



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
CAIO FAGANELLO PEREIRA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM VEÍCULOS AUTÔNOMOS: UM ESTUDO
SOBRE O CAMPO DE APLICAÇÃO**

Florianópolis

2020

CAIO FAGANELLO PEREIRA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM VEÍCULOS AUTÔNOMOS: UM ESTUDO
SOBRE O CAMPO DE APLICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Sistemas de Informação da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientadora: Dr^a. Maria Inés Castiñeira

Florianópolis

2020

CAIO FAGANELLO PEREIRA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM VEÍCULOS AUTÔNOMOS: UM ESTUDO
SOBRE O CAMPO DE APLICAÇÃO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Sistemas de informação e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Sistemas de informação da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de Julho de 2020.

Maria Inés Castiñeira, Dra. - Orientadora
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Aran Bey Tcholakian Morales, Dr.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Flávio Ceci, Dr..
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico esse trabalho aos meus pais, Mauricio José Pereira e Teresinha Faganello, por sempre se esforçarem para que eu conseguisse sucesso e felicidade em minha vida, a minha namorada Ana Alicia Warmling por todo o apoio ao decorrer do curso e a minha Professora e Orientadora, Maria Inés Castiñeira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que se dedicaram completamente para que eu pudesse completar mais essa etapa da minha vida. Sem o apoio, conselhos, carinho e sempre muito amor, nada disso seria possível. Sou eternamente grato por tudo que vocês fazem e sempre fizeram para que minha vida fosse especial.

Gostaria de agradecer a minha namorada, por me apoiar e incentivar, sempre com muito amor e paciência. Esses meses de conclusão de curso ficaram mais fáceis com você ao meu lado.

Agradeço a minha professora e orientadora, Maria Inés Castiñeira por desde o início acreditar em mim e no meu trabalho, obrigado pela imensa ajuda e por sempre estar disponível nos momentos de necessidade.

Agradeço a Professora Vera Rejane Niedersberg Schuhmacher pelo apoio e dedicação no decorrer do desenvolvimento desse trabalho.

Também agradeço aos pesquisadores Rodrigo Gandia e Denis Wolf, que disponibilizaram seu tempo para participar da entrevista presente neste trabalho. Suas colaborações contribuíram muito para o enriquecimento do meu trabalho.

Por último, mas não menos importante, agradeço a toda minha família e amigos que estiveram comigo em todos os momentos do curso e da minha vida.

“As pessoas não sabem o que querem, até mostrarmos a elas.” (Steve Jobs, 1998).

RESUMO

A condução autônoma é conhecida como a capacidade de veículos se locomoverem de forma independente, sem a interferência do ser humano. Tendo em vista esse conceito, o presente trabalho apresenta possibilidades de utilização de inteligência artificial na implementação da condução autônoma em veículos. Nesse contexto, teve-se como propósito abranger de forma didática o tema de veículos autônomos e inteligência artificial para que haja melhor compreensão da comunidade, levando em consideração que o assunto não é de amplo conhecimento de parte da população. Para isso, é apresentado os diferentes níveis de condução autônoma presentes em um veículo e consequentemente as tecnologias relacionadas à inteligência artificial neles embarcadas. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar os desafios da implementação dos veículos autônomos nas cidades do mundo, descrevendo as vantagens e desvantagens do uso desses veículos, dessa forma permitindo enfrentar melhor as consequências de sua utilização. Para tal, deu-se como necessário a pesquisa bibliográfica do assunto, buscando conteúdos em livros, artigos, sites e revistas, essa pesquisa permitiu compreender os conceitos e características dos temas abordados e ampliar o conhecimento sobre novos temas e tecnologias relacionadas. Por fim, para complementar e possibilitar um debate, o presente trabalho apresenta entrevistas realizadas com dois pesquisadores renomados da área de veículos autônomos no Brasil, com perguntas relacionadas aos veículos autônomos e inteligência artificial. Suas respostas possibilitaram a ampliação da visão e do futuro envolvendo veículos autônomos e inteligência artificial, principalmente no aspecto socioeconômico da implementação dos veículos autônomos nas ruas do mundo. Com base no desenvolvimento deste trabalho foi possível concluir que a implementação de veículos autônomos não depende apenas do avanço tecnológico para obter sucesso, e sim de um bom funcionamento de diversos parâmetros que fazem parte de nossa sociedade, para isso um longo processo de testes e análises ainda devem ser realizados para que um dia possamos viver em um mundo com um trânsito completamente autônomo.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Veículos Autônomos. Condução Autônoma.

ABSTRACT

Autonomous driving is known as the ability of vehicles to move independently, without human interference. In view of this concept, the present work presents possibilities of using artificial intelligence in the implementation of autonomous driving in vehicles. In this context, the purpose was to cover the theme of autonomous vehicles and artificial intelligence in a didactic way, so that there is a better understanding for the community taking into account that the subject is not widely known by part of the population. For that, it is shown the different levels of autonomous driving present in a vehicle and consequently the technologies related to artificial intelligence embedded in them. Therefore, this work aimed to show the challenges of implementing autonomous vehicles in cities around the world, describing the advantages and disadvantages of using these vehicles, thus allowing a better cope with the consequences of their use. To this end, it was necessary to carry out a bibliographic research on the subject, searching for content in books, articles, websites and magazines, which made it possible to understand the concepts and characteristics of the topics covered and to expand knowledge about new related themes and technologies. Finally, to complement and allow a debate, this work presents interviews with two renowned researchers in the field of autonomous vehicles in Brazil, with questions related to autonomous vehicles and artificial intelligence. Their responses made it possible to expand the vision and the future involving autonomous vehicles and artificial intelligence, especially in the socioeconomic aspect of the implementation of autonomous vehicles on the streets of the world. Based on the development of this work it was possible to conclude that the implementation of autonomous vehicles does not depend only on technological advancement to obtain success, but on a perfect functioning of several parameters that are part of our society, for this a long process of tests and analyzes must still be accomplished so that one day we can live in a world with a completely autonomous traffic.

Keywords: Artificial Intelligence. Autonomous Vehicles. Autonomous Driving.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Pioneer 3-AT	20
Figura 2 – Maquete <i>The Futurama</i>	24
Figura 3 – <i>Navlab Vehicle</i>	25
Figura 4 – <i>Stanley</i>	26
Figura 5 – Controle de Cruzeiro adaptativo em um carro da Volvo.....	33
Figura 6 – Funcionamento do assistente de permanência de faixa	34
Figura 7 – Fluxograma de atividades.....	37
Figura 8 – Micro-ônibus do Projeto AVENUE	56
Figura 9 – CaRINA 2.....	57
Figura 10 – Caminhão autônomo.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fabricantes que mais venderam carros no Brasil em 2019	41
Quadro 2 – ADAS embarcados em automóveis vendidos no Brasil	42
Quadro 3 – <i>Ranking</i> dos países preparados para receber veículos autônomos.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMÁTICA	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	16
2.1.1	Aprendizado de máquina (<i>machine learning</i>)	17
2.1.2	Redes neurais artificiais	17
2.1.3	Visão computacional.....	18
2.1.4	Tecnologias de inteligência artificial aplicadas a veículos autônomos.....	18
2.1.4.1	Redes neurais artificiais aplicadas a veículos autônomos.....	18
2.1.4.2	Visão computacional aplicada a veículos autônomos.....	19
2.2	ROBÔS MÓVEIS AUTÔNOMOS	20
2.3	DESENVOLVIMENTO E HISTÓRICO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS	23
2.3.1	Veículos autônomos	27
2.3.2	Sistemas avançados de assistência ao condutor	31
2.3.2.1	Controle de cruzeiro.....	31
2.3.2.2	Sistemas de detecção de colisão	32
2.3.2.3	Controle de cruzeiro adaptativo	32
2.3.2.4	Assistente de permanência na faixa	33
2.3.2.5	Assistente de estacionamento	34
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	36
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE PESQUISA	36
3.2	ETAPAS METODOLÓGICAS	37
3.3	PÚBLICO ALVO	38
3.4	DELIMITAÇÕES	39
4	CENÁRIO DA APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM VEÍCULOS AUTÔNOMOS.....	40
4.1	MERCADO AUTOMOTIVO DE CARROS AUTÔNOMOS E SEMIAUTÔNOMOS	40
4.1.1	Mercado automotivo brasileiro	41
4.2	VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS	44
4.2.1	Vantagens	44
4.2.2	Desvantagens	46
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL E NO MUNDO	47
4.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	49
5	VISÃO DA ÁREA POR PESQUISADORES BRASILEIROS.....	51
5.1	ENTREVISTA.....	51
5.2	PESQUISAS ENVOVENDO VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL E NO MUNDO	55
5.2.1	Projeto AVENUE	55
5.2.2	Waymo – Google	56
5.2.3	CaRINA 2	57
5.2.4	Caminhão autônomo.....	58
5.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO	59

6 CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Veículos que conseguem se locomover “sozinhos” vem ganhando espaço no mercado automotivo mundial. Conhecidos como veículos autônomos ou VAT, possuem tecnologias que proporcionam aos ocupantes a experiência da condução autônoma, definida por Ozguner, Stiller e Redmill (2007) como a capacidade de veículos se locomoverem sem necessitar de interferência humana.

A inteligência artificial ou IA é o principal assunto quando se fala em tecnologias aplicadas na evolução e aprimoramento dos veículos autônomos. Gonçalves (2011, p. 26) enfatiza que “Do ponto de vista histórico, a robótica e a IA deram início ao desenvolvimento dos veículos autônomos”. Porém, a adaptação dessas tecnologias em veículos traz diversos desafios, como a migração dos carros de condução humana para autônomos, legislações e até mesmo a implementação nas ruas de países com pouca infraestrutura.

Como comentam Pissardini, Wei e Fonseca Júnior (2013, p. 5), “problema é que VATs devem lidar com vias não-legalizadas, vias não mapeadas ou com infraestrutura inadequada/inexistente, o que pode tornar o custo de processamento computacional inviável para permitir navegação autônoma”.

Por mais difícil que seja a migração para veículos autônomos o resultado seria muito satisfatório tendo em vista todos os benefícios adquiridos. Bagloee *et al.* (2016) afirmam que o investimento em veículos autônomos pode diminuir os custos envolvendo transporte e aumentar a acessibilidade para pessoas com alguma deficiência.

O termo condução autônoma não se delimita apenas aos veículos que dirigem sozinhos, já pode se observar nas indústrias o uso de equipamentos movidos totalmente de forma autônoma, desde empilhadeiras ou carrinhos para transporte até as máquinas da linha de montagem. Segundo Wolf *et al.* (2009, p. 279), “A aplicação prática de robôs moveis junto a diferentes atividades em nossa sociedade vem demonstrando o quão promissor é o futuro desta área”.

Dado o exposto, o presente trabalho tem como propósito, apresentar possibilidades de aplicação de inteligência artificial em veículos autônomos, demonstrando conceitos técnicos e históricos da condução autônoma em veículos que possibilitam um futuro com um trânsito completamente diferente do qual conhecemos hoje em dia.

1.1 PROBLEMÁTICA

O assunto deste trabalho não é de amplo conhecimento por parte da população em geral, assim como também pode não ser muito difundido entre a comunidade da área de inteligência artificial e tecnologia da informação (TI). Esse público mais especializado poderia contribuir com ideias para os diversos desafios apresentados na área. Assim como também seria muito relevante as contribuições dos especialistas nas áreas legais para debater as implicações éticas e legais apresentadas pelas práticas do uso de carros com diferentes tipos de condução autônoma. Ou ainda, as contribuições dos especialistas em vias e transportes públicos.

As implicações desses avanços devem ser debatidas de forma interdisciplinar e para isso é necessário tentar diminuir o desconhecimento dos possíveis interlocutores ao respeito do assunto. Assim, a questão de pesquisa que norteia este trabalho pode ser resumida em: é possível contribuir na divulgação do conhecimento ao respeito dos desafios e avanços na condução autônoma, assim como no uso das técnicas de IA nessa área?

1.2 OBJETIVOS

Tendo em vista o tema proposto, foram definidos o objetivo geral e específicos, apresentados a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

Apresentar as possibilidades da inteligência artificial aplicada a veículos autônomos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar pesquisas sobre inteligência artificial aplicada a veículos autônomos.
- Explicitar quais tecnologias de IA estão sendo aplicadas na implementação dos veículos autônomos.
- Elencar vantagens e desvantagens do uso de veículos autônomos baseados em IA.
- Apresentar exemplos da utilização prática de veículos autônomos baseados em IA, no Brasil e no mundo.

1.3 JUSTIFICATIVA

Por meio do aprofundamento sobre inteligência artificial e veículos autônomos é possível dar maior visibilidade ao uso da tecnologia nessa área de condução autônoma. Com este trabalho será possível refletir sobre os possíveis benefícios e desvantagens que a aplicação dessa tecnologia pode ocasionar. Dessa forma permitindo enfrentar melhor as consequências da implementação.

Embora muitos cientistas que trabalham na área sejam altamente especializados, o uso de veículos autônomos apresenta vários desafios que devem ser discutidos de uma forma mais ampla pelos diversos setores da sociedade. Como anteriormente apresentado, essa discussão interdisciplinar exige um público heterogêneo. Divulgar os conhecimentos e últimos avanços na área para um público leigo no assunto permitirá a inclusão desses participantes nos debates e discussões necessários para o avanço da área.

