

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**IMPLANTAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO  
CONTEXTO BRASILEIRO: AVALIAÇÃO DOS FATORES  
QUE INFLUENCIAM NO INTERESSE DE USO COM  
EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

**LUCAS CÉSAR BREDER DOS SANTOS**

**ORIENTADOR: PASTOR WILLY GONZALES TACO**

**CO-ORIENTADORA: ZULEIDE OLIVEIRA FEITOSA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM TRANSPORTES**

**BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2017**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**IMPLANTAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO  
CONTEXTO BRASILEIRO: AVALIAÇÃO DOS FATORES  
QUE INFLUENCIAM NO INTERESSE DE USO COM  
EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

**IMPLANTAÇÃO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS NO  
CONTEXTO BRASILEIRO: AVALIAÇÃO DOS FATORES  
QUE INFLUENCIAM NO INTERESSE DE USO COM  
EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

**LUCAS CÉSAR BREDER DOS SANTOS**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, Dr. (ENC)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**MICHELLE ANDRADE, Dra. (ENC)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**EVANDRO LEONARDO SILVA TEIXEIRA, Dr. (FGA)**  
**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 04 de DEZEMBRO de 2017.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, LUCAS CÉSAR BREDER DOS

Implantação de Veículos Autônomos no Contexto Brasileiro: Avaliação dos Fatores que Influenciam no Interesse de Uso com Equações Estruturais [Distrito Federal] 2017.

xiii, 158 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2017)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- |                                      |                        |
|--------------------------------------|------------------------|
| 1. Veículos Autônomos                | 2. Mobilidade Urbana   |
| 3. Revisão Sistemática da Literatura | 4. Pesquisa de opinião |
| 5. Modelagem PLS                     |                        |

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, L. C. B. (2017). Implantação de Veículos Autônomos no Contexto Brasileiro: Avaliação dos Fatores que Influenciam no Interesse de Uso com Equações Estruturais G.PF-002/2017, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 158 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas César Breder dos Santos

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Implantação de veículos autônomos na mobilidade urbana e nos transportes: vantagens e desafios no contexto brasileiro

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2017

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Lucas César Breder dos Santos

lucas.cesar.breder@gmail.com

Brasília/DF – Brasil

## RESUMO

Este Projeto Final tem como objetivo apresentar um panorama geral dos benefícios e dos desafios das tecnologias de automação de veículos de transporte individual sobre a mobilidade urbana no contexto brasileiro.

As novas tecnologias de automação de veículos se mostram como uma realidade próxima e com o potencial de causar grandes impactos sobre a sociedade. Nesse contexto, surge a necessidade de estudar as possíveis benefícios e desafios dessas tecnologias para a mobilidade urbana e os transportes, de maneira a buscar a maximização de seus impactos positivos e desenvolver ações para minimizar os negativos. Além disso, faz-se necessário estudar os possíveis obstáculos para sua implantação, visando preparar as cidades para garantir que eles sejam adotados com eficiência e segurança.

Para isto, este projeto final apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura na área dos veículos autônomos, com aplicações dentro do contexto nacional. Também foi realizada uma pesquisa de opinião com 513 usuários de automóveis particulares no Distrito Federal, com o objetivo de medir as percepções com relação a essa nova tecnologia. Foi realizada uma análise empírica dos resultados e uma análise a partir de uma modelagem em equações estruturais em PLS, que identificou alguns dos principais fatores que influenciam o interesse no uso de veículos autônomos.

A partir destas informações obtidas esse trabalho tem como contribuição propor medidas a serem adotadas pelo Brasil para potencializar as vantagens e minimizar os desafios e obstáculos da implantação de sistemas de veículos autônomos nos ambientes urbanos do país.

