são precisos. Esses novos locais de estacionamento podem ser colocados fora das áreas de grande afluência populacional e de densidade de trânsito.

Atualmente apesar de se encontrarem em desenvolvimento plataformas que auxiliam o condutor a encontrar estacionamento, reduzindo assim o tempo de procura, existem problemas que continuam por resolver. Assim, segundo Milakis et al. (2017) a capacidade dos AVs para estacionarem de forma autónoma juntamente com o desenvolvimento de serviços de *carsharing* poderá reduzir o número de estacionamento na via pública.

Nas figuras seguintes pode-se visualizar uma representação da eliminação de parques de estacionamento ao longo da via pública (Figura 3.7) e na Figura 3.6 a via urbana deixa de estar lotada com áreas exclusivas para a imobilização de veículos, oferecendo maiores áreas para atividade pedonal e remetendo a zona de estacionamento para uma zona fora do ambiente

urbano. Estes locais de estacionamento que seriam eliminados na via pública poderiam ser alterados e convertidos para vias próprias destinadas a transporte público ou novas vias na faixa de rodagem, espaços verdes ou zonas pedonais.

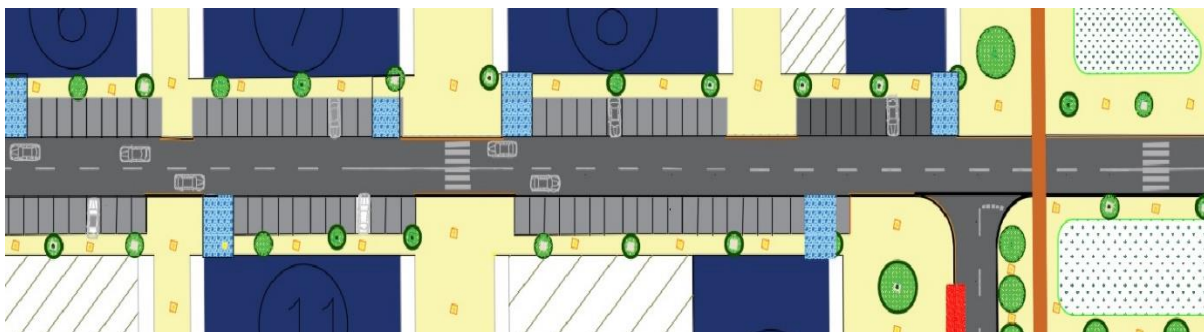


Figura 3.7 - Infraestrutura com Estacionamento Urbano



Figura 3.6 - Infraestrutura de estacionamento localizado fora da zona urbana

Sparrow e Howard (2017) avançam que grandes prédios, infraestruturas e espaços comerciais que possuem garagens de estacionamento, poderiam transformar esses espaços em pequenos locais onde os veículos podem deixar e recolher passageiros. Com o objetivo de otimizar o espaço destinado a áreas de estacionamento. Várias alternativas têm sido estudadas na premissa de que estacionamentos de AVs podem armazenar mais veículos do que os estacionamentos de veículos convencionais.

Os parques de estacionamento convencionais são dimensionados tendo em conta as dimensões dos veículos, no entanto os espaços destinados para circulação dentro do próprio parque e dos lugares de estacionamento precisam de oferecer áreas para os veículos circularem em segurança e considerarem aberturas de portas de forma a não prejudicar as áreas destinadas dos lugares adjacentes. Desta forma, os responsáveis pelo design de infraestruturas de transporte acreditam que parques de estacionamento para AVs otimizarão de uma forma bastante vantajosa estas áreas, permitindo um maior número de lugares de estacionamento, aumentando a capacidade dos parques.

Através da Figura 3.8 é possível perceber de que forma a literatura tem estudado esta vertente. Nourinejad et al. (2018) salientando que à medida que os veículos avançam na substituição da

condução humana, os passageiros deixam de necessitar de estar presentes nos parques de estacionamento. A ausência de pessoas nestas áreas permite que os veículos façam a “descarga” e recolha dos passageiros em áreas a designar, como a entrada do parque, e se desloquem para um eventual lugar, à escolha do operador, do parque de estacionamento.

Num sistema de estacionamento como o apresentado na Figura 3.8, estima-se que haja uma redução em cerca de  $2 \text{ m}^2$  no espaço médio por veículo, uma vez que os espaços de circulação podem ser mais estreitos, as escadas de acesso e os elevadores podem ser eliminados e o espaço para a abertura de portas desnecessário (Nourinejad et al., 2018).

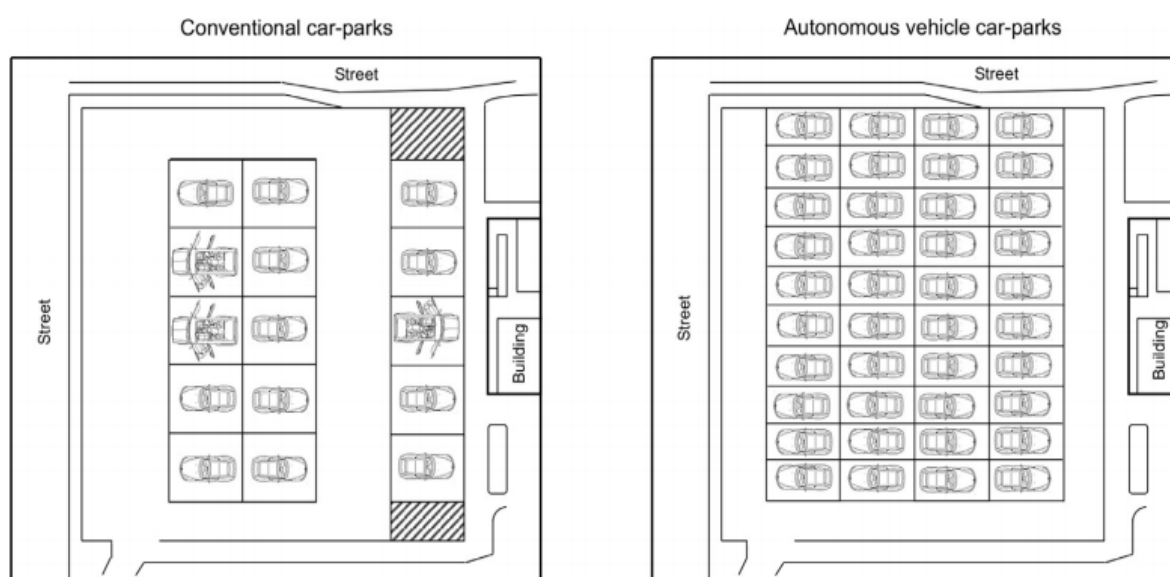


Figura 3.8 - design parque estacionamento convencional vs design parque estacionamento para veículos autónomos (Nourinejad et al., 2018)

Um problema, reportado por Nourinejad et al., (2018), que poderá surgir com o agrupamento dos veículos em várias linhas, uns atrás dos outros, centra-se na eventual obstrução dos veículos, ou seja, um veículo que esteja estacionado tendo a sua volta outros veículos encontrará a sua saída obstruída. No entanto os autores solucionam o problema explicando que o operador do parque de estacionamento deve deslocar alguns dos veículos para criar um caminho claro para o veículo bloqueado sair (Figura 3.9).

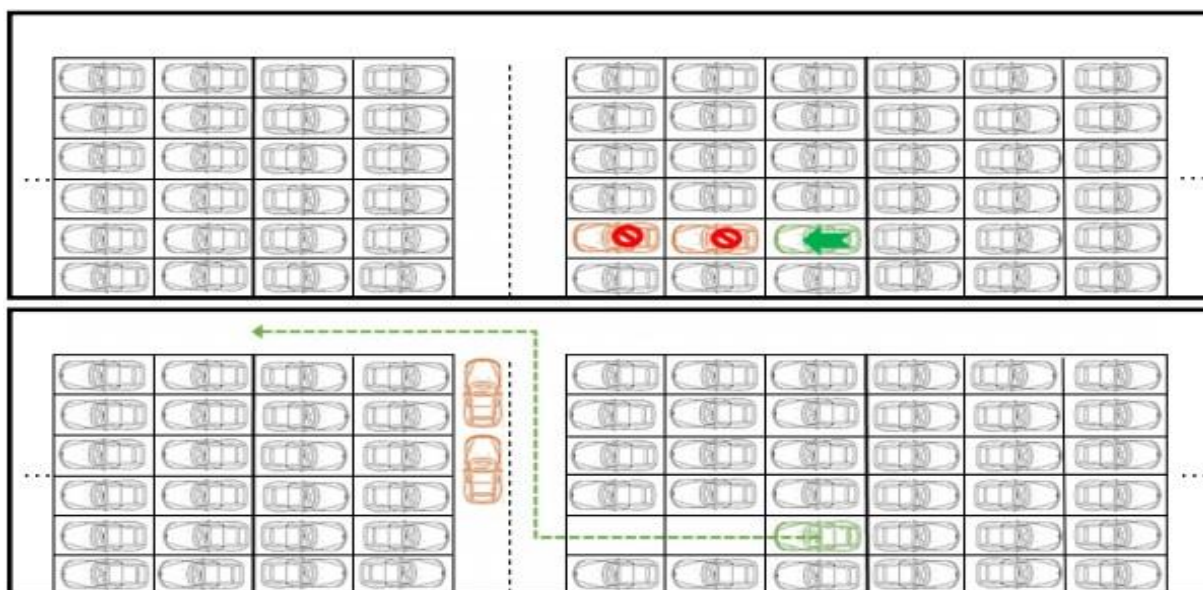


Figura 3.9 - Libertação de espaço para saída de AV encerrado (Nourinejad et al., 2018)