1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta monografia está dividida em capítulos, conforme especificado:

- Capítulo 1: Neste capítulo é apresentada a introdução ao tema abordado, problemática, objetivos e justificativa do trabalho.
- Capítulo 2: Apresenta os resultados da pesquisa bibliográfica referente a definição, histórico e tecnologias de inteligência artificial e veículos autônomos.
- Capítulo 3: O terceiro capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento do presente trabalho.
- Capítulo 4: Este capítulo apresenta o cenário da aplicação da inteligência artificial em veículos autônomos, envolvendo temas como: mercado automotivo de veículos autônomos e semiautônomos, e vantagens e desvantagens da aplicação de veículos autônomos.
- Capítulo 5: Este capítulo apresenta as entrevistas com dois pesquisadores brasileiros na área de veículos autônomos com perguntas sobre o tema, além de pesquisas relacionadas a veículos autônomos no Brasil e no mundo.
- Capítulo 6: O último capítulo do trabalho apresenta a conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica sobre os seguintes assuntos: Inteligência Artificial, Robôs Moveis Autônomos e Desenvolvimento e Histórico dos veículos autônomos.

2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Durante toda a história o ser humano necessitou aprender e realizar tarefas que dependiam de inteligência para serem cumpridas, desde fazer cálculos, programar um *software* e até mesmo dirigir um veículo. Nas últimas décadas houve muitos esforços para desenvolver diversos sistemas computacionais capazes de substituir o ser humano nessas tarefas, sendo que muitas dessas pesquisas para construir esse tipo de software e sistemas computacionais podem ser classificadas na área de inteligência artificial (NILSSON, 2014, p. 2).

Segundo Medeiros (2018, p. 24) “a primeira manifestação oficial como campo de pesquisa científicas em inteligência artificial foi registrada em 1956, por ocasião da conferência de Dartmouth”. A conferência aconteceu em New Hampshire no campus da *Darthmouth College* com assuntos relacionados a habilidade de uma máquina realizar ações que até então eram exclusivas de humanos (ÉPOCA NEGÓCIOS ONLINE, 2019).

Como relata Medeiros (2018, p. 18), “não há um consenso na comunidade científica quanto a uma definição de inteligência artificial”. Em geral existem várias diferentes definições para inteligência artificial. Tendo em vista sistemas de IA podemos classificá-los em sistemas que pensam, agem e raciocinam como humanos (KOK *et al.*, 2009). Nilsson (2014, p. 1) também define a inteligência artificial como uma subárea da ciência computacional, concentrada em como proporcionar aos computadores a sofisticação de agir de forma inteligente.

2.1.1 Aprendizado de máquina (*machine learning*)

O aprendizado de máquina está presente em diversas atividades do dia a dia do ser humano, por exemplo, moldar a maneira que uma rede social é apresentada para cada usuário, que tipo de propaganda vai ser mostrada dependendo dos gostos e pesquisas daquele indivíduo específico, separar as mensagens de e-mail das mensagens de *spam* e até mesmo em câmeras de celular, muitas vezes com o objetivo de desenvolver sistemas aptos a adquirir conhecimentos de uma maneira automática. Essa área de inteligência artificial utiliza sistemas que, como citado nos exemplos, armazena todas informações coletadas ao longo de um período para retornar dados adequados para cada situação.

O aprendizado de máquina utiliza algoritmos para coletar os dados e faz com que computadores possam resolver problemas e tomar decisões baseados no seu próprio conhecimento adquirido ao longo do tempo (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015; MONARD; BARANAUSKAS, 2003; GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE 2016, p. 3).

2.1.2 Redes neurais artificiais

Medeiros (2018, p. 127) enfatiza que as redes neurais artificiais ou RNA “podem ser consideradas um dos adventos mais significativos da área de inteligência artificial”.

Conhecidas como máquinas de autoaprendizagem, Redes Neurais Artificiais são basicamente modelos eletrônicos que utilizam como base a estrutura neural de um cérebro e adquirem conhecimento por meio de experiências, tendo em vista que o cérebro humano e até mesmo de animais possuem a habilidade de armazenar padrões, sendo eles muito complexos, tornando difícil que computadores possuam esses padrões. Essa área computacional não necessita da já conhecida programação, mas engloba a criação de uma rede paralela que necessita de treinamento para solucionar problemas (ANDERSON; MCNEILL, 1992).

O objetivo das Redes Neurais artificiais não seria apenas recriar a estrutura neural de organismos inteligentes, mas também proporcionar a mesma capacidade de seres inteligentes de aprenderem através de informações adquiridas e conseguirem se aperfeiçoar com elas (ANDERSON, MCNEILL, 1992).

2.1.3 Visão computacional

Estudo baseado em processamento de informações visuais, a visão computacional contempla uma nova área na inteligência artificial possuindo o propósito de entender e replicar a visão humana. A visão computacional processa e interpreta as imagens recebidas de equipamentos como câmeras para obter informações de rostos ou ambientes, no caso de veículos. Devido ao crescente aumento no desenvolvimento de câmeras e processadores digitais a técnica de visão computacional vem sendo fortemente utilizada na aplicação de projetos, principalmente em carros que possuem a tecnologia de assistência de permanência de faixa, assunto que será citado no decorrer do trabalho (POGGIO; TORRE; KOCH, 1985; HEINEN *et al.*, 2004).

2.1.4 Tecnologias de inteligência artificial aplicadas a veículos autônomos

Conforme explicado na seção 2.1, algumas tecnologias de inteligência artificial são de extrema importância para o desenvolvimento de veículos autônomos. A seguir exemplos de sua implementação.

2.1.4.1 Redes neurais artificiais aplicadas a veículos autônomos

A constante variação de imagem nos ambientes relacionada à capacidade de visão dos veículos, acaba trazendo alguns problemas em relação aos veículos autônomos, tendo em vista que as tecnologias de processamento de imagens e reconhecimento de padrões podem falhar mesmo que funcionem bem em algumas situações. Essa questão pode ser evidenciada justamente pois essas tecnologias não se adaptam a diferentes ambientes.

Logo a implementação de redes neurais artificiais promete uma alta performance e flexibilidade, criando uma grande expectativa na área de desenvolvimento de veículos

autônomos, podendo ser denominada de ALVINN (*Autonomous Land Vehicle In a Neural Network*).

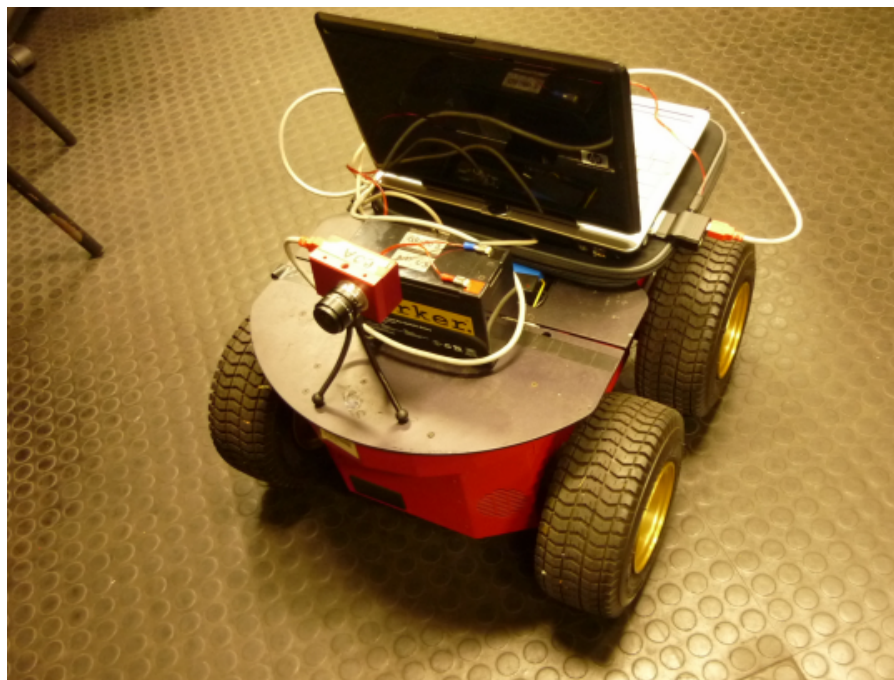
O projeto chamado de Navlab da Universidade Carnegie Mellon é um dos primeiros a utilizar redes neurais para desenvolver veículos autônomos. O NavLab aprendeu a dirigir de forma autônoma apenas reconhecendo dados e memorizando padrões realizados por um condutor em situações variadas (POMERLEAU, 1996).

2.1.4.2 Visão computacional aplicada a veículos autônomos

Projetos relacionados à visão computacional têm sido aplicados a veículos autônomos e estão sendo utilizados em diversas maneiras, desde detecção de faixas nas ruas, placas de trânsito, placas de carro e até possíveis implementações para fazer carros seguirem uns aos outros permitindo um trajeto em comboio (WOLF *et al.*, 2009).

No Brasil, pesquisa realizada pelo Laboratório de Robótica Móvel do ICMP-USP (Universidade de São Paulo) desenvolveu um sistema de localização global e navegação autônoma usando um robô móvel baseado na plataforma de Pioneer 3-AT, que pode ser observado na Figura 1 (robô móvel para ambientes internos).

Figura 1 – Pionner 3-AT



Fonte: Couto (2012, p. 44).

Utilizando como sensor uma câmera acoplada sobre o robô na parte frontal. O robô usou o processamento de imagens implementado na linguagem de programação C da biblioteca de visão computacional *OpenCV*. Esta é uma biblioteca muito recomendada na aplicação de projetos de interação homem-máquina, permitindo o reconhecimento de rostos, objetos e gestos. Sendo assim a *OpenCV* se torna uma fundamental ferramenta no desenvolvimento de projetos baseados em visão computacional (COUTO, 2012).

2.2 ROBÔS MÓVEIS AUTÔNOMOS

Carrinhos de lego, para muitos são apenas objetos utilizados em brincadeiras de crianças, mas na verdade podem funcionar como um exercício acadêmico da aplicação de conceitos da inteligência artificial na operação de robôs autônomos. Possuindo rodas, garras e guindastes esses robôs executam diversas tarefas que auxiliam o ser humano, como transportar objetos, participar da montagem de produtos, patrulhamento de ambientes, detecção de rostos ou objetos e entre outras utilidades (NASCIMENTO, 2000).

Os Robôs Móveis Autônomos ou RMAs vêm atraído a atenção de pesquisadores ao decorrer dos anos, tendo em vista que os robôs já auxiliaram o ser humano em diversos desafios ao longo da história, desde o auxílio a pessoas com deficiência até na exploração espacial. Muitos algoritmos são desenvolvidos para aplicação em robôs, utilizando informações para planejar todos os movimentos antes da execução e também os que contam com auxílio de sensores que, em tempo real, conseguem tomar decisões obtendo um comportamento reativo (HEINEN; OSÓRIO 1999).

Wolf et al. (2009, p. 3) citam exemplos das principais áreas em que os robôs móveis autônomos estão aplicados atualmente:

seu uso em aplicações domésticas (e.g. aspiradores de pó e cortadores de grama robóticos), industriais (e.g. transporte automatizado e veículos de carga autônomos), urbanas (e.g. transporte público, cadeiras de rodas robotizadas), militares (e.g. sistemas de monitoramento aéreo remoto - VANTs, transporte de suprimentos e de armamento em zonas de guerra, sistemas táticos e de combate) e de segurança e defesa civil e militar (e.g. controle e patrulhamento de ambientes, resgate e exploração em ambientes hostis), demonstra a grande gama de aplicações atuais dos robôs móveis e os interesses econômicos envolvidos em relação ao seu desenvolvimento e aplicação.

Entretanto, os primeiros avanços em direção a verdadeiro sistemas robóticos foram realizados durante os anos de 1940, quando Nobert Wiener considerado o inventor dos robôs cibernéticos modernos se envolveu durante a segunda guerra em um projeto para desenvolver um dispositivo de controle para armas de aviões de guerra. Este dispositivo integrava sensores de informação que direcionavam e acionavam a arma da aeronave, tornando-se em um dos primeiros sistemas de robôs conhecidos (DUDEK; JENKIN, 2010, p. 7).

Existem diversos robôs completamente autônomos com um grau de pesquisa e desenvolvimento muito elevado, alguns são projetados para operar com algum tipo de interação humana. Entretanto, quando um robô é descrito como completamente autônomo ele é projetado para operar sem o controle humano por tempo integral.

Sobretudo os sistemas semiautônomos possuem dois regimes operacionais: sistemas tele operados, nos quais o equipamento é controlado momento a momento, e sistemas de tele-robôs que possuem comandos de operações de baixo nível que são interpretadas ou filtradas por um software complexo. Estes geralmente usam sensores localizados no robô para limitar as ações do operador (DUDEK; JENKIN, 2010, p. 11).

Um robô móvel engloba uma combinação de diversos componentes físicos e computacionais. Considerando o hardware embarcado em um robô é preciso considerar os seguintes subsistemas (DUDEK; JENKIN, 2010, p. 31):

- Locomoção: como o robô se movimenta no ambiente.
- Detecção: como o robô detecta e se coloca diante o ambiente.
- Raciocínio: como o robô mapeia as detecções e transforma em ações.
- Comunicação: como o robô se comunica com o operador humano.

Os equipamentos sensoriais que serão citados posteriormente na seção 2.3.1 devem permitir que o robô execute algumas tarefas ou até mesmo todas que estão listadas abaixo (WOLF *et al.*, 2009):

- Compartilhar dados: permitir que os dados coletados por todos os sensores presentes em um RMA possam contribuir para evitar algumas falhas de localização, alcance ou precisão.
- Evitar obstáculos: O RMA deve possuir a capacidade de evitar qualquer obstáculo presente em seu trajeto, sendo ele em repouso ou movimento. Trazendo segurança para todos os elementos do ambiente.
- Auto-localização: Com ou sem o uso de mapas o robô móvel deve determinar sua localização para que os próximos passos possam ser executados.
- Mapeamento do ambiente: fazendo uma detecção completa do ambiente o RMA deve ser capaz de identificar todos os obstáculos presentes, como paredes ou pessoas.
- Planejamento de rota: previa definição da rota a ser percorrida pelo robô, desde o ponto de início até o destino final.
- Planejamento de ações: planejar a tarefa final do robô e também definir possíveis tarefas secundárias como, explorar um local, recolher subsídios, itens, servir de vigia em um certo ambiente, entre outras diversas ações.