# SUMÁRIO

CAPÍTULO	PÁGINA
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
<b>1.1 Apresentação</b>	1
<b>1.2 Contextualização</b>	1
<b>1.3 Problema de pesquisa</b>	3
<b>1.4 Objetivos</b>	4
<b>1.4.1 Objetivos gerais</b>	4
<b>1.4.2 Objetivos específicos</b>	4
<b>1.5 Justificativa</b>	4
<b>1.5.1 Potenciais benefícios</b>	4
<b>1.5.2 Potenciais desafios</b>	5
<b>1.5.3 Obstáculos</b>	5
<b>1.5.4 Contexto brasileiro</b>	6
<b>1.6 Metodologia do projeto final</b>	6
<b>1.6.1 Etapa 1: Revisão sistemática da literatura</b>	6
<b>1.6.2 Etapa 2: Análise da literatura</b>	7
<b>1.6.3 Etapa 3: Pesquisa de opinião</b>	7
<b>1.6.4 Etapa 4: Conclusões e recomendações</b>	9
<b>1.7 Organização do trabalho</b>	9
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	11
<b>2.1 Revisão Sistemática da Literatura</b>	11
<b>2.1.1 Estágio 1: Planejamento da Revisão</b>	11
<b>2.1.2 Estágio 2: Condução da revisão</b>	14
<b>2.1.3 Estágio 3: Relatório e disseminação</b>	19
<b>2.2 Análise e síntese dos conhecimentos</b>	19
<b>2.2.1 Contextualização</b>	19
<b>2.2.2 Potenciais impactos</b>	24
<b>2.2.3 Obstáculos</b>	47

2.2.4 <i>Contexto Brasileiro</i>	54
<b>2.3 Tópicos conclusivos</b>	63
<b>3 MÉTODO PARA IDENTIFICAR OS FATORES QUE INFLUENCIAM NO INTERESSE DE USO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS PARTICULARES E NÃO COLETIVOS</b>	64
<b>3.1 Apresentação</b>	64
<b>3.2 Elaboração e aplicação do questionário</b>	64
3.2.1 <i>Estágio 1: Planejamento do questionário</i>	64
3.2.2 <i>Estágio 2: Elaboração de perguntas e respostas</i>	66
3.2.3 <i>Estágio 3: Testes do questionário</i>	70
3.2.4 <i>Estágio 4: Escolha dos respondentes</i>	71
3.2.5 <i>Estágio 5: Aplicação do questionário</i>	74
3.2.6 <i>Estágio 6: Confiabilidade e validade</i>	74
<b>3.3 Elaboração e aplicação do modelo em equações estruturais com PLS</b>	74
3.3.1 <i>Fase 1: Descrição do modelo</i>	74
3.3.2 <i>Fase 2 para o pré-teste: validade e confiabilidade do modelo de medição</i>	78
3.3.3 <i>Fase 3 para o pré-teste: valoração do modelo estrutural</i>	82
3.3.4 <i>Fase 2 para amostra completa: validade e confiabilidade do modelo de medição</i>	84
3.3.5 <i>Fase 3 para amostra completa: valoração do modelo estrutural</i>	86
3.3.6 <i>Modelo final e conversão dos coeficientes <math>\beta</math> em porcentagem</i>	88
<b>3.4 Tópicos conclusivos</b>	89
<b>4 RESULTADOS DA PESQUISA DE OPINIÃO E DA MODELAGEM COM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS</b>	90
<b>4.1 Apresentação</b>	90
<b>4.2 Caracterização da amostra</b>	90
<b>4.3 Apresentação e análises empíricas dos resultados</b>	91
<b>4.4 Análises estatísticas dos resultados</b>	104
<b>4.5 Análises cruzadas de resultados</b>	107
4.5.1 <i>Conhecimento sobre VAs X Interesse no uso e Confiança</i>	107
4.5.2 <i>Sexo X Interesse no uso e Confiança</i>	108
4.5.3 <i>Idade X Interesse no uso e Confiança</i>	109

<b>4.5.4</b> <i>Escolaridade X Interesse no uso e Confiança</i>	110
<b>4.5.5</b> <i>Renda X Interesse no uso e Preço máximo disposto a pagar</i>	112
<b>4.6</b> <b>Análise dos resultados da modelagem PLS</b>	113
<b>4.6.1</b> <i>Interesse em aumento de segurança</i>	114
<b>4.6.2</b> <i>Interesse em economia de gastos</i>	115
<b>4.6.3</b> <i>Interesse em melhorias de conforto</i>	116
<b>4.6.4</b> <i>Interesse em melhorias com infraestrutura</i>	117
<b>4.6.5</b> <i>Interesse em redução de tempos de viagem</i>	118
<b>4.6.6</b> <i>Confiança na tecnologia</i>	118
<b>4.7</b> <b>Tópicos conclusivos</b>	119
<b>5</b> <b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	121
<b>5.1</b> <b>Conclusões</b>	121
<b>5.1.1</b> <i>Potenciais benefícios</i>	121
<b>5.1.2</b> <i>Potenciais desafios</i>	125
<b>5.1.3</b> <i>Popularização de VAs no Brasil</i>	129
<b>5.2</b> <b>Recomendações e limitações</b>	130
<b>5.2.1</b> <i>Recomendações a órgãos governamentais</i>	130
<b>5.2.2</b> <i>Recomendações ao mercado automobilístico</i>	131
<b>5.2.3</b> <i>Recomendações a pesquisadores e limitações da pesquisa</i>	132
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	134
<b>A1</b> <b>REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA</b>	142
<b>A2</b> <b>ELABORAÇÃO DE UM QUESTIONÁRIO</b>	143
<b>A3</b> <b>MODELAGEM EM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS COM REGRESSÃO PLS</b>	147
<b>A4</b> <b>QUESTIONÁRIO FINAL APLICADO</b>	152