Com elevadas taxas de penetração de AV estas soluções tornam-se economicamente viáveis, no entanto, alocar veículos convencionais neste tipo de estacionamento não é praticável. A solução pode passar por dividir área do estacionamento em dois, uma área exclusiva para AV e outro espaço reservado para veículos convencionais (Nourinejad et al., 2018).

### 3.2.4 Pavimento

A circulação de AVs apesar dos benefícios já descritos, poderá trazer também implicações relacionadas com a estrutura de pavimento. O dano destas estruturas depende da localização dos pontos de aplicação das cargas aplicadas pelos veículos pesados. Os veículos convencionais não seguem sempre a mesma trajetória ao longo do trajeto uma vez que os desvios laterais designados de *lateral wander* são considerados aquando do dimensionamento. Esses desvios laterais fazem com que a carga não seja aplicada sempre no mesmo sítio, reduzindo o dano da estrutura. Os procedimentos de controlo lateral dos AV pode permitir o alargamento das áreas de aplicação das cargas provocando uma menor degradação, prolongando assim a vida útil dos pavimentos (Noorvand et al., 2017). Adicionalmente, os camiões podem ter a sua rota definida de modo a passar por vias menos degradadas. As taxas de portagem podem mesmo ser diferenciadas em função do estado do pavimento ou da intensidade de tráfego pesado.

No entanto, além do fundamento apresentado por Noorvand et al. (2017) ser facilmente entendido e apoiado por outros autores que abordam o assunto, os AVs podem levar, como já referido, uma redução da largura das vias, levaria a uma acumulação mais rápida de danos no pavimento (Litman, 2018) ao não permitir a condução de forma mais uniforme em toda a largura das pista (Farah et al., 2018). Por outro lado, a introdução de AVs poderá redefinir a forma como o levantamento do estado dos pavimentos é feito. Existem estudos sobre como equipar um veículo para que o estado da condição do pavimento seja efetuado e transmitido às agências responsáveis. Um desses estudos é o trabalho de Bridgelall (2015) que aproveita o

surgimento de veículos conectados para fornecer caracterizações contínuas de qualidade das viagens do veículo e da localização de anomalias dos pavimentos para toda a rede rodoviária.

### 3.2.5 Infraestrutura Física e Digital

A constante e atualizada troca de informação através da comunicação dos sistemas inteligentes de transporte irão possibilitar que o design da infraestrutura receba algumas alterações. Infraestruturas físicas como sinais luminosos, sinalização vertical ou obstáculos de redução de velocidade poderão ser removidos do ambiente rodoviário. Dispositivos de acalmia de tráfego, como a introdução de lombas, poderão ser removidos, já que os veículos podem receber informação, do gestor da rede, sobre a velocidade que deverá ser adotada, a qual deve ser obedecida pelos softwares que controlam o veículo.

Com as tecnologias autónomas e a constante comunicação, Sparrow e Howard (2017) e Farah et al. (2018) defendem que os convencionais sinais e infraestruturas serão substituídas por versões digitais em *cloud*, onde o veículo ajustará automaticamente a sua trajetória e velocidade para lidar com a situação de trânsito de uma forma cómoda e segura, onde na interação com outros veículos e com interseções, a sua marcha será controlada e permitida através de um “leilão eletrónico”. Para que esta alteração seja possível a conectividade V2X (*Vehicle-to-Everything*) deve ser fiável de modo a permitir uma organização segura e metódica do sistema rodoviário.

O equipamento tecnológico das infraestruturas irá ao longo do tempo sofrer provavelmente mudanças para que a adaptação aos diferentes níveis de autonomia seja concretizado. Numa fase inicial de implantação, em que as unidades tecnológicas permitam a comunicação V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*), alguns sinais de trânsito e até os sinais luminosos poderão ser removidos do ambiente rodoviário (Fagnant e Kockelman, 2014). Essa nova infraestrutura digital funcionará por troca de dados, provenientes dos sistemas de organização de trânsito ou através de *clouds*, e não por um reconhecimento físico/visual (Boonman, 2016). A infraestrutura digital além da informação sobre como o veículo deve proceder em determinada situação, possuirá também representações estáticas e dinâmicas do mundo físico com o qual o veículo irá interagir, onde mapas digitais 3D e dados relativos às operações de tráfego farão também parte desse tipo de infraestrutura (Boonman, 2016).

Também poderão ser instalados sensores ao longo das vias de comunicação, para auxiliar os veículos de eventuais situações de risco ou condições da estrada, no entanto fica por entender se estes sensores e tecnologias serão críticas para que a comunicação e a utilização da infraestrutura digital funcione, ou se os sensores e tecnologia existentes nos veículos serão capazes de suportar todo o processo.

O caminho possivelmente passará pela fusão de dados obtidos pelos sensores instalados nos veículos e pelos sensores instalados em locais específicos da infraestrutura.

Através da pesquisa efetuada, conclui-se que existem ainda bastantes lacunas em relação á operação da infraestrutura digital. Nomeadamente, em termos da fiabilidade, detalhe, perceção e pormenorização que os mapas digitais poderão oferecer. Salienta-se, que a representação do desenho geométrico das estradas é fundamental para que este tipo de infraestrutura funcione. Outra questão prende-se com a utilização de *cloud* neste processo e quem serão os responsáveis que irão lidar com esta quantidade de dados na plataforma digital, visto que esta plataforma irá lidar com grandes volumes de dados, que precisam de ser armazenados, estudados, compartilhados e acionados em tempo-real.

### 3.2.6 Número e Função das Vias

A introdução de AVs afetará o nível da eficiência do fluxo de tráfego e capacidade das vias. Não sendo certo se a vinda dos AVs reduzirá o número dos veículos em circulação ou o contrário, o número e função das vias será certamente um aspeto a ser modificado na infraestrutura rodoviária. Uma das primordiais alterações nas funcionalidades será certamente, enquanto a introdução destes veículos seja feita de maneira gradual, dedicar uma das vias da faixa de rodagem unicamente a AVs. Como ilustrado na Figura 3.10, as autoestradas poderão dedicar uma das vias de circulação a este tipo de veículos, assim como outras estradas com hierarquia inferior na rede rodoviária.

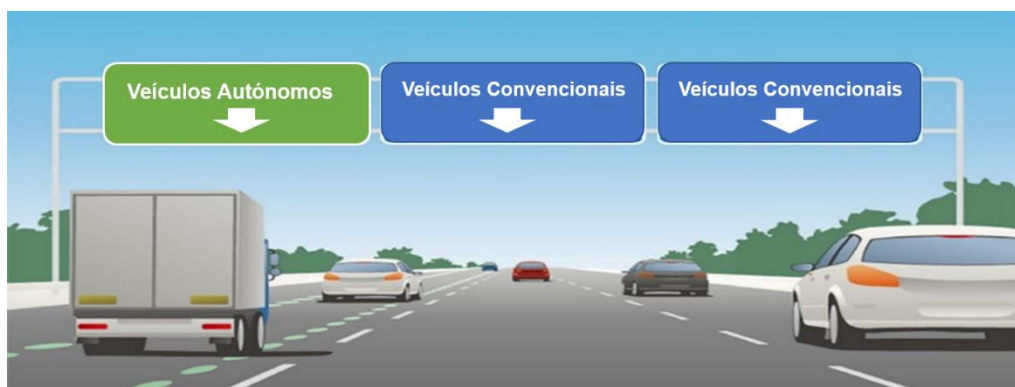


Figura 3.10 - Exclusividade de vias (Adaptado de @inhabitat, 2016)

Em contexto urbano, a revisão literária indica que a criação de uma pista exclusiva para estes veículos será a opção a tomar, indicando que os AVs funcionarão melhor quando circulararem em vias exclusivas para veículos com este efeito, em vez de realizarem a sua circulação em tráfego misto. Caso a capacidade das vias registem valores satisfatórios e o número de veículos obtenha uma redução significativa, o número de vias existentes nas faixas de rodagem poderá diminuir. Isso levaria a uma reorganização do espaço, podendo as áreas libertadas ser transformadas em espaços públicos como zonas verdes ou zonas pedonais/cicláveis.