- Comunicação: ao executar as tarefas determinadas o robô deve manter a comunicação com os demais elementos presentes no ambiente, podendo, por exemplo, realizar ações de forma compartilhada com outro robô.

2.3 DESENVOLVIMENTO E HISTÓRICO DOS VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Os primeiros movimentos da humanidade em relação aos veículos autônomos foram dados por um engenheiro industrial americano, Norman Bel Geddes na Feira Mundial de Nova Iorque em 1939, na qual a empresa General Motors (GM) patrocinava a exposição *The Futurama*. Projetada por Geddes, a exposição tinha como objetivo especular como seria a sociedade no futuro. Uma previsão dizia que na década de sessenta as rodovias americanas possuiriam equipamentos para corrigir qualquer erro humano causado pelos motoristas (ROYAKKERS; VAN EST, 2015).

Na sua visão do futuro, Norman Bel Geddes, utilizou uma maquete demonstrando pessoas viajando em aviões que voariam em uma pequena distância do solo. A maquete da *The Futurama* pode ser observada na Figura 2 e foi definida na época como “o maior e mais fiel modelo da vida real construído até o momento” a exposição possuía aproximadamente cinquenta mil carros, mais de 5 mil projetos de edifícios e um milhão de árvores (MORSHED, 2004).

Figura 2 – Maquete *The Futurama*



Fonte: Morshed (2004, p. 76).

Anos depois da *The Futurama*, surge o primeiro robô móvel apelidado de *Shakey*, desenvolvido no final dos anos sessenta para servir de teste para o *DARPA* (*Defense Advanced Research Projects Agency*), uma agência americana que possui como objetivo fazer investimentos essenciais nos avanços da tecnologia de segurança nacional (DARPA, 2020).

Shakey era uma plataforma sobre rodas equipada com câmeras de TV, sensores ultrassônicos e sensores de toque, conectados via um dispositivo que transmite e recebe sinais de rádio, chamado de modulo RF. Ao final do período de testes, *Shakey* foi considerado um fracasso, pois nunca atingiu uma operação autônoma. Entretanto, este projeto, após identificadas as suas falhas e problemas serviu como base para diversos outros projetos relacionados (GAGE, 1995).

Na década de oitenta a *DARPA* deu início as pesquisas com o *Autonomous Land Vehicle* (*ALV*) nascido das bases do *Shakey*. O *ALV* foi construído em uma base de 8 rodas, preparado para enfrentar qualquer terreno, podendo atingir velocidades de 72 km/h em estradas e 29 km/h em terrenos acidentados, o *ALV* contava ainda com radares, visão computacional e mecanismo de controle robótico (GAGE, 1995).

Outra pesquisa relevante na área de condução autônoma, nesta mesma década, aconteceu na Universidade Carnegie Mellon nos Estados Unidos da América, onde um grupo de pesquisadores construíam robôs móveis. Entretanto estes protótipos tinham capacidade apenas de serem testados em ambientes internos. No ano de 1984, nesta mesma Universidade, foi apresentado o *Navlab Vehicle* que contava com sensores, computadores e interpretadores de imagens, possibilitando andar por rotas e terrenos de forma autônoma (THORPE, 2012). A seguir a Figura 3 apresenta o *Navlab Vehicle*.

Figura 3 – *Navlab Vehicle*



Fonte: Espírito Santo (2016).

Após todos os anos de contribuição da *DARPA* para as pesquisas de veículos autônomos, um desafio denominado *Grand Challenges*, que foi criado pela própria *DARPA* foi um divisor de águas no mundo dos veículos autônomos (GANDIA *et al.*, 2019). O desafio tinha como objetivo desenvolver um veículo autônomo capaz de percorrer terrenos sem nenhum planejamento.

A primeira competição do *Grand Challenges* aconteceu em 2004, quando foi exigido que os veículos navegassem por 142 milhas em até 10 horas no deserto de Mojave, localizado no sudoeste dos Estados Unidos. (BUEHLER; IAGNEMMA; SINGH, 2007).

O vencedor desta primeira versão do desafio *Grand Challenges* foi o robô *Stanley*, desenvolvido pela Universidade Norte Americana de Stanford, envolvendo especialistas da Volkswagen da América. *Stanley* foi projetado utilizando como base um chassi de uma Volkswagen Touareg R5 TDI 2004 integrando uma plataforma de seis processadores, fornecida pela empresa do ramo tecnológico, *Intel Corporation* (BUEHLER; IAGNEMMA; SINGH, 2007). O *Stanley* pode ser visto na Figura 4 logo abaixo.

Figura 4 – *Stanley*

Fonte: Binkovitz (2012).

Após estas iniciativas, os veículos autônomos ganham cada vez mais atenção não somente entre os pesquisadores das Universidades, mas sobretudo entre empresas do ramo automotivo como Ford e BMW e do ramo de tecnologias como Tesla, Google e Uber. Todas estas empresas entram em uma competição pela liderança no segmento.

Segundo Gandia *et al.* (2019) além de projetos individuais, uma estratégia satisfatória no desenvolvimento e avanços dessas tecnologias tem sido a formação de alianças entre essas empresas, como por exemplo, a parceria entre a BMW com a Intel e a especialista em carros autônomos e subsidiária da Intel em Israel, Mobileye, que em 2017 colocaram para testes uma frota de 40 veículos autônomos.

Outra parceria entre a Mercedes-Benz, McLaren, Otto, Nvidia e Udacity (Universidade do Vale do Silício - EUA), formalizou a criação de um curso online para treinar engenheiros e profissionais da área (GANDIA *et al.*, 2019).

Atualmente, estes veículos estão ganhando espaço nas ruas, por exemplo, no começo de 2020 a empresa de tecnologia Google realizou no estado americano da Califórnia, testes com táxis autônomos que só no primeiro mês transportaram mais de 6.200 pessoas, demonstrando que os veículos autônomos podem se tornar um negócio de grande sucesso no mundo (HARRIS, 2020).

2.3.1 Veículos autônomos

Uma das características mais fascinantes tanto para as pessoas leigas quanto para aquelas que amam o mundo automotivo, seria imaginar quando os carros teriam a capacidade de dirigirem sozinhos. Mães e pais que viveram a sua infância sonhando com as histórias da Família Jetson, retratada nos desenhos animados dos Estúdios Norte Americano Hanna Barbera na década de 60, mostravam um futuro não muito distante, onde veículos não apenas voavam como conversavam com o condutor.

Os carros que dirigem sozinhos ou veículos autônomos são aqueles que podem tomar decisões de pilotagem sem interferência humana. Não apenas se limitando ao conceito de dirigir sozinho; mas o termo autônomo engloba diversas tecnologias dos veículos atuais, como o controle de cruzeiro, freios ABS (*Antilocking Brake Systems*), assistência de permanência na faixa, controle de cruzeiro adaptativo, assistência de mudança de faixa e tecnologias para evitar obstáculos. Todas essas tecnologias expandem o alcance do comportamento autônomo dos veículos (OZGUNER; STILLER; REDMILL, 2007).

De acordo com Gonçalves (2011, p. 21), entende-se por veículo autônomo “aquele que é capaz de perceber o ambiente a sua volta e movimentar-se de forma segura e orientada, sem o controle humano direto, visando cumprir objetivos a ele delegado”. Além destas características, para cumprir com esse propósito o veículo precisa possuir algoritmos e tecnologias que possibilitem tais aspectos (GONÇALVES, 2011).

A SAE (*Society of Automotive Engineers*), responsável pelos estudos em engenharia automobilística, utiliza o termo de “sistemas de direção autônoma” para se referir a veículos que possuem algum tipo de condução autônoma e sendo assim evitar diversos significados (SAE, 2018). Segundo a SAE (2018), os veículos autônomos podem ser divididos em cinco diferentes níveis de automação, que vai, do nível 1 até o nível 5.

A seguir estão relacionados os 5 níveis de automação de um veículo definidos pela SAE (RANDULFE, 2020; VIANNA JUNIOR, 2018):

- Nível 0 – Sem automação: Não existe nenhum tipo de auxílio ao motorista e nenhuma presença de tecnologia de condução autônoma.

- Nível 1 – Condução assistida: No nível 1 o auxílio ao motorista é dado somente na questão de velocidade do veículo, um exemplo prático seria o Controle de cruzeiro, que mantém a velocidade do veículo constante dependendo do gosto do motorista. Nesse caso o motorista ainda precisa tomar a ação de frear, acelerar e direcionar o veículo.
- Nível 2 – Parcialmente autônomo: Nessa fase o veículo já é capaz de forma autônoma de realizar ações como, frear, acelerar e manter o veículo em uma única direção, como é o caso da tecnologia chamada de ACC (*Adaptive Cruise Control*) ou controle de cruzeiro adaptativo. No nível 2 o condutor ainda é responsável pela condução e se faz necessário toda atenção do motorista a direção e retomar a condução em situações perigosas. Um uso recomendado do ACC seria em rodovias.
- Nível 3 - Condução autônoma condicional: O nível 3 consiste em veículos que são capazes de se movimentarem por conta própria, tanto em direção, aceleração e frenagem. Nesse nível de condução o condutor será capaz de realizar outras atividades enquanto o carro segue o seu percurso de forma autônoma, mas em momentos será acionado para tomar a condução por um pequeno instante ou assumir o controle totalmente em situações de risco.
- Nível 4 - Condução altamente autônoma: O veículo controla todas as tarefas que antes eram do condutor, sem necessidade da atenção do mesmo.
- Nível 5 – Condução completamente autônoma: O nível 5 permite que o veículo elimine a necessidade de um condutor humano, tendo todos os controles e responsabilidades de direção sendo executados por um sistema autônomo.

No atual cenário da condução autônoma, atingiu-se o nível 2 de condução com diversos modelos de automóveis acessíveis para o público em geral que possuem assistentes de condução, como freios automáticos, auxílios para manter o veículo em uma única faixa da rua e assistentes de troca de faixa. Os veículos com nível 5 de autonomia estão previstos para tomar

as ruas em 2029. A chegada desses veículos não irá representar vendas expressivas, tendo em vista que inovações no mundo automotivo chegam primeiramente ao segmento *premium* de veículos, com custo muito alto esses automóveis não estarão acessíveis para muitos consumidores (RANDULFE, 2020).

Atualmente, cada vez mais comuns nas marcas de luxo as tecnologias de carros semiautônomos invadem o mercado automotivo. Antes da chegada em massa dos carros completamente autônomos os consumidores podem usufruir dos carros chamados semiautônomos, já vendidos para o público em geral, esses automóveis são classificados como nível 2 pela SAE. As vendas agitam o mercado automotivo mundial, com automóveis a venda em diversas indústrias automotivas, por exemplo Tesla, Cadillac, Audi, BMW, Mercedes-Benz, Jaguar, Land Rover e até mesmo marcas consideradas comuns, representando duas das 5 marcas que mais vendem carros nos Estados Unidos: Toyota e Nissan (DAVIES, 2019; CANALYS, 2019).

Os veículos autônomos dependendo de equipamentos para permitir que essas tecnologias funcionem adequadamente, interligado com um *software* embarcado nos veículos, esses equipamentos extraem dados do ambiente para que o carro possa tomar decisões de forma independente. A seguir estão listados os principais sensores e tecnologias de monitoramento aplicados em automóveis autônomos (BAGLOEE *et al.*, 2016):

- Sistema de câmeras: equipamentos com um custo baixo que possuem a capacidade de enxergar longas distâncias. O sistema conta com um grande levantamento de dados, sendo assim, necessitando de um bom processamento de imagens. As câmeras sofrem com a constante variação de estradas ou condições climáticas.
- Lidar: permite uma captação 3D perfeita do ambiente utilizando raios lasers. Diferente das câmeras o Lidar conta com sistemas de sensoriamento remoto que funciona apenas em pequenas distâncias e com determinados materiais, devido ao um problema com a refletividade dos objetos. O Lidar possui um tamanho e custo muito elevado.
- Radar: determina a distância dos objetos no ambiente, diferentemente do Lidar, o radar recebe sinais de rádio e não de lasers, tendo um problema de

refletividade maior em relação ao Lidar, detectando somente materiais metálicos e deixando os pedestres por exemplo, imperceptíveis.

- Sistemas Ultrassônicos: é baseado em um sistema de detecção capaz de receber e transmitir ondas sonoras em uma frequência acima dos seres humanos. Funcionamento similar à de um radar esse sistema resulta em uma precisa coleta de informação em uma distância curta (1 a 10 metros). Possuindo um custo baixo esse sistema é usado em sensores de estacionamentos e assistentes de estacionamento.
- Sensores infravermelhos: Usados em sua grande parte em assistentes de permanência na faixa, os sensores não possuem as limitações de ambiente encontradas em câmeras e lasers e são úteis para detecção de pedestres e ciclistas, principalmente à noite.
- GPS: recebe sinais provenientes da triangulação de satélites na órbita terrestre, podendo informar a posição do veículo nas ruas. O GPS já é usado na maioria dos carros a venda hoje mas, seus problemas de localização ainda são bem frequentes, podendo chegar a vários 10 metros de distância em relação a verdadeira posição do veículo.
- Sistemas de navegação inercial: calcula constantemente a posição, velocidade e direção do veículo em movimento. Muito útil trabalhando em conjunto com o GPS para evitar erros de posicionamento.

Dentre as funcionalidades de movimento e sensoriamento de um veículo autônomo, segundo Behere (2015) pode-se dividir em três categorias: percepção, decisão e ação.

A percepção torna-se possível com o uso de equipamentos de monitoração e sensores, os quais foram citados anteriormente. Atualmente e no futuro esses equipamentos embarcados nos veículos podem ultrapassar a habilidade humana de percepção dos ambientes (BEHERE, 2015).

A parte de decisão dos veículos é feita pelos *softwares* de inteligência artificial a eles atribuídos, que realizam o processamento dos dados coletados pelos equipamentos dos

veículos. Tendo em vista que a inteligência artificial atribuída a memorização de alguns contextos ainda possui restrições, a quantidade de teste feitos antes de uma nova tecnologia ser lançada no mercado é grande, necessitando que esses *softwares* passem por diversas situações reais. Isso acaba trazendo um benefício em relação homem e máquina, pois no quesito de tomada de decisões o ser humano possui uma curva de aprendizado menor e mais eficaz, embora os seres humanos sejam mais suscetíveis a erros (BEHERE, 2015).

A ação dos veículos está ligada completamente aos componentes que são responsáveis pelos movimentos do mesmo, ou seja, a plataforma do veículo. Veículos autônomos necessitam de tecnologias que os tornam mais seguros, nessa categoria são encontrados os componentes que entregam esse tipo de segurança, como controle de tração, sistema de controle de estabilidade e sistemas de freios ABS que são úteis para aumentar a eficácia de uma frenagem impedindo que os pneus derrapem na superfície (BEHERE, 2015).

2.3.2 Sistemas avançados de assistência ao condutor

Sistemas avançados de assistência ao condutor ou ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) estão sendo desenvolvidos com o propósito de aumentar a segurança e conforto dos ocupantes dos automóveis. Como consequência essas assistências a direção resultam em uma melhora no fluxo de tráfego e reduzem o consumo do combustível consequentemente a emissão de poluentes (VAN AREM; VAN DRIEL; VISSER, 2006)

Nesse tópico será abordado os sistemas de assistência ao motorista embarcados nos veículos disponíveis para venda ao consumidor em geral.

2.3.2.1 Controle de cruzeiro

Apenas introduzido no mercado automotivo nos anos oitenta o controle de cruzeiro surgiu no começo do século XX operado por um equipamento chamado de governador

centrífugo que controla a velocidade pela quantidade de combustível emitido (SHAOUT; COLELLA; AWAD, 2011).

O controle de cruzeiro funciona eletronicamente para regular a velocidade do veículo a gosto do condutor. Predefinindo uma velocidade manualmente o condutor segue seu trajeto sempre com o veículo na velocidade determinada, trazendo conforto e segurança (VOLKSWAGEN, 2020).

2.3.2.2 Sistemas de detecção de colisão

Usando sensores de laser e radares os sistemas de detecção de colisão alertam o motorista em uma situação de colisão frontal. Câmeras são usadas para alertar os condutores em uma colisão eminente, em alguns casos esses sistemas são usados para frear o veículo automaticamente, apertar os cintos de segurança para aumentar a segurança dos ocupantes e ajustar os assentos para se preparar mais adequadamente para o possível impacto (SHAOUT; COLELLA; AWAD, 2011).

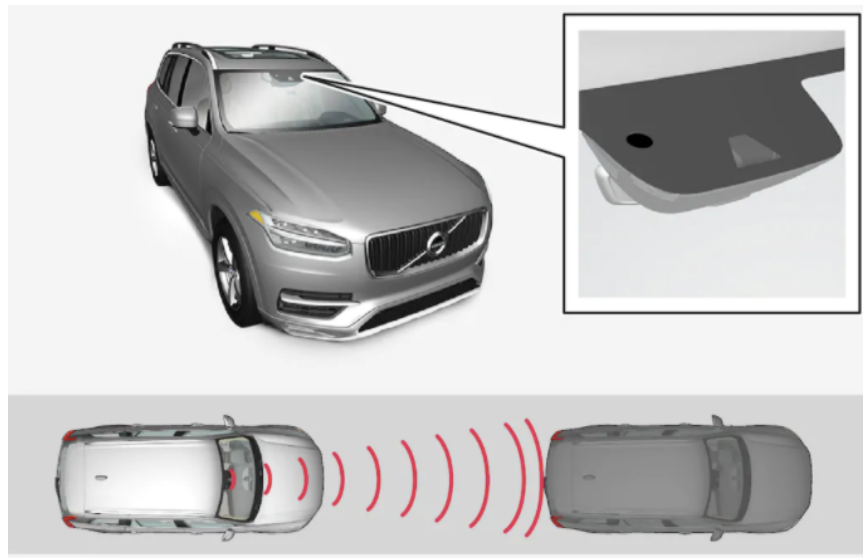
A marca automotiva alemã BMW disponibiliza um sistema de freio de emergência que leva o veículo a uma parada completa antes que o carro se choque com algum obstáculo, identificando desde carros até ciclista ou pedestres. Os sensores medem a distância e velocidade do obstáculo calculando a pressão de frenagem necessária para evitar o acidente (BMW, 2020).

2.3.2.3 Controle de cruzeiro adaptativo

A empresa automotiva Mitsubishi inicia a utilização dessa tecnologia em 1995, logo após é seguida pela Toyota em 1996 que contava com o controle de cruzeiro adaptativo ou ACC (*Adaptive Cruise Control*) suportado por um sistema baseado em radares que media a distância, velocidade e ângulo de aproximação entres os carros nas estradas. O sistema tem como objetivo fazer o carro navegar sem o condutor precisar ajustar a velocidade do veículo em relação ao carro a sua frente. Em uma rodovia livre de tráfego o ACC funciona como um controle de

cruzeiro normal, apenas mantendo sua velocidade e seguindo viagem, mas quando um veículo com menor velocidade é detectado a frente o ACC entra em ação freando o carro automaticamente, mantendo uma distância segura entre os veículos (OZGUNER; STILLER; REDMILL, 2007). A Figura 5 demonstra esse sistema em automóvel da sueca Volvo utilizando câmera e radar.

Figura 5 – Controle de Cruzeiro adaptativo em um carro da Volvo



Fonte: Volvo (2020).

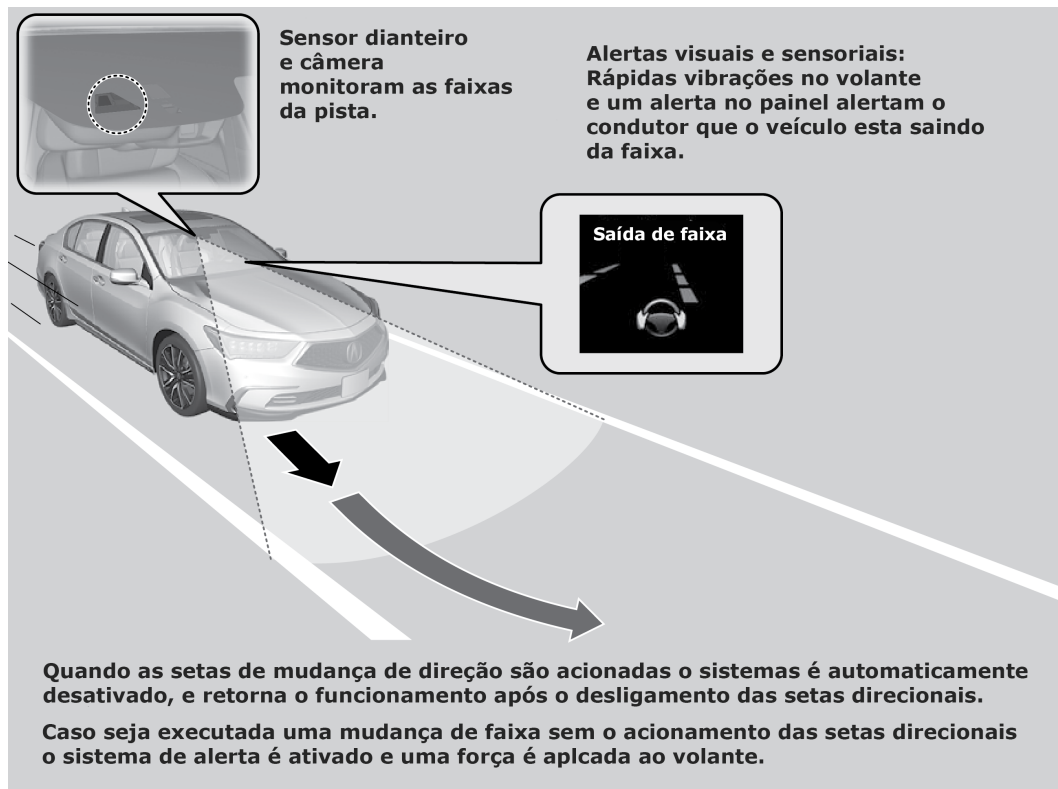
Perfeito para viajar em rodovias e ser usado em situações de trânsito intenso, a tecnologia ACC foi introduzida nos veículos de luxo europeus em 1999 com o Mercedes Classe S, seguido pelo Jaguar XKR. No início dos anos 2000 a BMW adotou o sistema no modelo de alto luxo chamado pela marca de Serie 7 (OZGUNER; STILLER; REDMILL, 2007).

2.3.2.4 Assistente de permanência na faixa

O assistente de permanência na faixa ou *lane keep assist* (LKA) auxilia o condutor a manter o veículo em uma faixa, emitindo alertas quando o carro está saindo das faixas. Muito útil também para alertar motoristas em casos de fadiga. O LKA primeiramente foi introduzido em caminhões e chegou lentamente ao mercado automotivo no começo do século XXI nos

carros de luxo das montadoras. (SHAOUT; COLELLA; AWAD, 2011). A seguir a Figura 6 apresenta o funcionamento do assistente:

Figura 6 – Funcionamento do assistente de permanência de faixa



Fonte: editado e traduzido pelo autor com base em Honda (2020).

Nos automóveis da Volvo como é o caso do modelo Volvo XC60 o LKA é ativado no intervalo de 65-200 quilômetros por hora em estradas com faixas visíveis. A assistência traz o veículo automaticamente de volta para faixa em casos de distração do motorista, além disso alerta com vibrações no volante para o condutor ficar ciente da atuação do sistema (VOLVO, 2020).

2.3.2.5 Assistente de estacionamento

O sistema de assistente de estacionamento, também chamado de *Park Assist*, tem como objetivo realizar manobras de estacionamento de forma autônoma, utilizando sensores

em torno do veículo o sistema calcula o tamanho da vaga e realiza o movimento necessário para estacionar o veículo perfeitamente com segurança. O carro toma o controle da direção e dos pedais, evitando qualquer obstáculo, mas o condutor precisa estar sempre atento para alguma situação inesperada. A empresa automotiva Jaguar conta o sistema de *Park Assist* para vagas paralelas e perpendiculares, facilitando o dia a dia dos motoristas de grandes cidades que muitas vezes perdem vagas de estacionamento por julgarem serem muito apertadas para seus veículos (JAGUAR, 2020).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho tem como propósito realizar um estudo sobre as principais técnicas de inteligência artificial aplicadas em veículos autônomos. Este capítulo apresenta a classificação do tipo de pesquisa, etapas metodológicas, público alvo e delimitações do trabalho.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE PESQUISA

O estudo das técnicas de IA aplicadas em veículos autônomos remete a técnicas de pesquisa aplicada, que segundo Silva e Menezes (2001, p. 20) tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicações práticas com o propósito de solucionar problemas envolvendo verdades e interesses locais.

Uma das técnicas é a pesquisa bibliográfica que consiste, segundo Moresi (2003), como um estudo sistematizado que utiliza materiais disponibilizados para o público em geral, como livros, revistas, artigos, jornais e redes sociais. Dessa forma, foi realizada uma pesquisa aplicada com revisão bibliográfica baseada na literatura encontrada em artigos, livros e revistas em português e inglês, utilizando como plataforma principal de pesquisa o Google Acadêmico.

Complementando, foi realizada uma pesquisa documental pelos *websites* das empresas automotivas para apresentar informações sobre modelos de carros autônomos a venda no Brasil e no mundo.

O estudo também tem uma abordagem qualitativa, considerada:

Pesquisa qualitativa: considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem (SILVA; MENEZES, 2001, p. 20).

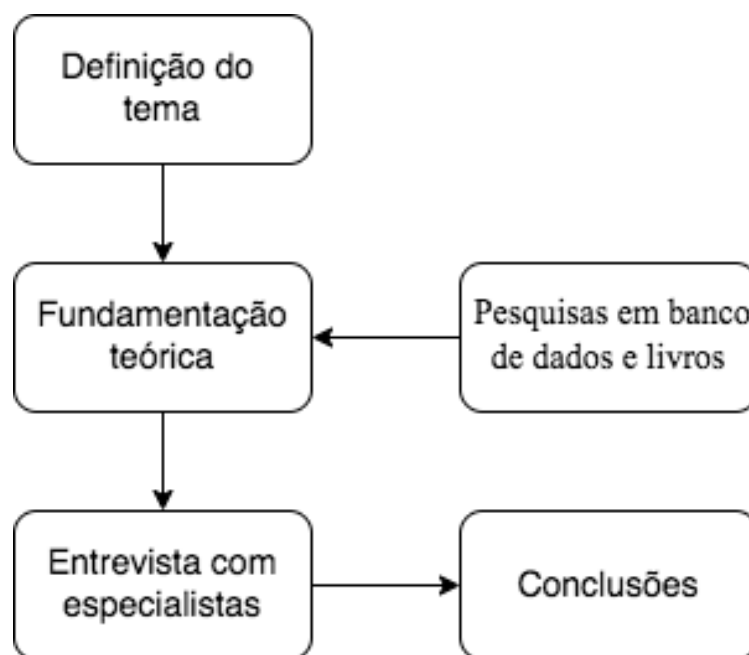
Tendo em vista a pesquisa qualitativa, foram elencados os principais projetos e laboratórios em universidades que desenvolvem pesquisas na área. Por fim, é aplicada a técnica

da entrevista com dois pesquisadores brasileiros da área de automação veicular para apresentar suas visões como contribuição no trabalho.