### 3.2.7 Interseções

Apesar de existirem bastante estudos sobre como será feito o controlo das interseções, referem apenas situações onde todos os veículos em circulação são autónomos, ou apresentam elevado nível de autonomia, não fazendo sentido haver uma mudança radical na sinalização e tecnologias de controlo de tráfego enquanto não existir uma elevada penetração. Relativamente á geometria, a forma como as interseções são dimensionadas não deverá sofrer alterações significativas, já que estas são dimensionadas atentando aos movimentos de trânsito e às necessidades de manobra do veículo. No entanto, como os CAVs podem ver além do seu alcance visual, a visibilidade necessária na aproximação à interseção deixará de ser uma preocupação, podendo-se implementar interseções em locais onde a existência de veículos convencionais não permitia. Öztürker et al. (2016) referem estudos com CAVs em interseções sem sinais verticais e luminosos.

De seguida apresenta-se o funcionamento de uma interseção (Boonman, 2016). Com a remoção completa dos sinais luminosos e verticais, o funcionamento baseia-se na comunicação entre os diferentes intervenientes do sistema rodoviário, permitindo que haja uma coordenação eficaz entre a aceleração, a travagem e a direção dos veículos. Assim, quando os veículos se aproximarem da interseção, emitem um pedido de circulação na interseção, informando do trajeto pretendido. A permissão será atribuída pelo servidor que controlará o sistema rodoviário, substituindo os sinais luminosos e verticais.

O exercício de permissão ou rejeição encontra-se ilustrado na Figura 3.11, que mostra que um servidor não atribuirá a mesma ordem de atravessamento a dois veículos, ou seja, se dois ou mais veículos se encontrarem a aproximar da zona de interseção a sua marcha será adaptada consoante a resposta que obtiver do servidor, havendo uma comunicação global entre os vários intervenientes para que a circulação seja efetuada de modo eficaz, otimizando tempo e gastos de combustível.

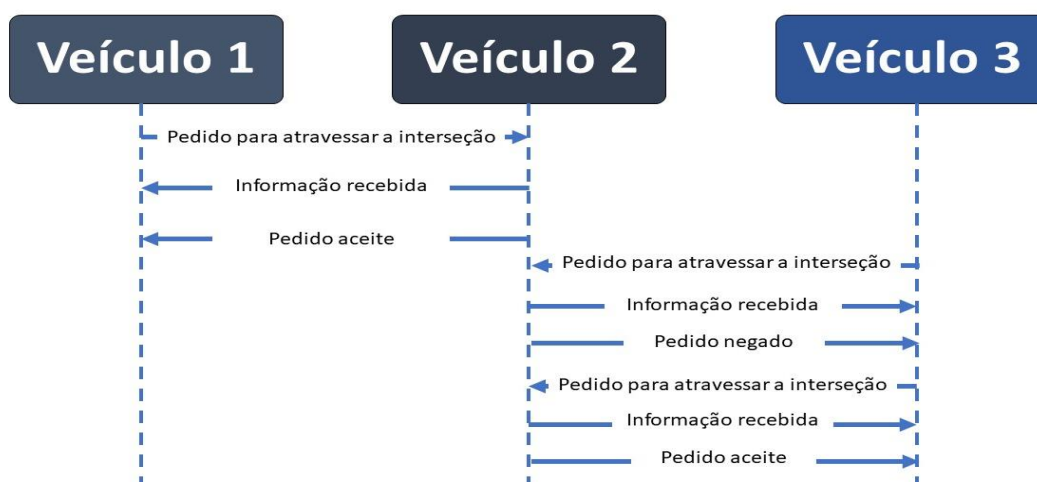


Figura 3.11 - “Leilão eletrônico” (Adaptado de Boonman, 2016)

A Figura 3.12 ilustra o funcionamento da interseção. Os veículos 1 e 2 solicitam a entrada no cruzamento, o veículo 1 possui a primeira permissão para efetuar a sua trajetória, e os veículos 2 e 3 ajustam a sua velocidade para que os atravessamentos sejam realizados sem colisão ou pontos de conflito.

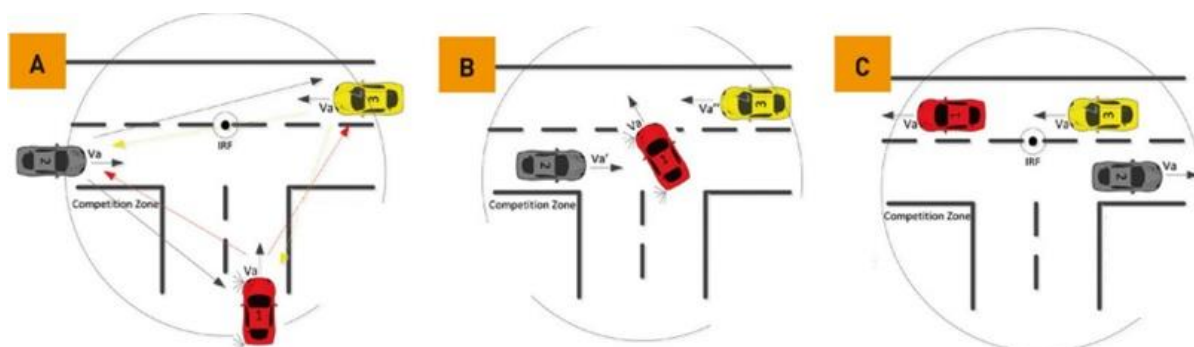


Figura 3.12 - Interseção Controlada pelos Sistemas Autónomos (Adaptado de Boonman, 2016)

Em casos como rotundas, um parâmetro que pode ser eliminado na aproximação da zona circular, são os troços onde a imposição de deflexão dos movimentos é obrigatória. Esta regra imposta para que haja uma redução de velocidades imposta aos veículos nos troços de aproximação á rotunda (Figura 3.13), logo, os CAVs farão esta redução de uma forma automática, permitindo que não haja deflexões de movimentos, e os troços possam-se adaptar a topografia do terreno sem regras impostas.

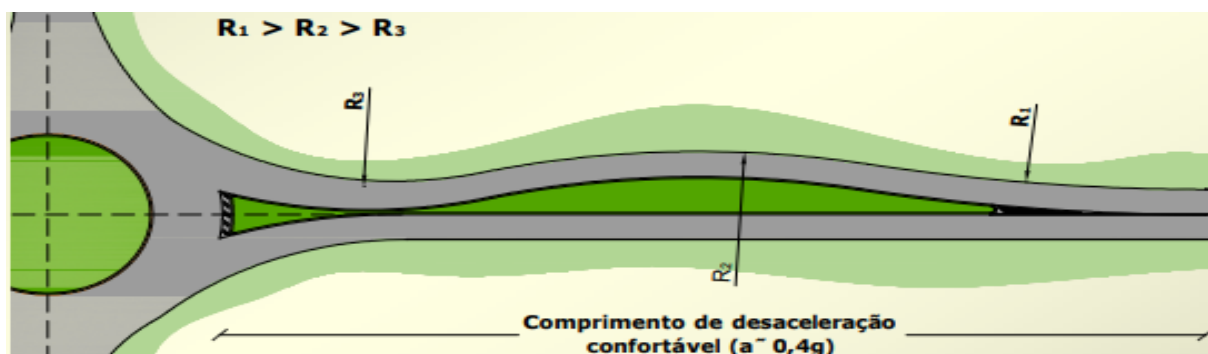


Figura 3.13 - imposição de deflexão dos movimentos (Seco, 2014)

### 3.2.8 Sistema de Portagens

A constante conectividade dos intervenientes do trânsito e a troca de informação atualizada poderá permitir que os sistemas de portagens desempenham um papel ativo na coordenação do fluxo de trânsito e na atribuição de novas formas de aumentar a capacidade das estradas. O sistema atual caracteriza-se por ser um sistema fixo de custos. Porém alguns estudos têm mostrado como este sistema pode ser alterado, por exemplo, através do uso de leilões de preços para determinar que rotas se adequam a determinado veículo (Basar e Cetin, 2017), da troca de quantias monetárias diretas entre veículos em troca de prioridades no fluxo de trânsito (Le Vine e Polak, 2016).