3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

Para alcançar os devidos objetos definidos no presente trabalho foram seguidas as seguintes atividades apresentadas no fluxograma a seguir:

Figura 7 – Fluxograma de atividades



Fonte: Autor (2020).

A seguir a definição de cada uma das etapas presentes no fluxograma:

- Definição do tema: A definição do tema foi realizada nessa etapa, tendo em vista a área de interesse conforme a forma de pesquisa proposta.
- Fundamentação teórica: Nessa etapa, foi realizada a fundamentação teórica por meio da pesquisa bibliográfica com origem em livros, artigos, revistas, projetos acadêmicos e pesquisas de desenvolvimento. Foram abordados e

usados como palavras chaves na pesquisa os termos: inteligência artificial, tecnologias de inteligência artificial, robôs moveis autônomos, veículos autônomos e sistemas avançados de assistência ao condutor.

- Entrevista com especialistas: nessa etapa foi aplicado um questionário para dois pesquisadores da área de automação veicular com perguntas relacionadas ao assunto, com o propósito de expor a visão de cientistas que estão desenvolvendo pesquisa de ponta na área.
- Conclusões: Na última etapa do trabalho, são apresentadas as conclusões dos assuntos abordados.

3.3 PÚBLICO ALVO

Neste trabalho, foi realizada uma entrevista envolvendo dois pesquisadores da área de veículos autônomos. A seguir algumas informações sobre os entrevistados:

- Denis F Wolf é Professor no Departamento de Sistemas Computacionais pela Universidade de São Paulo (ICMC-USP), obteve seu diploma de PhD em Ciências da computação na Universidade do Sul da Califórnia em 2006. Atualmente é Diretor no laboratório de Robótica Móvel também na ICMC-USP. Sua recente pesquisa envolve robótica móvel, aprendizado de máquina e visão computacional. O interesse de entrevistar Denis nesse trabalho envolve sua participação em diversas pesquisas envolvendo IA e veículos autônomos, como o CaRINA 2.
- Rodrigo Gandia é PhD em Administração de Negócios pela Universidade de Lavras, Minas Gerais, tem como interesse em suas recentes pesquisas os veículos autônomos. Em 2019, Rodrigo publicou o artigo “*Autonomous vehicles: scientometric and bibliometric review*” que foi citado no presente trabalho e resultou no interesse em entrevistá-lo.

3.4 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho destaca como delimitação a questão de que não foi realizada nenhuma implementação que envolva a aplicação de técnicas de inteligência artificial em veículos autônomos.

4 CENÁRIO DA APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Neste capítulo é apresentado o atual estado dos veículos autônomos, envolvendo temas como o mercado automotivo de carros autônomos e semiautônomos no Brasil e no mundo, as vantagens e desvantagens da implementação dos veículos autônomos e a atual situação do Brasil em relação ao assunto.

4.1 MERCADO AUTOMOTIVO DE CARROS AUTÔNOMOS E SEMIAUTÔNOMOS

O desenvolvimento de veículos autônomos baseados em inteligência artificial são conhecidos como a maior inovação dos dias atuais na indústria automotiva, a demanda global de veículos autônomos está estimada em 6.7 mil unidades em 2020 com chances de expandir sua taxa de crescimento anual em 63.1% entre 2021 e 2030 (GRAND VIEW RESEARCH, 2020).

Os veículos semiautônomos de nível 2 já tem espaço no mercado automotivo dos Estados Unidos, segundo a Canalys, empresa especializada em análise de indústrias, a porcentagem de vendas desses veículos nos Estados Unidos cresce 322% de 2018 a 2019. Esse número representa que mais de 250 mil carros classificados como nível 2 foram vendidos, sendo 7% do total de carros novos comercializados, comparando com 2% de 2018. Esse crescimento nas vendas se dá pela iniciativa das montadoras de disponibilizarem essas tecnologias em grande parte dos seus catálogos de venda. Na Europa, as vendas cresceram 71% em 2019, representando 4,5% do total de carros novos vendidos (CANALYS, 2019).

Observa-se que a introdução de sistemas de assistência à condução de veículos são geralmente inovações introduzidas primeiramente em modelos de carros japoneses antes de aparecerem em modelos do alto escalão americano e europeu, isso ocorre por alguns motivos, mas principalmente pela aceitação do mercado (OZGUNER; STILLER; REDMILL, 2007).

4.1.1 Mercado automotivo brasileiro

No ano de 2019 houve um crescimento de 7,6% segundo a Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores – Fenabrave (2019), totalizando 2,3 milhões de unidades vendidas. O quadro 1 apresenta um ranking com as 10 marcas automotivas que mais venderam carros no ano de 2019, seguindo com o total de vendas.

Quadro 1 – Fabricantes que mais venderam carros no Brasil em 2019

Posição	Marca	Unidades
1	Chevrolet	475.684
2	Volkswagen	414.481
3	Fiat	366.135
4	Renault	239.227
5	Ford	218.527
6	Toyota	215.681
7	Hyundai	207.656
8	Jeep	129.463
9	Honda	129.118
10	Nissan	96.083

Fonte: editado pelo autor com base em Schaun (2020).

A seguir será mostrado, dentre as 10 marcas apresentadas no quadro acima, quais delas possuem automóveis a venda no Brasil com algum sistema avançado de assistência ao condutor (ADAS).

Quadro 2 – ADAS embarcados em automóveis vendidos no Brasil

Marca	Controle de cruzeiro	Controle de cruzeiro adaptativo	Assistente de estacioname nto	Assistente de permanência de faixa	Sistema de detecção de colisão
Chevrolet	Onix, Cruze, Tracker, Spin, TrailBlazer, S10, Equinox, Camaro	X	Onix, Tracker, Cruze, Equinox	TrailBlazer, Equinox	Tracker, S10, Equinox, Camaro
Volkswagen	Fox, Polo, Virtus, T- Cross, Jetta, Passat, Tiguan, Amarok	Jetta, Passat, Tiguan	T-cross, Passat, Tiguan,	Passat, Tiguan	Passat, Tiguan
Fiat	Argo, Cronos, Toro	X	X	X	X
Renault	Sandero, Logan, Duster, Oroch.	X	X	X	Duster, Captur
Ford	EcoSport, Ranger, Edge ST, Mustang	Ranger, Edge ST, Mustang	Edge ST	Ranger, Edge ST, Mustang	Ranger, Edge ST, Mustang
Toyota	Etios, Yaris, Corolla, Camry, Hilux, SW4, RAV4, Prius	Corolla, Camry	X	Corolla, Camry, RAV4	Corolla, Camry, RAV4

Hyundai	HB20, Azera, Creta, IX35, Tucson, Santa Fe	Azera	X	HB20	HB20, Azera
Jeep	Renegade, Compass, Wrangler, Grand Cherokee	Compass, Grand Cherokee	Compass, Grand Cherokee	Compass, Grand Cherokee	Compass, Grand Cherokee
Honda	Fit, WR-V, CR-V, City, Civic, Accord	Accord	X	Accord	CR-V, Civic, Accord
Nissan	Sentra, Kicks, Frontier	X	X	X	Sentra

Fonte: Autor (2020).

Os dados do quadro 2 foram baseados no catálogo de venda das marcas apresentadas acima, a pesquisa foi realizada em maio de 2020. No quadro pode-se observar algumas questões interessantes, sendo elas:

Apenas três das marcas possuem pelo menos 1 veículo com todas as ADAS citadas, Jeep, Ford e Volkswagen e dentre elas apenas 5 carros tem embarcado todas as tecnologias, são eles: Tiguan e Passat (Volkswagen), Ford Edge ST e os Jeeps Grand Cherokee e Compass. Em contraponto a marca italiana Fiat fica bem defasada na questão tecnológica, contendo apenas controle de cruzeiro em 3 carros de sua frota atualmente disponível para venda.

Entre os destaques positivos pode-se citar o Onix da Chevrolet que a partir de sua nova geração passa a possuir Assistente de estacionamento permitindo o carro realizar manobras de estacionamento de forma autônoma. Outro destaque temos a montadora Sul-Coreana, Hyundai que embarcou no seu modelo de entrada, o HB20 o sistema de detecção que permite o carro frear automaticamente ao detectar um possível impacto e também o assistente de permanência de faixa que auxilia o condutor a se manter na faixa desejada nas ruas e rodovias. Esses dois carros foram observados como destaques positivos tendo em vista que esses tipos de ADAS eram embarcados em carros mais caros e luxuosos das marcas.

4.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS

Segundo Pissardini, Wei e Fonseca Júnior (2013, p. 2) “o principal fundamento associado à construção de veículos autônomos é a possibilidade de substituir a condução humana de veículos, em tempo integral ou parcial, por uma condução automatizada e segura [...]”.

Nesse tópico será apresentado as vantagens e desvantagens da implementação de veículos autônomos nas ruas e o impacto da comercialização para o consumidor em geral.

4.2.1 Vantagens

Dentre as vantagens da implementação dos veículos autônomos, pode-se citar a contribuição na melhoria do trânsito, a utilização do tempo ao se locomover em carros autônomos, o aumento da segurança nas ruas e rodovias e a acessibilidade de pessoas com deficiências.

Os veículos autônomos podem auxiliar a resolver problemas relacionados ao tráfego de carros, tendo em vista que em algumas cidades o trânsito beira o caos com a capacidade de carros ultrapassando o limite suportável. Como os veículos autônomos terão capacidade de executar ações de uma forma mais inteligente e organizada isso irá trazer maior fluidez no trânsito, podendo optar por trajetos que mais eficientes, evitando ruas congestionadas, com acidentes ou bloqueios, aliado a possibilidade de aumento do limite de velocidade das vias. Assim, os veículos autônomos irão integrar uma rede de comunicação para que todos sejam gerenciados de uma forma mais inteligente e prática (PISSARDINI; WEI; FONSECA JÚNIOR, 2013).

Dispensando a atenção dos ocupantes, veículos autônomos permitem que os seus passageiros utilizem aquele tempo que até então era “perdido” ao volante possa ser usado para a realização de qualquer outra tarefa, como se estudar, usar o smartphone, trabalhar, ou até mesmo se alimentar ou fazer a higienização pessoal para dispensar uma parada em viagens mais

longas, economizando muito tempo (VIANNA JÚNIOR, 2018). Além da significativa diminuição de tempo médio para realizar aulas de condução para novos habilitados.

A segurança no trânsito é um assunto que preocupa a todos, como relata o Conselho Federal de Medicina – CFM (2019), mortes causadas por acidentes de trânsito no Brasil chegam em média a uma pessoa a cada 60 minutos e mataram 1,6 milhão de pessoas na última década, causando um prejuízo de 3 bilhões aos cofres do sistema integrado de saúde (SUS), além de sobrecarregar todo o sistema de saúde, desde os serviços de assistência até os hospitais. Com todos esses dados em vista pode-se dizer que a implementação de veículos autônomos traria para o trânsito uma diminuição drástica de acidentes, enfatizando a questão que com carros autônomos não teremos mais o fator do erro humano, que segundo Randulfe (2020) está presente em mais de 90% dos acidentes de trânsito.

Uma vantagem importante dos veículos autônomos seria a possibilidade de pessoas com deficiência, seja ela visual, auditiva ou motora consiga se locomover em um carro autônomo de forma independente, tendo em vista que as tecnologias de condução autônoma fariam todo o trabalho que como exemplo no Brasil até então impedia essas pessoas devido aos testes físicos e mentais presentes no código de trânsito brasileiro Art. 147 (BRASIL, 1998).

Levando em consideração os componentes dos veículos Pissardini, Wei e Fonseca Júnior (2013, p. 3) comentam:

Sob o aspecto do veículo, considera-se que a automatização do controle veicular permita garantir e aumentar a integridade do veículo ao fazer uso racional dos seus recursos para atender a uma determinada missão. Como a navegação autônoma busca tomar decisões apropriadas de acordo com os recursos disponíveis ao veículo, este deve ser capaz de monitorar permanentemente o desgaste dos seus componentes; o consumo e nível de energia; a temperatura interna e externa ao veículo; a integridade e responsividade dos diversos sistemas do veículo; entre outros. Os veículos autônomos poderão, então, se beneficiar pela maior durabilidade de seus componentes, minimizando manutenções emergenciais e reduzindo o impacto das ações do veículo sobre o ambiente.

Além das observações citadas pelos autores acima, na questão de sustentabilidade os veículos autônomos podem ter um fundamental papel na diminuição do consumo de combustíveis fósseis, tendo em vista a grande relação entre veículos elétricos e condução autônoma.

Dentre todas as vantagens apresentadas acima, Vianna Júnior (2018, p. 69) também relembra questões tais como, “veículos autônomos não consomem bebidas alcoólicas, não se envolvem em discussões de trânsito ou têm um comportamento agressivo, tampouco são gentis, mas são mais previsíveis, portanto mais fáceis para prever e simular seu comportamento [...]”.

4.2.2 Desvantagens

Após citar as vantagens também pode-se observar que os veículos autônomos possuem algumas desvantagens que em algumas situações podem entrar em conflito com as vantagens. Dentre as desvantagens temos: falhas envolvendo os sistemas embarcados nos veículos, problemas com legislações, acidentes envolvendo veículos autônomos, custo elevado para fabricação e venda desses veículos e a dificuldade dos VATs lidarem com situações adversas no trânsito, como problemas na infraestrutura.

O aumento da segurança no trânsito é um assunto importante ao falar de veículos autônomos, sabendo que com sua implementação pode haver uma diminuição no número de casos de acidentes envolvendo erros humanos, mas como todo sistema automatizado uma possível falha pode acontecer, e se por ventura isso vir a acontecer o condutor deve tomar o controle do veículo. Com isso a vantagem dos ocupantes de não precisarem estar sempre atentos ao trânsito entra em conflito, necessitando estabelecer uma regra para quando o condutor deve tomar o controle do veículo.

Levantando a questão de acidentes e legislação fica o questionamento de em caso de acidentes envolvendo esses veículos quem seria responsável pelo ocorrido? A seguir um exemplo de acidente entre um carro autônomo e uma ciclista.

Um acidente envolvendo a empresa de transporte privado Uber marcou os noticiários pela morte por atropelamento por um carro autônomo, no evento ocorrido uma mulher de 49 anos atravessava uma estrada empurrando uma bicicleta quando o carro da Uber não consegue identificá-la e acaba se chocando contra a mulher. Nesse ocorrido a empresa Uber acabou sendo responsabilizada pelo acidente por não avaliar corretamente os riscos de segurança. Além da empresa a motorista presente no monitoramento do veículo e a vítima também foram consideradas culpadas pelo acidente. Isso leva a outra desvantagem, a necessidade de alteração das legislações envolvendo o trânsito, no caso o Brasil é representada pelo Código de Trânsito Brasileiro que pode possuir alterações de âmbito estadual e municipal, criando um problema na aplicação dessas novas legislações que podem ser divergentes de região para região (PISSARDINI; WEI; FONSECA JÚNIOR, 2013; FREITAS, 2019).

Normalmente, quanto mais tecnologias embarcadas em um veículo, maior será seu custo de fabricação, impactando diretamente no valor de venda desses automóveis, no caso dos veículos autônomos a necessidade de equipá-los com radares, sensores, dispositivos

computacionais, entre outros, deixaria o valor de venda muito elevado, impossibilitando que uma parcela da população os adquira. Isso poderia dificultar a implantação total desses veículos tendo em vista que ainda teriam veículos não autônomos circulando nas ruas (PISSARDINI; WEI; FONSECA JÚNIOR, 2013).

Um problema presente nas estradas e ruas no mundo e principalmente no Brasil é falta de infraestrutura, isso desencadeia uma desvantagem aos carros autônomos, tornando-os inúteis em situações de infraestrutura precária ou até inexistente. Nesses casos além do custo de processamento computacional ser elevado para os sistemas enfrentarem tais situações novamente seria necessário a interferência do condutor humano para resolver essa questão (PISSARDINI; WEI; FONSECA JÚNIOR, 2013).

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL E NO MUNDO

Um relatório realizado por uma rede global de firmas independentes, chamada de KPMG apresentou em forma de *ranking* o quão os países estão preparados para receberem veículos autônomos em suas ruas. A avaliação foi realizada utilizando como parâmetro quatro pilares: política e legislação; tecnologia e inovação; infraestrutura; e aceitação do consumidor, todos eles envolvendo a implantação de veículos autônomos.

Em virtude do presente trabalho ser destinado a área tecnológica, esta seção tem enfoque sobre os pilares de tecnologia e inovação. A seguir é apresentado o Quadro 3 contendo a colocação geral e a colocação dos pilares de tecnologia e inovação de todos os 25 países avaliados:

Quadro 3 – *Ranking* dos países preparados para receber veículos autônomos

Colocação Geral		Colocação Tecnologia e Inovação	
Colocação	País	Colocação	País
1	Holanda	1	Israel
2	Singapura	2	Noruega
3	Noruega	3	Estados Unidos
4	Estados Unidos	4	Alemanha
5	Suécia	5	Japão
6	Finlândia	6	Suécia
7	Reino Unido	7	Coreia do Sul
8	Alemanha	8	Finlândia
9	Emirados Árabes Unidos	9	Reino Unido
10	Japão	10	Holanda
11	Nova Zelândia	11	Canada
12	Canada	12	França
13	Coreia do Sul	13	Áustria
14	Israel	14	Emirados Árabes Unidos
15	Austrália	15	Singapura
16	Áustria	16	Nova Zelândia
17	França	17	Austrália
18	Espanha	18	República Checa
19	República Checa	19	China
20	China	20	Espanha
21	Hungria	21	Hungria
22	Rússia	22	Índia
23	México	23	México
24	Índia	24	Rússia
25	Brasil	25	Brasil

Fonte: editado pelo autor com base em KPMG (2019).

Observando o *ranking* notamos que o Brasil, entre os países estudados, encontra-se em vigésimo quinto lugar, ficando na última colocação.

Dentre os pilares citados e estudados pela KPMG o Brasil apenas não ficou em último lugar na questão de aceitação do consumidor, ficando na frente de três países, Hungria Rússia e Índia respectivamente. Segundo a KPMG, o desempenho do Brasil poderia melhorar caso fosse criado um incentivo para que as montadoras investissem em segurança, eficiência e

pesquisas, ocasionando uma possível parceria com o governo para a adoção de preços competitivos que permitam à população adquirir veículos autônomos.

Comparando os dois *rankings* do quadro 3 nota-se que a Holanda, primeira colocada geral, acaba ficando apenas em decimo lugar em tecnologia e inovação, perdendo seu posto de liderança para Israel, devido a sua grande força na área tecnológica envolvendo veículos autônomos. Um exemplo disso seria a presença da subsidiária da Intel Corporation em seu território, a Mobileye que desenvolve tecnologias baseadas em visão computacional e *Machine Learning* para aplicar em sistemas avançados de assistência ao motorista de veículos de gigantes montadoras de veículos, como BMW, Audi, Volkswagen, Nissan, Honda entre outras.

Como comentado a Holanda foi o país com maior aproveitamento somando os pilares estudados, tendo em vista o esforço do governo em criar legislações e aplicar melhorias na infraestrutura para que os veículos autônomos possam ser implementados não apenas como transporte de pessoas, mas também de produtos por todo o país.

A KPMG relata que desde o primeiro relatório publicado os países tem apresentado rápidas e fortes mudanças a caminho da implementação dos veículos autônomos, os governantes têm criado novas leis, a mídia começou a considerar as vantagens e desvantagens dos VATs, empresas testam cada vez mais veículos e os consumidores estão aceitando a ideia de migração para veículos que dirigem sozinhos.

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Após a coleta dos dados apresentados neste capítulo observa-se com mais clareza o atual cenário dos veículos autônomos e semiautônomos no Brasil e no mundo. Englobando informações do mercado automotivo nacional e mundial é observado a pequena presença de veículos com alguma tecnologia de condução autônoma no Brasil, consequência do alto valor de venda e do pequeno poder de compra do consumidor brasileiro. Todavia, em países desenvolvidos essa situação é mais difundida justamente pelo fácil acesso a esse tipo de tecnologia, como mostrado na pesquisa da empresa KPMG, a qual mostrou que os países mais desenvolvidos estão mais preparados para receberem veículos autônomos.

No capítulo a seguir, são apresentadas as entrevistas realizadas com dois pesquisadores da área de veículos autônomos e computação, para que haja um melhor entendimento dos assuntos abordados.

5 VISÃO DA ÁREA POR PESQUISADORES BRASILEIROS

No presente capítulo são apresentados os resultados de uma entrevista feita com dois pesquisadores na área de veículos autônomos. Professor Rodrigo Gandia e Professor Denis Wolf, a apresentação de ambos foi realizada na seção 3.3 deste trabalho. Além da entrevista, o capítulo contém as principais pesquisas de veículos autônomos no Brasil e no mundo

O contato com os dois entrevistados foi realizado a partir de seus e-mails e foi posteriormente combinado a melhor forma de responderem o questionário. No caso do Professor Rodrigo as respostas foram dadas por meio de uma vídeo-chamada na plataforma *Google Meets* e o Professor Denis enviou suas respostas por mensagem de áudio no aplicativo WhatsApp.

A seguir é apresentado a transcrição adaptada da entrevista realizada.

5.1 ENTREVISTA

A seguir as 6 perguntas feitas ao Professor Rodrigo e Professor Denis:

1. Qual a atual fase de desenvolvimento de pesquisas ou projetos de veículos autônomos realizadas no Brasil? Como o Brasil se encontra em relação a outros países na questão de pesquisas nessa área?

Professor Rodrigo diz que o Brasil já esteve pior em relação a pesquisas sobre veículos autônomos, mas ainda está em um nível muito distante de países do hemisfério norte, como Estados Unidos, China, Japão e demais países da Europa, tendo em vista que não existe nada sobre políticas públicas e algum plano diretor relacionados a esses veículos.

Ampliando a resposta para um aspecto mundial, Rodrigo comenta que o atual desafio brasileiro e mundial seria a realização de estudos envolvendo testes com o consumidor final para que perguntas (Qual o público que aceitaria andar em um veículo autônomo?) possam ser respondidas com mais exatidão. Finalizando sua resposta, Rodrigo enfatiza: “O mundo ainda está começando, não existe um estado da arte sobre veículos autônomos ainda,

especialmente quando se coloca aceitação do consumidor, pois muito se especula, mas temos poucas certezas”.

Professor Denis responde que o Brasil está muito atrasado em relação a outros países por **não possuir indústria automotiva nacional**, tendo em vista que no exterior os projetos realizados em universidades já estão recebendo grandes incentivos financeiros das indústrias e empresas. Enfatiza dizendo que esse ponto prejudica muito o andamento das pesquisas no Brasil.

Em relação as pesquisas realizadas no Brasil, Denis comenta que atualmente os projetos vem avançando e o interesse se concentra na comunicação entre os veículos para otimização do fluxo de trânsito e na tomada de decisões, baseando-se no fato que os veículos autônomos podem trocar informações.

2. No seu conhecimento quais universidades brasileiras possuem projetos relacionados a veículos autônomos?

Rodrigo responde que a Universidade Federal de Lavras possui núcleos envolvendo veículos autônomos com estudos relacionados a assuntos socioeconômicos, migrando da barreira tecnológica para uma questão mais social. Rodrigo cita outras universidades que possuem pesquisas sobre veículos autônomos, como a Universidade Federal de Itajubá, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e Universidade de São Paulo. Rodrigo ressalta que a maioria das pesquisas é feita de forma *indoor*.

Denis, do Laboratório de Robótica Móvel no ICMSC-USP, comenta que várias universidades já começaram pesquisas na área de veículos autônomos, mas a primeira foi a UFMG a mais de 10 anos atrás. O Professor Denis enfatiza que a área demanda um **custo muito alto, possuindo sensores embarcados que muitas vezes são mais caros que os próprios carros.**

3. Quais tecnologias de inteligência artificial você considera mais importantes para a evolução dos veículos autônomos?

Na área de inteligência artificial o Professor Rodrigo cita o *Machine Learning*, comentando o fato de os veículos apreenderem um com os outros criando uma gestão de frotas. Após comenta que o processamento de dados será muito importante entre os VATs. Rodrigo complementa sua resposta dizendo que a **gestão de informação e segurança de dados será um risco muito grande na implementação dos veículos autônomos** e termina comentando sobre a

pesquisa sobre uma **caixa preta para veículos autônomos que irá registrar ataques de hackers e possíveis crimes digitais.**

Professor Denis diz que o assunto é muito amplo e que envolve diversas áreas do conhecimento. Comenta sobre o uso de *Machine Learning* como uma solução para diversos problemas e finaliza dizendo “Em geral é difícil pensar em veículo autônomo inteligente que não use nenhuma ferramenta de inteligência artificial”.

4. Na questão de implementação de veículos autônomos nas ruas e venda para o público geral, qual seria o real impacto no dia a dia do trânsito brasileiro? Nosso país está preparado para receber esse tipo de tecnologia? Tendo em vista as complicadas burocracias, legislações e problemas com infraestrutura.

Rodrigo inicia sua resposta fazendo uma relação entre os veículos autônomos e o fordismo. No começo da era automotiva muitos não queriam que carros fossem vendidos pois algumas profissões poderiam morrer, como ferreiros. Já no caso dos veículos autônomos muito se fala em perda de postos de trabalho, mas Rodrigo diz que as **mudanças ocasionadas pelos VATs não ocorrerão de forma repentina e sim processual,** acredita que os veículos autônomos **vão ser inseridos em sistema de mobilidade urbana** de grande porte, como em redes de **transporte coletivo.**

Por fim comenta que em sua percepção terá muitas adaptações em diversos postos de trabalho e dá um exemplo: diz que as autoescolas não irão desaparecer e sim irá existir um novo tipo de **habilitação para ter permissão de dirigir veículos autônomos.**

O professor Denis responde que é difícil dizer o real impacto tendo em vista que estamos muito longe do uso dessa tecnologia, **enquanto a maior parte dos países desenvolvidos já liberaram os testes de veículos autônomos o Brasil ainda pouco se fala sobre o assunto.** Segundo Denis: **“O Brasil ainda tem dificuldades básicas de legislação para pensar em colocar um carro autônomo na rua”.**

Denis finaliza sua resposta dizendo que outros países possuem uma estrutura urbana muito melhor que a nossa, em geral o estado das nossas **vias é muito ruim e a sinalização é muito precária,** então isso impõe uma dificuldade extra para o desenvolvimento de veículos **autônomos no Brasil.**

5. Na sua percepção, quais seriam as vantagens e desvantagens da implementação de veículos autônomos, tendo em vista os atuais carros de categoria nível 3 (SAE) que já estão em utilização pelo consumidor final?

Rodrigo responde que inicialmente em níveis mais elevados de automação como 4 e 5 a interação do homem acaba sendo muito importante oferecendo uma otimização do tempo muito grande. Ele cita como exemplo um passageiro de um VAT consiga usar uma plataforma do próprio carro para pedir uma pizza e ao chegar em casa o seu pedido já esteja lá, relacionando a **Internet das coisas** que consiste em **em sistemas em geral todos conectados**.

Outra vantagem citada por Rodrigo foi a questão que os veículos autônomos podem auxiliar dentro de um sistema de mobilidade urbana podendo **acabar com a dependência de possuir um carro privado**, valorizando o usuário de um sistema de transporte coletivo.

Rodrigo diz que em **lugares mais remotos um veículo autônomo pode rodar direto por 24 horas** em um sistema de demanda para fazer a ligação de pessoas de áreas periféricas para grandes centros urbanos. Além disso diz acreditar que os **VATs são mais que carros que dirigem sozinhos e sim um modelo de mobilidade urbana muito conectado e compartilhado possuindo os veículos autônomos como peça principal**.