Geralmente as rotas pré-definidas pelos condutores ou pelos sistemas de apoio à condução tem em consideração os gastos monetários, o tempo e a facilidade de condução de determinadas rotas. Quando uma determinada via de comunicação se encontra com elevados fluxos de congestionamento graças a trabalhos na via ou a acidentes rodoviários, as portagens podem intervir diretamente na mudança de itinerário, passando a comunicar novos preços diretamente aos condutores para eventualmente convencê-los a optar por outra rota, levando a que o congestionamento seja reduzido e por vezes evitado. Outra situação que pode ser verificada, traduz-se nos valores monetários pagos quando determinado veículo atravessa uma determinada portagem. Na atualidade, o preço pago nestes serviços dependem exclusivamente da classe a que o veículo pertence, independentemente das cargas que transporta ou do número de passageiros. A troca de informação simultânea entre os veículos e a infraestrutura poderá permitir que as taxas aplicadas a cada veículo sejam divergentes, sendo os critérios para essa divergência estipulados pelas entidades responsáveis.

### 3.2.9 Dimensões e Características dos Veículos

Numa visão mais futurista as dimensões dos veículos poderá ser outra vertente a receber alterações. Mais uma vez, o conteúdo da pesquisa efetuada permite concluir que este processo poderá divergir no que diz respeito a este assunto. O facto dos passageiros dos veículos terem a possibilidade de novas experiências enquanto se encontram em circulação, pode levar à necessidade de espaço como ilustrado na Figura 3.14, de modo a facilitar, por exemplo, trabalho de escritório, reuniões presenciais ou dormir e relaxar. (Milakis et al., 2017; Filo e Lubega, 2015) Em contrapartida, a tentativa de provocar uma mudança de mentalidade na forma como as pessoas vêem o automóvel, passando de um objeto de posse a um meio de transporte, poderá levar os fabricantes a revolucionar a forma como os veículos são desenhados, concebendo, por exemplo, designs com menores dimensões para meio urbano (Figura 3.15). Assim sendo, em viagens de longo curso ou viagens só em veículo individual, os veículos podem ter dimensões maiores, enquanto que em viagens em meio urbano e integradas com o transporte público, os veículos podem ter dimensões menores. Neste último caso, o espaço interior do veículo pode ser otimizado, restringindo as áreas interiores aos lugares dos passageiros, sem grandes comodidades, mas que garantam eficiência e conforto na utilização.



Figura 3.14 - Aproveitamento do espaço interior (Filo e Lubega, 2015)



Figura 3.15 - Redução dimensão do veículo (@zpm, 2017)

Com a expectável redução do número de acidentes, os AVs podem ser construídos utilizando materiais mais leves, apresentando menos dispositivos de segurança (Boonman, 2016). Diferentes dimensões de veículos pode levar a vias exclusivas para determinados usos, e consequentemente com diferentes larguras. Isso poderá potenciar o uso do transporte público dentro de grandes centros urbanos, interligado ou não com veículos de menores dimensões, se se impedir, através da largura das vias, o acesso de veículos de maiores dimensões.

### 3.2.10 Smart/intelligent infrastructure

A nova geração de vias de comunicação deverá ser pensada de maneira inovadora, considerando novas visões tecnológicas e sua evolução nos próximos anos. Nesse sentido, apresenta-se o projeto FOR (Forever Open Road) que integra o presente com o futuro de uma forma revolucionária, visando o desenvolvimento de uma nova geração de estradas conceptualmente mais avançadas. Esse desenvolvimento assenta em três premissas: a estrada deve ser adaptável, automatizada e resiliente às alterações climáticas, e pode ser usado tanto na manutenção da rede existente como na construção de novas estradas (FOR, n.d.). O projeto defende que a estrada será construída através de unidades modulares pré-fabricadas onde cada unidade será equipada com canais de comunicação, de drenagem e outras ferramentas. (@trimis, 2017). As novas estradas podem monitorizar constantemente o seu estado, adicionar pistas de circulação, dar informações de trânsito e orientar os veículos. Os sensores rodoviários utilizarão os dados fornecidos pelos sensores instalados no veículo para identificar possíveis locais de reparação e de eventuais acidentes, permitindo ao veículo adaptar a sua velocidade e trajetória. Construídas a partir de matérias sustentáveis, serão capazes de suportar condições climáticas adversas e de se adaptarem consoante essas alterações.



Figura 3.16 - *Forever Open Road* (Adaptado de @FOR, 2017)

### 3.3 Análises SWOT

Através da extensa informação recolhida e da identificação das possíveis alterações mencionadas, são desenvolvidas duas análises SWOT. A primeira, apresentada no Quadro 3.1 é uma análise mais geral à introdução dos CAVs. A segunda foca-se mais nas implicações na infraestrutura rodoviária (Quadro 3.2).

Quadro 3.1 - Análise SWOT geral

FATORES INTERNOS	
PONTOS FORTES (+)	FRAQUEZAS (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do congestionamento e aumento da capacidade das estradas;</li> <li>• Redução do número de acidentes;</li> <li>• Equidade;</li> <li>• Redução de emissões;</li> <li>• Melhorias na eficiência energética;</li> <li>• Estacionamento mais eficiente;</li> <li>• Apólices de seguro mais baratas;</li> <li>• Redução de custos de viagem e tempo;</li> <li>• Redução do tempo de procura de estacionamento;</li> <li>• Redução da poluição sonora, visual e ambiental.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ética;</li> <li>• Legislação;</li> <li>• Aceitação do consumidor;</li> <li>• Acidentes em testes;</li> <li>• Questões tecnológicas a serem resolvidas;</li> <li>• Custo da tecnologia;</li> <li>• Prazer de conduzir.</li> </ul>
FACTORES EXTERNOS	
OPORTUNIDADES (+)	AMEAÇAS (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição/eliminação do estacionamento;</li> <li>• Nova experiência de condução;;</li> <li>• Alterar paradigma de propriedade do veículo (Car-sharing);</li> <li>• Expansão da zona residencial;</li> <li>• Economia financeira familiar;</li> <li>• Conforto e qualidade da vida humana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do congestionamento e redução da capacidade das estradas;</li> <li>• Aumento dos custos externos;</li> <li>• Aumento dos veículos em circulação;</li> <li>• Desemprego;</li> <li>• Privacidade e cibersegurança;</li> <li>• Redução do transporte público;</li> <li>• Rejeição do conceito não-condutor;</li> <li>• Conflito das leis da robótica;</li> <li>• Responsabilização em colisões.</li> </ul>

Quadro 3.2 - Análise SWOT às alterações identificadas ao nível da infraestrutura rodoviária

FATORES INTERNOS	
PONTOS FORTES (+)	FRAQUEZAS (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vias segregadas (maior eficiência);</li> <li>• Platooning;</li> <li>• Interseções (mais eficientes);</li> <li>• Estacionamento;</li> <li>• Melhor organização da circulação rodoviária.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do dano no pavimento (lateral wander);</li> <li>• Coexistência;</li> <li>• Custo de implementação da infraestrutura digital.</li> </ul>
FATORES EXTERNOS	
OPORTUNIDADES (+)	AMEAÇAS (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de portagens dinâmico;</li> <li>• Sistemas de conservação de pavimentos;</li> <li>• Largura das vias em função da hierarquia viária;</li> <li>• Requalificação das vias/espço;</li> <li>• Novo paradigma de gestão de tráfego;</li> <li>• Traçado geométrico (reduzidas visibilidades);</li> <li>• Novas e diferentes dimensões e características dos veículos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ataque cibernético à sinalização (infraestrutura digital);</li> <li>• Estacionamento (tráfego);</li> <li>• Mapas dinâmicos 3D.</li> </ul>

As alterações que as mudanças na infraestrutura de estacionamento provocam no sistema de transporte podem-se assumir como ambíguas no que toca a vantagens ou desvantagens dessa mesma revolução. Esta vertente é mencionada na análise apresentada como sendo um ponto forte uma vez que deixa de ser necessário a procura por um lugar de estacionamento pela parte do condutor ou do veículo, estando esta função adjudicada á translação do veículo para zonas de estacionamento próprio.

No entanto, estas viagens realizadas com o objetivo de imobilizar as viaturas em circulação apresentarão uma ameaça ao implemento destas medidas, uma vez que o tráfego médio de veículos poderá aumentar graças a este tipo de viagens.

## 4 CONCLUSÃO

As alterações que a implementação de veículos autónomos e conectados (CAVs) provocarão nas futuras infraestruturas, percebendo o modo como a tecnologia autónoma funciona e como irá ser incorporada nos sistema de transporte motivaram a realização desta dissertação.