Na questão das desvantagens ele comenta que terá um novo alinhamento de até onde vai a liberdade do ser humano e da máquina na hora de tomada de decisões e **ênfatisa que o período mais crítico da implementação será a transição de carros comuns para autônomos**, pois haverá uma grande parte da frota automotiva ainda não sendo autônoma trazendo um risco para o trânsito. Rodrigo diz que isso está longe de acontecer e que **primeiramente a implementação será em meios de transporte coletivo** e os mesmos terão **vias exclusivas** não afetando o restante do trânsito.

Para finalizar Rodrigo comenta que após os diversos estudos e pesquisas realizados por ele sobre a área se considera a favor da implementação dos veículos autônomos tendo em vista que na sua percepção **os impactos serão muito mais positivos do que negativos**.

O Professor Denis responde dizendo que consegue ver diversas vantagens na implementação dos veículos autônomos, mas em sua opinião a principal seria a **diminuição de acidentes em vias urbanas**, sabendo que acidentes de trânsito matam muitas pessoas todos os dias. Denis acredita que é possível desenvolver programas que evitem esses acidentes que envolvam condução de veículos.

Denis enfatiza que em curto prazo os VATs podem trazer muitas vantagens para a **área de mineração e agricultura**, tendo em vista que a maioria dessas atividades são operadas

em ambientes privados, não sendo necessário a implementação de legislações específicas. O Professor finaliza comentando que em áreas controladas pode-se garantir uma maior segurança para o funcionamento dos veículos e finaliza comentando que já participou do desenvolvimento de um caminhão autônomo em parceria com a empresa Vale.

5.2 PESQUISAS ENVOLVENDO VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO BRASIL E NO MUNDO

Nessa seção são apresentadas as principais pesquisas envolvendo veículos autônomos no Brasil e no mundo.

5.2.1 Projeto AVENUE

O projeto AVENUE realizado na Europa, consiste em veículos autônomos baseados em micro-ônibus com a intenção de realizar a implementação, validação e integração desses veículos no transporte público, com o objetivo de demonstrar a importância da automação veicular para problemas envolvendo o trânsito. A seguir na figura 8 pode-se observar o micro-ônibus em funcionamento:

Figura 8 – Micro-ônibus do Projeto AVENUE



Fonte: European Commission (2020).

O projeto abre um leque de possibilidades para a completa implementação de veículos autônomos nos transportes públicos. Obtendo uma avaliação dos comportamentos dos veículos autônomos em vias de centros urbanos, assim gerando recomendações a operadores de transporte público e autoridades. Atualmente os micro-ônibus já foram utilizados em 4 cidades, Geneva na Suíça, Copenhagen na Dinamarca, Lyon na França e por fim na capital de Luxemburgo (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

5.2.2 Waymo – Google

Desde 2009 a empresa de tecnologia Google vêm desenvolvendo um projeto de condução autônoma. O primeiro objetivo em 2009 era fazer que o Toyota Prius utilizado como carro de testes andasse de forma autônoma por mais de 160,9 quilômetros. Na ocasião esse objetivo foi alcançado e ultrapassado meses depois do início do projeto.

Em 2015, o veículo autônomo chamado de Firefly, o veículo em questão possuía sensores, computadores, direção e freios customizados, era completamente autônomo e não possuía pedais e nem volante. O veículo chamou a atenção quando um homem completamente cego foi transportado pelo veículo nas ruas da cidade de Austin, no estado americano do Texas. No ano de 2016 a Google criou a empresa Waymo para tomar frente e dar continuidade a todo

o projeto. Atualmente o Waymo desenvolveu a plataforma Waymo One que consiste em um aplicativo que dispõe do serviço de transporte de pessoas utilizando veículos autônomos (WAYMO, 2020).

5.2.3 CaRINA 2

Nascido no Laboratório de Robótica Móvel na Universidade de São Paulo ICMC/USP, o projeto CaRINA 2 que teve o Professor Denis Wolf como coordenador, consiste no desenvolvimento de um veículo autônomo inteligente que possua a capacidade de se locomover em vias urbanas sem a intervenção de um condutor humano. O projeto visava alcançar a diminuição de acidentes em ruas e rodovias e uma maior eficiência no trânsito.

Em 2011 com a aquisição de uma Fiat Palio Adventure Dualogic possibilitaria o início dos testes em vias urbanas. O veículo contava com o um controle computacional de esterçamento, aceleração e freio fazendo um controle completo por meio de computadores. A Figura 9 mostra o veículo utilizado para desenvolver o CaRINA 2:

Figura 9 – CaRINA 2



Fonte: Laboratório de Robótica Móvel (2015a).

O software embarcado no CaRINA 2 é baseado no sistema operacional Linux Ubuntu e na plataforma ROS (sistema operacional de robôs) sendo utilizado para troca de mensagens entre os processos.

Segundo o Laboratório de Robótica Móvel o primeiro teste de controle computacional ocorreu em 2012 sendo que em setembro do mesmo ano o veículo foi testado nas ruas do campus da USP São Carlos, já com o sistema 100% autônomo. E em 2013 o CaRINA 2 realizou um teste em via pública demonstrando suas capacidades de condução autônoma por algumas avenidas da cidade de São Carlos, acreditando ser o primeiro teste de veículos autônomos com previa autorização da América Latina.

5.2.4 Caminhão autônomo

Como citado na entrevista o Professor Denis Wolf diz que os veículos autônomos já estão sendo bem aproveitados no setor agrícola. Denis participou no desenvolvimento de um caminhão autônomo pela USP que teve como parceria a empresa de caminhões Scania. Na ocasião o Laboratório de Robótica Móvel desenvolveu o primeiro caminhão autônomo da América Latina.

O caminhão foi equipado com GPS de alta precisão para localização, planejamento de trajetória e também um radar e câmera estéreo para captação de dados e detecção de obstáculos. A figura 10 mostra o caminhão autônomo:

Figura 10 – Caminhão autônomo



Fonte: Laboratório de Robótica Móvel (2015b).

O caminhão além de se locomover de forma autônoma, pode alertar o motorista através de uma interface de som e vídeo para possíveis obstáculos em seu trajeto.

5.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CAPÍTULO

Este capítulo apresentou a entrevista com dois pesquisadores brasileiros da área, assim como alguns dos principais projetos de pesquisa desenvolvidos no país.

Tendo em vista o conteúdo coletado pelas perguntas realizadas, pode-se concluir que os temas abordados no presente trabalho possuem boa aderência com a ideia e visão dos dois pesquisadores entrevistados. Suas análises sobre o futuro dos veículos autônomos no mundo e principalmente no Brasil agregaram muito para entendimento do assunto, permitindo a obtenção de uma nova visão socioeconômica envolvida na implementação dos veículos autônomos.

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Conforme proposto nos objetivos, este trabalho teve como intuito apresentar os conceitos da inteligência artificial aplicada a veículos autônomos, tais como as pesquisas envolvendo VATs, o real impacto econômico e social causado pela implementação desses veículos nas ruas do Brasil e do mundo, apresentar informações históricas sobre condução autônoma e inteligência artificial em veículos e suas tecnologias embarcadas, além de mostrar a visão de dois pesquisadores brasileiros atuantes na área, por meio de uma entrevista.

O propósito do presente trabalho era obter uma melhor compreensão da inteligência artificial aplicada em veículos autônomos e semiautônomos e demonstrar a atual situação desses veículos no mercado brasileiro e mundial, com o intuito de apresentar os prós e contras da implementação em massa ou parcial desses veículos.

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, diversas fontes de informações foram pesquisadas contemplando assuntos envolvendo veículos autônomos e inteligência artificial, compreendendo assim, a amplitude do tema abordado nesse trabalho, que não se limita apenas ao desenvolvimento de veículos autônomos para o consumidor final, mas sim uma mudança geral no modo de viver da sociedade que conhecemos. Durante os estudos realizados pode-se destacar a importância da inteligência artificial para o futuro dos veículos autônomos, possuindo técnicas que aliadas a equipamentos de alto nível fazem com que o funcionamento do sistema autônomo em um veículo seja o mais perfeito possível.

Tendo em vista todas informações adquiridas no trabalho foi possível analisar de uma forma mais clara a atual situação do mercado automotivo brasileiro e do mundo em relação a venda e aceitação do consumidor sobre veículos que possuam algum tipo de condução autônoma. Com isso percebe-se que a **implementação de veículos semiautônomos já está consolidada no mercado,** tendo uma grande aceitação do público em geral, principalmente em países desenvolvidos, os quais possuem todo um ambiente favorável para o uso e comercialização desse tipo de veículos. Já no Brasil grande parte dos veículos que são ofertados para venda pelas montadoras não possuem uma vasta gama de tecnologias de assistência ao condutor, justamente **pelo alto custo encontrado pelas montadoras no Brasil,** que consequentemente repassam isso para o valor do carro, deixando-os com um preço fora da realidade da maioria dos brasileiros. Isso resulta em um futuro incerto dos veículos autônomos em território brasileiro ou em países de terceiro mundo, pois o quanto mais as tecnologias automotivas avançam, maior será o valor dos carros, dificultando ainda mais um trânsito

autônomo. No caso desses países uma ideia **seria a implementação parcial em veículos de frotas do transporte coletivo**, como já acontece em projetos ao redor do mundo.

Após os estudos e análises sobre os temas citados neste trabalho, foram desenvolvidas questões para um roteiro de entrevistas, que visaram apresentar a visão, opinião e análises de dois pesquisadores que dedicaram suas vidas para o estudo de veículos autônomos, condução autônomo e computação, demonstrando aspectos sociais, econômicos e técnicos sobre VATs. Os resultados obtidos nas entrevistas acrescentaram um valor muito importante ao trabalho, podendo então ampliar os conhecimentos sobre os temas discutidos e também criar diversas relações entre os assuntos abordados com os entrevistados e os abordados em todo o trabalho.

Finalmente, foi possível ampliar e adquirir novos conhecimentos sobre o cenário de veículos autônomos e semiautônomos baseados em inteligência artificial, tendo em vista a complexidade do tema pode-se supor que essa tecnologia reserva um futuro com muitas incertezas dentro do setor da mobilidade urbana. Muitas dúvidas relacionados a esses veículos necessitam de muitos testes práticos para serem respondidas, então não se há um consenso determinando se a implementação total desses veículos será benéfica ou não, mas certamente os veículos autônomos mudarão a forma de como o mundo é visto e devem impactar na população de diversas maneiras.

Embora exista satisfação com a realização deste trabalho, o mesmo ainda pode ser ampliado. Ficam definidos os seguintes trabalhos futuros:

- **Pesquisar as possibilidades oferecidas pela confluência da Internet das coisas (em inglês *Internet of Things* ou IoT) e os veículos autônomos.**
- **Realizar um estudo sobre as questões legais e de segurança a ser implementadas em um contexto de condução autônoma.**
- **Estudar as questões éticas e de aceitação social referente a condução autônoma.**
- **Pesquisar sobre a importância da segurança da informação em relação a implementação de veículos autônomos.**

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Dave; MCNEILL, George. Artificial neural networks technology. **Kaman Sciences Corporation**, v. 258, n. 6, p. 1-83, 1992. Disponível em: http://andrei.clubcisco.ro/cursuri/f/f-sym/5master/aac-nnga/AI_neural_nets.pdf. Acesso em: 26 abr. 2020.
- BAGLOEE, Saeed Asadi *et al.* Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. **Journal of Modern Transportation**, v. 24, n. 4, p. 284-303, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40534-016-0117-3>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- BINKOVITZ, Leah. Robot Car Stanley is on the Move. **Smithsonian Magazine**. October 23, 2012. Disponível em: <https://www.smithsonianmag.com/smithsonian-institution/robot-car-stanley-is-on-the-move-87776637/>. Acesso em: 7 maio. 2020.
- BMW. **Overview of the main driver assistance systems**. 7 January 2020. Disponível em: <https://www.bmw.com/en/innovation/the-main-driver-assistance-systems.html#pwjt-emergency-brake-assist>. Acesso em: 22 abr. 2020.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei Nº 9.602, de 21 de janeiro de 1998. Dispõe sobre legislação de trânsito e dá outras providências**. Publicada no Diário Oficial de 22/01/1998, Seção 1. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9602.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.602%2C%20DE%2021,1%C2%BA%20Os%20arts. Acesso em: 07 maio. 2020.
- BEHERE, Sagar; TÖRNGREN, Martin. **A functional architecture for autonomous driving**. 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/34898174/A_functional_architecture_for_autonomous_driving. Acesso em: 18 abr. 2020.
- BUEHLER, Martin; IAGNEMMA, Karl; SINGH, Sanjiv (Ed.). **The 2005 DARPA Grand Challenge: the great robot race**. Germany: Springer, 2007. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=rjxuCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=The+2005+DARPA+grand+challenge:+the+great+robot+race&ots=D1n6uR0oQ4&sig=p3-gOZCj1pAXnzmGCCq23DwdGP0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 10 abr. 2020.
- CANALYS. **Canalys: US sales of cars with level 2 driving automation features grow 322% in Q1 2019**. Palo Alto, Shanghai, Singapore and Reading (UK) – Tuesday, 28 May 2019. Disponível em: <https://www.canalys.com/newsroom/canalys-us-sales-of-cars-with-level-2-driving-automation-features-grow-322-in-q1-2019>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA – CFM. **Em dez anos, acidentes de trânsito consomem quase R\$ 3 bilhões do SUS**. 22 de maio de 2019. https://portal.cfm.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=28254:2019-05-22-21-49-04&catid=3. Acesso em: 28 abr. 2020.

COUTO, Leandro Nogueira. **Sistema para localização robótica de veículos autônomos baseado em visão computacional por pontos de referência**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

DARPA – Defense Advanced Research Projects Agency. **About DARPA**. 2020. Disponível em: <https://www.darpa.mil/about-us/about-darpa>. Acesso em: 10 abr. 2020.