Na intensa pesquisa efetuada no intuito de perceber e contextualizar todo o universo autónomo nos sistemas de transporte, foi claramente perspetivado que a segurança, as emissões e a equidade serão as vertentes que serão automaticamente aprimoradas e beneficiadas com a implementação de CAVs.

Os Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor têm assumido uma enorme importância no processo de adaptação dos veículos convencionais aos novos níveis de automação, contribuindo para que a segurança e os impactes ambientais sejam suavizados ao longo dos anos.

Ao longo da realização da dissertação, para as marcas e fabricantes dos componentes autónomos a tecnologia autónoma encontra-se atualmente num estado tal que a sua implementação pode ser feita em grande escala. Apesar dos veículos preparados por estes se encontrarem a ser alvo de testes, uma lacuna a reter passa pela necessidade de estas tecnologias serem programadas e equipadas com mapas dinâmicos 3D de toda a superfície terrestre, situação que ainda não se encontra totalmente mapeada. Outra questão a realçar acerca deste desenvolvimento tecnológico pelo é o facto dos sensores que são integrados nos sistemas de perceção ainda apresentarem erros em certas situações, nomeadamente ao nível da deteção quando as condições climáticas não são favoráveis, pondo em causa a eficácia e consistência dos dados e informações a serem analisados sequencialmente pelos sistemas de controlo.

Relativamente à comunicação que caracteriza tanto os veículos conectados como os veículos autónomos, as mais valias e vantagens deste exercício são irrefutáveis, estando este capítulo dependendo da forma como a rede de comunicações sem fios seja adaptada no sistemas de mobilidade, uma vez que a existência de uma sólida rede de comunicações aponta-se como o pilar desta tecnologia. As diversas comunicações existentes, como V2V (*Vehicle-to-Vehicle*), V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*) e V2X (*Vehicle-to-Everything*), mostraram potencialidades notórias, podendo beneficiar a segurança, as emissões, o conforto na circulação e um ponto chave como a diminuição do congestionamento. Exemplo disso é o *platooning* e o novo paradigma de controlo de interseções que se perspetiva.

Em relação à introdução efetiva dos veículos, salientou-se diversos pontos, revelando assim, que essa mesma implementação além dos potenciais impactes positivos, que poderão ser bastante significativos, poderá ser também alvo de inúmeras barreiras podendo originar implicações negativas. Uma das principais barreiras á implementação prende-se com a vertente

ética, moral e regulamentar. Apesar de ser incontestável o impacto positivo em campos como a segurança, estas questões poderão retardar ou mesmo impossibilitar a colocação dos veículos autónomos em circulação. Outro aspeto prende-se pela direta aceitabilidade dos consumidores. A pesquisa provou que existem bastantes reticências quando a população é abordada sobre a substituição da mão humana no ato de controlar um veículo por uma máquina. As razões que se apontam para esta situação justifica-se pela desconfiança em todo o processo de condução autónoma, seja por desconhecimento da realidade tecnológica ou de eventuais receios e riscos ou pelo facto de a atividade de condução se traduzir em situações prazerosas. Assim como a aceitabilidade e confiabilidade nas tecnologias autónomas em relação aos acidentes. O facto destes estarem a ocorrer nos testes em meio urbano nas várias marcas, registando já uma vítima mortal, põe em causa as afirmações e teorias defendidas pelos fabricantes da tecnologia em que assumem que a tecnologia já se encontra devidamente pronta para ser utilizada na via pública sem qualquer contraindicações.

O facto da regulamentação e legislação no âmbito da mobilidade terrestre se encontrar estruturada para a existência da intervenção humana na condução, têm havido desde 2016 esforços para que a convenção, que rege essa estrutura, seja adaptada à necessidade de possibilitar legalmente a circulação de veículos autónomos nas estradas, até agora apenas exclusivo para a realização de testes em plataformas e ambientes urbanos.

Além destas barreiras burocráticas e sociais, a estruturação deste trabalho aponta diversos impactos negativos. Implicações na empregabilidade que esteja ligado diretamente com o sistema de transporte e com o universo industrial de veículos poderá registar taxas de desemprego preocupantes, assim como a possibilidade do número de veículos em circulação poderá atingir negativamente o tráfego rodoviário.

Os conceitos de *platooning* e *car-sharing* avizinham-se como dois processos que com a sua adequabilidade provocarão certamente um impacto no modo de circulação dos CAVs e na transformação do sistema de transporte atual, respetivamente, com o *car-sharing* a apresentar índices extremamente satisfatórios na redução de custos para os utilizadores, assim como nos impactos causados pelo número de veículos a circular.

Ficou provado que quando a tecnologia, softwares e algoritmos se encontrarem devidamente desenvolvidos e certificados, a penetração dos veículos autónomos será feita de uma forma gradual, perspetivando-se um longo período de tempo onde os veículos autónomos coexistirão e partilharão as estradas com veículos convencionais. Este acontecimento não se encontra ainda devidamente clarificado do ponto de vista da organização e adequabilidade da infraestrutura, no entanto, através do trabalho desenvolvido, uma melhoria na sinalização dos sistemas de transporte, nas marcações horizontais do pavimento, e a criação de vias exclusivas para este tipo de veículos projetam-se como os passos a adotar.

Foi possível perceber que, apesar do extenso desenvolvimento atual das tecnologias encontradas nos veículos, não têm sido registados avanços significativos nas eventuais plataformas e tecnologias que serão introduzidas nas infraestruturas de transporte para adequar o sistema de mobilidade aos novos caminhos de comunicação.

Relativamente ao estudo de caso englobado no desenvolvimento da dissertação é possível concluir e salientar que os processos de alteração da infraestrutura rodoviária podem ser diferenciados e dependentes de dois processos interligados. De uma maneira direta e percebendo toda a complexidade da autonomia veicular e da caracterização que a circulação destes veículos apresentará torna-se claro que se podem identificar algumas alterações. A reestruturação do traçado geométrico, a substituição de plataformas físicas para digitais, novas dinâmicas nos sistemas de portagens, novas gerações de estradas ou alterações nas larguras das vias e reestruturação das infraestruturas de estacionamento estão diretamente dependentes da forma como a tecnologia dos veículos autónomos é caracterizada. No entanto, estas alterações no rearranjo das estradas/cidades e no sistema de transporte estará dependente da forma como a penetração dos veículos se processará. O facto da capacidade das vias de comunicação estar diretamente ligado ao número de veículos em circulação, será imperativo aguardar pela introdução dos veículos para se concluir se o número de veículos em circulação aumenta ou diminui, e só aí poderão ser identificadas, estudadas e implementadas alterações nas infraestruturas de transporte de uma maneira concreta, concisa e adequada.