DAVIES, Alex. **Don't Overestimate the 'Semi' in Semiautonomous Cars**. 2019. Disponível em: <https://www.wired.com/story/dont-overestimate-semi-semi-autonomous-cars/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

DUDEK, Gregory; JENKIN, Michael. **Computational Principles of Mobile Robotics**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2010. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=db5pr2275i0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=DUDEK,+GREGORY+AUTOR+et+al.+Computational+Principles+of+Mobile+Robotics.+Cambridge+University+Press,+2000.&ots=_C4O-1l_WR&sig=Bk1JvGjk5Oc7TUoZ-xQdsg3y1eg#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 15 mar. 2020.

ÉPOCA NEGÓCIOS ONLINE. Leia o texto do convite que criou o termo inteligência artificial. **Tecnologia**, 13 mar. 2019. Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/03/leia-o-texto-do-convite-que-criou-o-termo-inteligencia-artificial.html>. Acesso em: 28 abr. 2020.

ESPÍRITO SANTO, Hugo. Em 1986, esta carrinha já conduzia sozinha. Mas como? **Razão Automóvel**, Clássicos. 2016. Disponível em: <https://www.razaoautomovel.com/2016/11/navlab-1>. Acesso em: 27 mar. 2020.

EUROPEAN COMMISSION. INNOVATION AND NETWORKS EXECUTIVE AGENCY. **Avenue – Autonomous Vehicles to Evolve to a New Urban Experience**. European Commission, Horizon 2020. 30/06/2020. Disponível em: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects/h2020-transport/automated-road-transport/avenue>. Acesso em: 28 abr. 2020.

FENABRAVE. **Anuário 2019**. 2019. Disponível em: <http://online.fliphtml5.com/ordey/pzwi/#p=16>. Acesso em: 28 abr. 2020.

FREITAS, Tainá. Justiça dos EUA decide os culpados por morte em acidente com carro autônomo da Uber. **Startse.com**, Notícias, Nova Economia, 21 nov. 2019. Disponível em: <https://www.startse.com/noticia/nova-economia/uber-acidente-carro-autonomo-decisao>. Acesso em: 21 abr. 2020.

GAGE, Douglas W. **UGV history 101: A brief history of Unmanned Ground Vehicle (UGV) development efforts**. In: NAVAL COMMAND CONTROL AND OCEAN SURVEILLANCE CENTER RDT AND E DIV SAN DIEGO CA, 1995. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=0091C9204B81F04F8196073473552395?doi=10.1.1.476.588&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 27 mar. 2020.

GANDIA, Rodrigo Marçal *et al.* Autonomous vehicles: scientometric and bibliometric review. **Transport Reviews**, v. 39, n. 1, p. 9-28, 2019. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01441647.2018.1518937>. Acesso em: 12 mar. 2020.

GONÇALVES, Luiz Felipe Sartori. **Desenvolvimento de sistema de navegação autônoma por GNSS**. 2011. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2016. Disponível em: <http://www.deeplearningbook.org/contents/intro.html>. Acesso em: 24 abr. 2020.

GRAND VIEW RESEARCH. **Autonomous Vehicle Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Transportation, Defense), By Region (North America, Europe, Asia Pacific, South America, MEA), And Segment Forecasts, 2021 - 2030**. Mar, 2020. 100 p. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/autonomous-vehicles-market>. Acesso em: 24 abr. 2020.

HARRIS, Steve. Driving forward: What's the state of autonomous vehicles today? **Orange Business Services**, Blog, IoT. January 20, 2020. Disponível em: <https://www.orange-business.com/en/blogs/driving-forward-whats-state-autonomous-vehicles-today>. Acesso em: 18 abr. 2020.

HEINEN, Farlei *et al.* Navegação de Veículos de Carga Autônomos utilizando Visão Computacional com Algoritmo de Segmentação por Cores. *In: IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE AUTOMAÇÃO, SISTEMAS E INSTRUMENTAÇÃO*. 2004, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ISA – Sociedade de Instrumentação, Sistemas e Automação – América do Sul. p. 1-10. Disponível em: <http://osorio.wait4.org/publications/Kelber-ISA2004.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2020.

HEINEN, Farlei J.; OSÓRIO, Fernando Santos. Robótica Autônoma: integração entre planificação e comportamento reativo. *In: Salão de Iniciação Científica (11.: 1999 out. 25-29: Porto Alegre, RS). Livro de resumos*. Porto Alegre: UFRGS/PROPESQ, 1999. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/100179/FeiraIC1999_199913.pdf?sequence=1. Acesso em: 18 abr. 2020.

HONDA. **Lane Keeping Assist System (LKAS)**. Disponível em: <http://techinfo.honda.com/rjanisis/pubs/QS/AH/BTY31919GW/enu/GUID-A94041EB-E74D-4902-BEF4-1CF4CA97EC55.html>. Acesso em: 27 mar. 2020.

JAGUAR. **Park Assist**. 2020. Disponível em: <https://www.jaguarbrasil.com.br/incontrol/incontrol/driver-assistance/park-assist.html>. Acesso em: 12 abr. 2020.

KOK, Joost N. *et al.* Artificial intelligence: definition, trends, techniques, and cases. **Artificial Intelligence**, v. 1, p. 1-20, 2009. Disponível em: <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C15/E6-44.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2020.

KPMG. **2019 Autonomous Vehicles Readiness Index**. 2019. Disponível em: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/02/2019-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf>. Acesso em: 24 maio 2020.

LABORATÓRIO DE ROBÓTICA MÓVEL – LRM. **Projeto CaRINA 2**. ICMC/USP - São Carlos. 21 nov. 2015a. Disponível em: <http://lrm.icmc.usp.br/web/index.php?n=Port.ProjCarina2Info>. Acesso em: 26 abr. 2020.

LABORATÓRIO DE ROBÓTICA MÓVEL – LRM. **Projeto Caminhão Autônomo**. ICMC/USP - São Carlos. 21 nov. 2015b. Disponível em: <http://lrm.icmc.usp.br/web/index.php?n=Port.ProjSTruck>. Acesso em: 26 abr. 2020.

LECUN, Yann; BENGIO, Yoshua; HINTON, Geoffrey. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature14539>. Acesso em: 25 abr. 2020.

MEDEIROS, Luciano Frontino de. **Inteligência artificial aplicada: uma abordagem introdutória**. Curitiba: Intersaberes, 2018. 263 p. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/161682/pdf/9>. Acesso em: 11 maio 2020.

MONARD, Maria Carolina, BARANAUSKAS, José Augusto. Conceitos Sobre Aprendizado de Máquina. In: REZENDE, S. (Org.) **Sistemas Inteligentes Fundamentos e Aplicações**. 1 ed. Barueri-SP: Manole, 2003. p. 89 -114.

MORESI, Eduardo (org.) **Metodologia da pesquisa**. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2003. 108 p. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~pdcosta/ensino/2010-2-metodologia-de-pesquisa/MetodologiaPesquisa-Moresi2003.pdf>. Acesso em: 11 maio 2020.

MORSHED, Adnan. The Aesthetics of Ascension in Norman Bel Geddes's Futurama. **The Journal of the Society of Architectural Historians**, v. 63, n. 1, p. 74-99, 2004. Disponível em: <https://online.ucpress.edu/jsah/article/63/1/74/93804/The-Aesthetics-of-Ascension-in-Norman-Bel-Geddes-s>. Acesso em: 11 maio 2020.

NASCIMENTO, Paulo C. **Inteligência artificial**. Universidade Estadual de Campinas, Maio de 2001. p. 13. Disponível em: https://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/jornalPDF/ju170_p04.pdf. Acesso em: 20 abr. 2020.

NILSSON, Nils J. **Principles of artificial intelligence**. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 2014. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=mT-jBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=principles+of+artificial+intelligence+nilsson+pdf&ots=hL2ieL0Eej&sig=DRjWW9eGFYRhGFKtjWtElEQ8t3s#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 18 mar. 2020.

OZGUNER, Umit; STILLER, Christoph; REDMILL, Keith. Systems for safety and autonomous behavior in cars: The DARPA Grand Challenge experience. **Proceedings of the IEEE**, v. 95, n. 2, p. 397-412, 2007. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4142933>. Acesso em: 27 abr. 2020.

PISSARDINI, Rodrigo de Sousa; WEI, Daniel Chin Min; FONSECA JÚNIOR, Edvaldo Simões da. Veículos Autônomos: conceitos, histórico e estado-da-arte. *In: ANAIS DO XXVII CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES – ANPET*, 2013, Belém. **Anais [...]**. Belém: ANPET, 2013. p. 1-13. Disponível em:

http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/157_AC.pdf. Acesso em: 10 abr. 2020.

POGGIO, Tomaso; TORRE, Vincent; KOCH, Christof. Computational vision and regularization theory. **Nature**, v. 317, n. 6035, p. 314-319, 1985. Disponível em: <http://vision.lems.brown.edu/sites/vision.lems.brown.edu/files/Poggio-Regularization-Nature-1985.PDF>. Acesso em: 25 abr. 2020.

POMERLEAU, Dean. Neural network vision for robot driving. *In: HEBERT, M.H.; THORPE C.; STENTZ A. (eds) **Intelligent Unmanned Ground Vehicles***. The Springer International Series in Engineering and Computer Science (Robotics: Vision, Manipulation and Sensors), vol 388. Boston, MA: Springer, 1997. p. 53-72. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-6325-9_4. Acesso em: 26 abr. 2020.

RANDULFE, Adolfo. El coche autónomo arranca, pero no acelera. **El País**, Tecnología. 09 abr. 2020. Disponível em: <https://elpais.com/tecnologia/2020-04-09/el-coche-autonomo-arranca-pero-no-acelera.html>. Acesso em: 15 abr. 2020.

ROYAKKERS, Lambèr; VAN EST, Rinie. A literature review on new robotics: automation from love to war. **International Journal of Social Robotics**, v. 7, n. 5, p. 549-570, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12369-015-0295-x>. Acesso em: 15 maio. 2020.

SAE. **SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles**. 2018. Disponível em: <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>. Acesso em: 11 abr. 2020.

SCHAUN, André. Os 20 fabricantes que mais venderam carros no Brasil em 2019. **Revista Auto Esporte**. 04/01/2020. Disponível em: <https://revistaautoesporte.globo.com/Noticias/noticia/2020/01/os-20-fabricantes-que-mais-venderam-carros-no-brasil-em-2019.html>. Acesso em: 20 abr. 2020.

SHAOUT, Adnan; COLELLA, Dominic; AWAD, S. S. Advanced driver assistance systems- past, present and future. *In: 2011 SEVENTH INTERNATIONAL COMPUTER ENGINEERING CONFERENCE (ICENCO'2011)*. **Anais [...]**. Giza, Egito: IEEE, 2011. p. 72-82. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6153935?casa_token=CV-ZA2qkDYQAAAA:uh9NLI8SLQdOWIYJ-7ZYgiHmKrbDBbDL0MIJiSj88kgimUWfIlb2jcC9pDwqfpGdBXfzKLQeqQ. Acesso em: 15 abr. 2020.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121 p. Disponível em:

<https://biblioteca.isced.ac.mz/bitstream/123456789/712/1/Metodologia%20de%20Pesquisa.pdf>. Acesso em: 3 maio. 2020.

THORPE, Charles E. (Ed.). **Vision and Navigation**: The Carnegie Mellon Navlab. Massachusetts: Springer Science & Business Media, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=RDj2BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Vision+and+navigation:+the+carnegie+mellon+navlab.+Springer+Science+%26+Business+Media&ots=MqRNYwNXaM&sig=W09j72dYq1RPg6yrlzxES2UmES0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 23 abr. 2020.

VAN AREM, Bart; VAN DRIEL, Cornelia JG; VISSER, Ruben. The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristics. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 7, n. 4, p. 429-436, 2006. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4019451?casa_token=JIJzhTI3iwMAAAAA:Ydo907HILZ6TL6FDmbywBYxp0arsGvUFDxwc8DnE0C0tUD2vAD9aHllkLTju-S1o1V2F5x_DIw. Acesso em: 22 abr. 2020.

VIANNA JUNIOR, Edison de Oliveira. Veículos autônomos, novos paradigmas da gestão do trânsito da cidade de São Paulo e para a Companhia de Engenharia de Tráfego. **Revista UniCET**, v. 1, n. 1, 2018. Disponível em: <http://revistaunicet.cetsp.com.br/index.php/RevistaUniCET/article/view/6/7>. Acesso em: 23 abr. 2020.

VOLKSWAGEN. **Cruise control**. 2020. Disponível em: <https://www.volkswagen.co.uk/technology/driver-assist/cruise-control>. Acesso em: 22 abr. 2020.

VOLVO. **XC60, 2019 Late – Adaptive cruise control**. Updated 30/01/2020. Disponível em: <https://www.volvocars.com/en-th/support/manuals/xc60/2019-late/driver-support/adaptive-cruise-control/adaptive-cruise-control>. Acesso em: 27 mar. 2020.

VOLVOCARS. **Assistência de faixa de rodagem**. Disponível em: <https://www.volvocars.com/br/support/manuals/xc60/2020-late/suporte-ao-motorista/assistencia-de-faixa/assistencia-de-faixa-de-rodagem>. Acesso em: 03 abr. 2020.
WAYMO. **Waymo One**. Disponível em: <https://waymo.com/waymo-one/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

WOLF, Denis Fernando *et al.* Robótica móvel inteligente: Da simulação às aplicações no mundo real. In: MINI-CURSO: JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM INFORMÁTICA (JAI), CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO – SBC, 2009, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: SBC – JAI, 2009, p. 279-330. Disponível em: <http://inct-sec.icmc.usp.br/actrep/sites/default/files/highlights/Tutorial-JAI.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2020.