É possível assim concluir que a infraestrutura rodoviária será certamente alvo de inúmeras transformações, para que a introdução de CAVs seja exponenciada em toda a sua complexidade e benefícios, levando a que a segurança, a eficácia de transporte e os impactos ambientais sejam potencializados e melhorados, permitindo assim combater a sinistralidade, o congestionamento e as elevadas toxidades que caracteriza o sistema rodoviário no mundo.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (2011). Roadside Design Guide, 4th edition, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Aboud, K., Omar, H. A., e Zhuang, W. (2016). Interworking of DSRC and Cellular Network Technologies for V2X Communications: A Survey. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(12), 9457–9470. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2591558>
- Abraham, H., Lee, C., Brady, S., Fitzgerald, C., Mehler, B., Reimer, B., e Coughlin, J. F. (2016). Autonomous Vehicles, Trust, and Driving Alternatives: A survey of consumer preferences. Massachusetts Institute of Technology.
- Alam, A., Mårtensson, J., e Johansson, K. H. (2015). Experimental evaluation of decentralized cooperative cruise control for heavy-duty vehicle platooning. *Control Engineering Practice*, 38, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2014.12.009>
- Alessandrini, A., e Mercier-Handisyde, P. (2017). CityMobil2 Project - Experience and recommendations, <http://www.citymobil2.eu/en/upload/Deliverables/PU/CityMobil2%20booklet%20web%20final%2017%2011%202016.pdf>
- Alves, T. W. (2017). Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Escola De Engenharia, Programa De Pós-Graduação Em Engenharia De Produção.
- Atagoziyev, M., Schmidt, K. W., e Schmidt, E. G. (2016). Lane Change Scheduling for Autonomous Vehicles. *IFAC-PapersOnLine*, 49(3), 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.011>
- Au, T., Zhang, S., e Stone, P. (2015). Autonomous Intersection Management for Semi-Autonomous Vehicles. *Handbook of Transportation*, 88–104. <https://doi.org/10.4324/9781315756684>
- Bansal, P., Kockelman, K. M., e Singh, A. (2016). Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.01.019>
- Barbosa, H. C. (2017). Conceito de dispositivos registradores de dados para veículos inteligentes, Dissertação de Mestrado.
- Barradas, M. (2017). Comunicação Veículo para Veículo, Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação do Instituto Universitário de Lisboa, Dissertação de Mestrado.
- Barth, M., e Boriboonsomsin, K. (2009). Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(6), 400–410. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.01.004>
- Bartolini, C., Tettamanti, T., e Varga, I. (2017). Critical features of autonomous road transport from the perspective of technological regulation and law. *Transportation Research Procedia*, 27, 791–798. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.002>
- Basar, G., e Cetin, M. (2017). Auction-based tolling systems in a connected and automated vehicles environment: Public opinion and implications for toll revenue and capacity utilization. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 81, 268–285. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.06.006>
- Beleño, R. (2012). Proposta de uma Plataforma de Testes para o Desenvolvimento de Veículos Autôomos, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Dissertação.
- Bener, A., Yildirim, E., Özkan, T., e Lajunen, T. (2017). Driver sleepiness, fatigue, careless behavior and risk of motor vehicle crash and injury: Population based case and control study. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 4(5), 496–502. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.07.005>
- Bernardini, C., Asghar, M. R., e Crispo, B. (2017). Security and privacy in vehicular communications: Challenges and opportunities. *Vehicular Communications*, 10, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2017.10.002>
- Berrada, J., E Leurent, F. (2017). Modeling Transportation Systems involving Autonomous Vehicles: A State of the Art. *Transportation Research Procedia*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.077>
- Biondi, F., Strayer, D. L., Rossi, R., Gastaldi, M., e Mulatti, C. (2017). Advanced driver assistance systems: Using multimodal redundant warnings to enhance road safety, 58, 238–244. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.06.016>
- Boonman, X. (2016). SCHOOL FOR TRANSPORTATION SCIENCES Master of Transportation Sciences, Master thesis “Sustainable Investments in the Road Network Considering the Introduction of Automated Vehicles”
- Brett, J. A. (2016). Thinking Local about Self-Driving Cars : A Local Framework for Autonomous Vehicle Development in the United States, Master thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of: Master of Urban Planning, University of Washington.
- Bridgelall, R. (2015). PAVEMENT PERFORMANCE EVALUATION USING CONNECTED VEHICLES. A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the North Dakota State University of Agriculture and Applied Science
- Brodsky, J. S. (2016). Autonomous Vehicle Regulation : How an Uncertain Legal Landscape May Hit the Brakes On Self - Driving Cars. *Berkeley Technology Law Journal*.
- Browand, F., McArthur, J., e Radovich, C. (2004). Fuel Saving Achieved in the Field Test of Two Tandem Trucks. California PATH Research Report.
- Butcher, L., Conway, L., e Edmonds, T. (2017). Vehicle Technology and Aviation Bill 2016-17, briefing paper Number 3 (March), 2016–17.
- BMVI (2017). Ethics commission – Automated and connected Driving, Report (Extract) June 2017, [https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/Documents/G/ethic-commission-report.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/Documents/G/ethic-commission-report.pdf?__blob=publicationFile)



- Carvalho, B. (2009). *Arquitecturas para Navegação Inercial / GPS com Aplicação a Veículos Autónomos*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade Técnica de Lisboa.
- CityMobil2 (2012). *Legal concerns related to the deployment of fully automated urban vehicles*, Seventh Framework Programme.
- Clark, H. E. (2016). *Limited Self-Driving Vehicle Automation: Age Differences in the Takeover of Vehicle Control, Engagement in Non-driving-related Activities and Opinions of the Technology*, Dissertation.
- Dar, K., Bakhouya, M., Gaber, J., Wack, M., e Lorenz, P. (2010). *Wireless communication technologies for ITS applications [Topics in Automotive Networking]*. IEEE Communications Magazine, 48(May), 156–162. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2010.5458377>
- De Silva, V., Roche, J., e Kondoz, A. (2017). *Fusion of LiDAR and Camera Sensor Data for Environment Sensing in Driverless Vehicles*, <http://arxiv.org/abs/1710.06230>
- Dey, K. C., Rayamajhi, A., Chowdhury, M., Bhavsar, P., e Martin, J. (2016). *Vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication in a heterogeneous wireless network - Performance evaluation*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 68, 168–184. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.03.008>
- Diniz, P. (2017). *Serviços Telemáticos Em Uma Rede de Transporte Público Baseados em Veículos Conectados e Dados Abertos*, Dissertação.
- Dresner, K., e Stone, P. (2004). *Multiagent traffic management: a reservation-based intersection control mechanism*. Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2004. AAMAS 2004., (July), 530–537.
- Drury, M., Lucia, J., e Caruso, V. (2017). *Autonomous Vehicles: An Ethical Theory to Guide Their Future*. Lehigh Review Spring, 25(19), 25–2017.
- ETSC (2016). *European Transport Safety Council, Prioritising the safety potential of automated driving in Europe*. Retrieved from <http://etsc.eu/automated-driving-report/>
- EC (2015). *European Commission, Study on good practices for reducing road safety risks caused by road user distractions, Study prepared for the Directorate-General for Mobility and Transport, Final report-Study*, <https://doi.org/10.2832/88265>
- Fagnant, D., e Kockelman, K. (2014). *The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 40, pp 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.12.001>
- Farah, H., Erkens, S. M. J. G., Alkim, T., e Arem, B. Van. (2018). *Road Vehicle Automation* 4, 187–197. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60934-8>
- Feldmaier, B. (2016). *CAAT Conference: The Road to Autonomous Vehicles*, <http://events.r20.constantcontact.com/register/event?oeidk=a07ec8g4ezb8ac7a458&llr=hcupslpab>.
- Filgueira, A., González-Jorge, H., Lagüela, S., Díaz-Vilariño, L., e Arias, P. (2017). *Quantifying the influence of rain in LiDAR performance*. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 95, 143–148. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.10.009>
- Filo, P., e Lubega, I. (2015). *Design of interior for a self-driving car Propose a conceptual design from a Body & Trim perspective that can be implemented in future self-driving cars*, Master's thesis in Product Development.
- Fleetwood, J. (2017). *Public health, ethics, and autonomous vehicles*. American Journal of Public Health, 107(4), 532–537. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2016.303628>
- García-Ligero, M. J., Hermoso-Carazo, A., e Linares-Pérez, J. (2012). *Distributed and centralized fusion estimation from multiple sensors with Markovian delays*. Applied Mathematics and Computation, 219(6), 2932–2948. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2012.09.017>
- Godoy, J., Pérez, J., Onieva, E., Villagrà, J., Milanés, V., e Haber, R. (2015). *A driverless vehicle demonstration on motorways and in urban environments*. Transport, 30(3), 253–263.
- González, D., Pérez, J., Milanés, V., e Nashashibi, F. (2016). *A Review of Motion Planning Techniques for Automated Vehicles* IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 17, NO. 4, APRIL 2016, <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2498841>
- Harper, C. D., Hendrickson, C. T., Mangones, S., e Samaras, C. (2016). *Estimating potential increases in travel with autonomous vehicles for the non-driving, elderly and people with travel-restrictive medical conditions*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 72, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.09.003>
- Heilig, M., Hilgert, T., Mallig, N., Kagerbauer, M., e Vortisch, P. (2017). *Potentials of Autonomous Vehicles in a Changing Private Transportation System - A Case Study in the Stuttgart Region*. Transportation Research Procedia, 26(2016), 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.07.004>
- Heucke, M., Marina Martinez, C., Wang, F.-Y., Gao, B., e Cao, D. (2016). *Driving Style Recognition for Intelligent Vehicle Control and Advanced Driver Assistance: A Survey*. Transactions on Intelligent Transportation Systems (Under Review), 1–11.
- Hill, C. (2013) *Module 13: Connected Vehicles*, <http://www.pcb.its.dot.gov/eprimer/documents/module13.pdf>
- Hobert, L., Festag, A., Llatser, I., Altomare, L., Visintainer, F., e Kovacs, A. (2016). *Enhancements of V2X communication in support of cooperative autonomous driving*. Infocommunications Journal, 8(3), 27–33. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7355568>

- Huang, S., Sadek, A. W., e Zhao, Y. (2012). Assessing the Mobility and Environmental Benefits of Reservation-Based Intelligent Intersections Using an Integrated Simulator. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(3), 1201–1214. <https://doi.org/10.1109/TITS.2012.2186442>
- Hulse, L. M., Xie, H., e Galea, E. R. (2018). Perceptions of autonomous vehicles: Relationships with road users, risk, gender and age. *Safety Science*, 102(October 2017), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.001>
- IHS (2014). Eyes on the road - Searching for answers to the problem of distracted driving, Insurance Institute for Highway Safety, Status Report Vol 49, 8.
- Igliński, H., & Babiak, M. (2017). Analysis of the Potential of Autonomous Vehicles in Reducing the Emissions of Greenhouse Gases in Road Transport. *Procedia Engineering*, 192, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.061>
- InIR (2011). Medidas de acalmia de tráfego, 1, 87, <http://www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/InfraestruturasRodoviaras/InovacaoNormalizacao/Divulgao%20Tcnica/MedidasAcalmiaTrafegoVol1.pdf>
- JAE, (1995). Junta Autónoma de Estradas, Normas de Traçado.
- Jun, M., e Markel, T. (2017). Infrastructure-Based Sensors Augmenting Efficient Autonomous Vehicle Operations, Preprint Presented at the Intelligent Transportation Systems World Congress Detroit, Michigan.
- Kamali, M., Dennis, L. A., McAree, O., Fisher, M., e Veres, S. M. (2017). Formal verification of autonomous vehicle platooning. *Science of Computer Programming*, 148, 88–106. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2017.05.006>
- Kistangari, R. R., Naik, S., Musunuri, P., e Srikanth, S. (2017). A Critical Review on Autonomous Vehicle, *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*.
- Kleberger, P., Olovsson, T., e Jonsson, E. (2011). Security aspects of the in-vehicle network in the connected car. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. <https://doi.org/10.1109/IVS.2011.5940525>
- Kumru, M., Debada, E., Makarem, L., e Gillet, D. (2017). Mobility-on-demand scenarios relying on lightweight autonomous and connected vehicles for large pedestrian areas and intermodal hubs. *2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering, ICITE 2017*, 178–183. <https://doi.org/10.1109/ICITE.2017.8056904>
- Le Vine, S., e Polak, J. (2016). A novel peer-to-peer congestion pricing marketplace enabled by vehicle-automation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 94, 483–494. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.009>
- Li, S. E., Xu, S., Huang, X., Cheng, B., e Peng, H. (2015). Eco-departure of connected vehicles with V2X communication at signalized intersections. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(12), 5439–5449. <https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2483779>
- Lioris, J., Pedarsani, R., Tascikaraoglu, F. Y., e Varaiya, P. (2016). Doubling throughput in urban roads by platooning. *IFAC-PapersOnLine*, 49(3), 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.009>
- Lioris, J., Pedarsani, R., Tascikaraoglu, F. Y., e Varaiya, P. (2017). Platoons of connected vehicles can double throughput in urban roads. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 77, 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.01.023>
- Litman, T. (2018). Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning, Victoria Transport Policy Institute, <https://www.vtpi.org/avip.pdf>.
- Martinez, C. M., Zhang, F., Clarke, D., Hinz, G., e Cao, D. (2017). Feature uncertainty estimation in sensor fusion applied to autonomous vehicle location. *20th International Conference on Information Fusion* <https://doi.org/10.23919/ICIF.2017.8009655>
- McGehee, D., Schwarz, C., Brewer, M., e Smith, B. (2016). “Review Of Automated Vehicle Technology: Policy And Implementation Implications”. Ames, Iowa: Iowa Department of Transportation .
- Meng, F., Gray, R., Ho, C., Ahtamad, M., e Spence, C. (2015). Dynamic vibrotactile signals for forward collision avoidance warning systems. *Human Factors*, 57(2), 329–346. <https://doi.org/10.1177/0018720814542651>
- Mendonça, E. (2014). Mercado potencial de TIC no sector dos transportes , quantificação de impactes e cenários de implementação na AML, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade Tecnica de Lisboa.
- Milakis, D., Snelder, M., van Arem, B., van Wee, B., e Correia, G. (2016). Scenarios about development and implications of automated vehicles in the Netherlands. *Transportation Research Board, 95th Annual Meeting*.
- Milakis, D., Van Arem, B., e Vanwee, B. (2017). Policy and society related implications of automated driving: A review of literature and directions for future research. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 21(4), 324–348. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1291351>
- Miller, C., & Valasek, C. (2014). A Survey of Remote Automotive Attack Surfaces. *Defcon 22*, 1–90. Retrieved from <http://illmatics.com/remote-attack-surfaces.pdf>
- Moon, S., Moon, I., e Yi, K. (2009). Design, tuning, and evaluation of a full-range adaptive cruise control system with collision avoidance. *Control Engineering Practice*, 17(4), 442–455. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2008.09.006>
- Nair, G. S., Eltayeb, M. E., Jr., R., e Bhat, C. (2017). a Microsimulation Approach To Quantify the Safety Benefits of Connected Vehicles: a road hazard warnings application. *Transportation Research Board*, <http://amonline.trb.org/2017trb-1.3983622/t023-1.3996143/573-1.3996540/18-06655-1.3996541/18-06655-1.3996542?qr=1>
- Narayan, A., Tuci, E., Labrosse, F., e Mohammed Alkilabi, M. H. (2018). A dynamic colour perception system for autonomous robot navigation on unmarked roads. *Neurocomputing*, 275, 2251–2263. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.11.008>
- Neto, E., Rentes, A., Romão, V., e Spricigo, V. (2016). Rodovias Inteligentes : Contextualização, Simulação E Adequação Do Projecto Geométrico, Projeto de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

- Noorvand, H., Karnati, G., e Underwood, B. S. (2017). Autonomous Vehicles: An Assessment of the Implications of Truck Positioning on Flexible Pavement Performance and Design. Transportation Research Board 96<sup>th</sup> Annual Meeting.
- Nourinejad, M., Bahrami, S., e Roorda, M. J. (2018). Designing parking facilities for autonomous vehicles. Transportation Research Part B: Methodological, 109, 110–127. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2017.12.017>
- Öztürker, M., Milakis, D., e van Arem, B. (2016). Towards a methodology to identify design changes for urban transport infrastructure in the era of automated driving and vehicle sharing, 1–17, Working paper, Delft University of Technology.
- Pavone, M. (2016). Autonomous mobility-on-demand systems for future urban mobility. Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_19)
- Pendleton, S., Andersen, H., Du, X., Shen, X., Meghjani, M., Eng, Y., e Ang, M. (2017). Perception, Planning, Control, and Coordination for Autonomous Vehicles. Machines, 5(1), 6. <https://doi.org/10.3390/machines5010006>
- Petit, J., e Shladover, S. E. (2015). Potential Cyberattacks on Automated Vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 16(2), 546–556. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2342271>
- Ploeg, J., Scheepers, B. T. M., Nunen, E. Van, Wouw, N. Van De, e Nijmeijer, H. (2011). Design and experimental evaluation of cooperative adaptive cruise control. Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 260–265. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2011.6082981>
- SAE international. (2016). U.S. Department of Transportation’s New Policy on Automated Vehicles Adopts SAE International’s Levels of Automation for Defining Driving Automation in On-Road Motor Vehicles. SAE International, 1. <https://doi.org/P141661>
- Seco, Á. (2014). Vias de Comunicação I - Cruzamentos giratórios: Rotundas, Documento de apoio à disciplina.
- Shladover, S. (2017). Connected and automated vehicle systems: Introduction and overview. Journal of Intelligent Transportation Systems, 0(0), 1–11. <https://doi.org/10.1080/15472450.2017.1336053>
- Shladover, S. E., E Nowakowski, C. (2017). Regulatory challenges for road vehicle automation: Lessons from the California experience. Transportation Research Part A, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.006>
- Silva, A. (2014)a. Vias de Comunicação I - Distâncias de Visibilidade, Documento de apoio à disciplina.
- Silva, A. (2014)b. Vias De Comunicação I, Traçado Geral – Homogeneidade e Coordenação Planta Perfil, Documento de apoio à disciplina.
- Sparrow, R., e Howard, M. (2017). When human beings are like drunk robots: Driverless vehicles, ethics, and the future of transport. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 80, 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.04.014>
- Thomas, N. E., e Martinez-Perez, F. J. (2014). Impacts of Road-Trains on the Geometric Design of Highways. Transportation Research Board, 93<sup>rd</sup> Annual Meeting, 141, Content ID 04014087. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000751](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000751).
- Turri, V., Besselink, B., e Johansson, K. H. (2015). Cooperative look-ahead control for fuel-efficient and safe heavy-duty vehicle platooning, 25(1), 12–28. <https://doi.org/10.1109/TCST.2016.2542044>
- Varum, T., Matos, J., e Pinho, P. (2010). Antena para comunicações DSRC, (1), 3–6, <http://hdl.handle.net/10773/4482>
- VDA (2015). Automation: From Driver Assistance Systems to Automated Driving. VDA Magazine, Automation, 28. [http://www.iaa.de/fileadmin/user\\_upload/2015/english/downloads/press/Automation-from-Driver-Assistance-Systems-to-Automated-Driving.pdf](http://www.iaa.de/fileadmin/user_upload/2015/english/downloads/press/Automation-from-Driver-Assistance-Systems-to-Automated-Driving.pdf)
- Waldrop, M. . M. (2015). No Drivers Ditch the Driver. Nature - International Weekly Journal of science, <https://doi.org/10.1038/518020a>
- Washburn, S., e Washburn L. (2018). Future Highways - Automated Vehicles, online education course material, SunCam, USA.
- Xu, L., Wang, Y., Sun, H., Xin, J., e Zheng, N. (2016). Integrated Longitudinal and Lateral Control for Kuafu-II Autonomous Vehicle. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 17(7), 2032–2041. <https://doi.org/10.1109/TITS.2015.2498170>
- Zhang, W., Guhathakurta, S., Fang, J., e Zhang, G. (2015). Exploring the impact of shared autonomous vehicles on urban parking demand: An agent-based simulation approach. Sustainable Cities and Society, 19, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.006>
- Ziebinski, A., Cupek, R., Grzechca, D., e Chruszczyk, L. (2017). Review of advanced driver assistance systems (ADAS), AIP Conference Proceedings 1906, <https://doi.org/10.1063/1.5012394>.
- Zuby, D. S. (2014). The Promise and Reality of Crash Avoidance Technology, Lifesavers National Conference, Nashville, TN April 2014.

**Sites:**

- @123rf (2017). [https://pt.123rf.com/photo\\_37550643\\_testes-do-prot%C3%B3tipo-micro%C3%B4nibus-sem-drivers-para-as-ruas-da-cidade-de-len-o-citymobil-2-%C3%A9-um-projeto-de-sist.html](https://pt.123rf.com/photo_37550643_testes-do-prot%C3%B3tipo-micro%C3%B4nibus-sem-drivers-para-as-ruas-da-cidade-de-len-o-citymobil-2-%C3%A9-um-projeto-de-sist.html). Visto a 17/12/2017
- @ACEA (2016). <http://www.acea.be/news/article/what-are-the-benefits-of-truck-platooning> Visto a 27/10/2017
- @arstechica (2017). <https://arstechnica.com/cars/2017/01/volvos-autonomous-drive-me-research-project-gets-underway/> Visto a 17/12/2017
- @autoclube (2017). <http://www.autoclube.acp.pt/actualidade/entity/volvo-inicia-projeto-drive-me> Visto a 18/12/2017
- @Autoesporte (2017). <http://www.revistaautoesporte.globo.com/revista/noticia/2017/03/como-funciona-um-carroautonomo.html> Visto a 11/12/2017

- @bosh (2018). <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-vodafone-and-huawei-enable-smart-cars-to-communicate-with-each-other-141312.html> Visto a 11/02/2018
- @connected (2018). <https://connectedautomateddriving.eu/mediaroom/connected-vehicles-soon-circulating-around-french-cities/> Visto a 19/03/2018
- @Dn (2018). <https://www.dn.pt/dinheiro/interior/autocarro-autonomo-vai-ligar-praias-de-cascais-9194600.html> Visto a 19/03/2018
- @Dn2 (2018). <https://www.dn.pt/dinheiro/interior/sinistralidade-zero-na-mira-da-mobilidade-do-futuro-9050591.html> Visto a 16/03/2018
- @driverless (2015). <http://www.driverlesstransportation.com/platooning-1157> Visto a 15/12/2017
- @driverless (2018). <http://www.driverlesstransportation.com/v2i-spectrum-sharing-field-test-is-ongoing-11807> Visto a 26/10/2017
- @eutruckplatooning (2017). <https://www.eutruckplatooning.com/About/default.aspx> Visto a 27/10/2017
- @exameinformática (2018). <http://www.exameinformatica.sapo.pt/lifestyle/carros/2017-11-08-A-tecnologia-que-vai-dar-visao-sobre-humana-aos-carros-autonomos> Visto a 10/12/2017
- @extremeTech (2014). <https://www.extremetech.com/extreme/176093-v2v-what-are-vehicle-to-vehicle-communications-and-how-does-it-work> Visto a 14/11/2017
- @FOR (2017). <http://www.foreveropenroad.eu/m=14> Visto a 8/03/2018
- @futurbehind (2016). <https://www.futurebehind.com/waymo-google-carro-autonomo/> Visto a 13/12/2017
- @futurbehind (2017). <https://www.futurebehind.com/waymo-ja-tem-carros-totalmente-autonomos/> Visto a 19/01/2018
- @gov (2017). <https://www.gov.uk/government/publications/principles-of-cyber-security-for-connected-and-automated-vehicles/the-key-principles-of-vehicle-cyber-security-for-connected-and-automated-vehicles> Visto a 9/02/2018
- @inhabitat (2016). <https://inhabitat.com/self-driving-car-lane-envisioned-for-commute-between-vancouver-and-seattle/> Visto a 22/02/2018
- @its (2016). [https://www.its.dot.gov/research\\_archives/safety/v2i\\_comm\\_safety.htm](https://www.its.dot.gov/research_archives/safety/v2i_comm_safety.htm) Visto a 26/10/2017
- @jornaldenegócios (2017). <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/brisa-da-via-verde-a-bosch-para-testar-carros-autonomos> Visto a 19/03/2018
- @kbb.sapo (2017). <https://kbb.sapo.pt/detalhes-noticia/profissoes-desaparecer-carros-autonomos/?ID=350> Visto a 8/03/2018
- @kbb2.sapo (2017). <https://kbb.sapo.pt/detalhes-noticia/car-sharing-plataformas-disponiveis-portugal/?ID=599> Visto a 1/02/2018
- @maquina (2018). [http://www.aquelamaquina.pt/noticias/actualidade//detalhe/alerta-automoveis-conectados-serao-alvo-apedetivel-para-os-hackers.html?ref=DET\\_Recomendadas\\_pb](http://www.aquelamaquina.pt/noticias/actualidade//detalhe/alerta-automoveis-conectados-serao-alvo-apedetivel-para-os-hackers.html?ref=DET_Recomendadas_pb) Visto a 9/02/2018
- @medium (2017). <https://medium.com/@robert.m.fostr/integrating-autonomous-vehicles-into-complete-streets-e7f930c150b5> Visto a 20/02/2018
- @motormais (2017). <https://motormais.pt/2017/12/volvo-inicia-projecto-conducao-autonoma-drive-me/> Visto a 18/12/2017
- @nvidia (2017). <http://www.nvidia.com.br/object/advanced-driver-assistance-systems-br.html> Visto a 22/02/2018
- @observador (2017). <https://observador.pt/2017/04/24/trafego-rodoviario-e-a-principal-causador-de-poluicao-sonora-na-europa/> Visto a 19/03/2018
- @Pirelli (2017). <https://www.pirelli.com/global/pt-br/road/o-que-sao-os-carros-conectados#> Visto a 2/02/2018
- @público (2017). <https://www.publico.pt/2017/05/12/tecnologia/noticia/alemanha-aprova-lei-para-a-circulacao-de-carros-autonomos-1771941> Visto a 19/03/2018
- @razaoAutomóvel (2017). <https://www.razaoautomovel.com/2018/04/portugal-carros-autonomos-2020> Visto a 01/02/2018
- @saferoads (2017). <http://pt.togetherforsaferoads.org/talking-cars-vehicle-to-vehicle-communication-and-road-safety/> Visto a 21/10/2017
- @sapo (2017). <http://www.jornaleconomico.sapo.pt/noticias/citydrive-380> Visto a 1/02/2018
- @shifter (2017). <https://shifter.pt/2017/11/carros-autonomos-google-web-summit/> Visto a 18/01/2018
- @tecnoblog (2014). <https://tecnoblog.net/157344/google-carro-autonomo-anuncio/> Visto a 18/01/2018
- @Tecnomundo (2017). <https://m.tecnomundo.com.br/carro/116608-significam-5-niveis-direcao-autonoma-carros.htm> Visto a 3/12/2017
- @thecity (2017). <http://thecityfixbrasil.com/2017/04/19/o-dilema-etico-dos-carros-autonomos-a-decisao-de-quem-sofre-acidentes-e-das-maquinas/> Visto a 8/02/2018
- @Ticketlog (2017). <http://www.ticketlog.com.br/blog/as-tecnologias-que-envolvem-os-carros-autonomos/> Visto a 11/12/2017
- @trimis (2017). <https://trimis.ec.europa.eu/project/forever-open-road> Visto a 8/03/2018
- @waymo (2018). <https://waymo.com/apply/faq/> Visto a 7/04/2018