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA</b>	<b>PÁGINA</b>
2.1 Resultados quantitativos das pesquisas da revisão sistemática da literatura.	15
2.2 Resultados quantitativos das pesquisas combinando termos de vários grupos	17
2.3 Capacidade de uma faixa de trânsito com carros em pelotão.	32
2.4 Parcelas do custo médio marginal total de transporte de carga nos EUA, de 2010 a 2015.	35
2.5 Custos anuais totais de congestionamento nos Estados Unidos.	39
2.6 Estimativas de economia devido à redução de acidentes, congestionamento e custos de estacionamento nos EUA devido aos VAs.	40
2.7 Taxa de retorno individual e direta para investimento na compra de VA, em 15 anos de uso.	41
2.8 Dados sobre acidentes de trânsito anuais nos EUA e causas.	44
2.9 Dados sobre acidentes de trânsito no Reino Unido em 2015 e suas causas.	44
2.10 Estimativas de redução de acidentes e vítimas fatais de trânsito nos EUA devido aos VAs.	47
2.11 Tempos de deslocamento médios casa-trabalho em algumas metrópoles dos EUA e do Brasil.	56
2.12 Avaliação do estado geral das rodovias brasileiras.	58
2.13 Total de óbitos por causa de morte no Brasil, 2013.	60
2.14 Total de acidentes em rodovias separados por causa no Brasil de 2014 a 2016.	60
3.1 Cargas cruzadas para a modelagem PLS com a amostra teste.	82
3.2 Resultados do Bootstrapping para a modelagem PLS com a amostra teste.	83
3.3 Indicadores VIF, Confiabilidade Composta e AVE para a modelagem PLS com a amostra completa.	85
3.4 Cargas cruzadas para a modelagem PLS com a amostra completa.	86
3.5 Resultados do Bootstrapping para a modelagem PLS com a amostra completa.	87
4.1 Média, mediana, desvio padrão, excesso de curtose e assimetria das respostas do questionário.	106



## LISTA DE QUADROS

QUADRO	PÁGINA
2.1 Planejamento do protocolo da Revisão Sistemática da Literatura.	12-13
2.2 Legenda da numeração das bases de dados.	14
2.3 Legenda dos temas dos grupos de termos de pesquisa.	15
3.1 Questões da seção “Percepções Gerais” do questionário.	67
3.2 Questões da seção “Potenciais Benefícios” do questionário.	68
3.3 Questões da seção “Interesse e Níveis de Automação” do questionário.	68
3.4 Questões da seção “Segurança, Regulação e Privacidade” do questionário.	69
3.5 Questões incluídas no modelo.	77
4.1 Códigos de referência para cada questão.	105
A1.1 Estágios e passos de uma Revisão Sistemática da Literatura, segundo Tranfield et al. (2003).	142
A1.2 Passos de uma Revisão Sistemática da Literatura, segundo Santos et al. (2014).	142
A2.1 Estágios para a elaboração de um questionário, a partir das recomendações de Vieira (2009).	146
A3.2 Método RAM para modelagem em PLS, segundo de Falk e Miller (1992).	148
A3.4 Metodologia para aplicação de modelagem PLS segundo Ramírez-Correa et al. (2014).	149

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
2.1 Ciclo OODA.	21
2.2 Tecnologias atuais de sensoriamento e monitoramento em um VA.	23

2.3 Infraestrutura necessária para um HetVNET para veículos autônomos.	28
2.4 Custos humanos de acidentes de trânsito.	38
2.5 Estimativas de preços (US\$) por quilômetro percorrido para diferentes modais de transporte.	43
2.6 Os maiores sistemas de transporte do Brasil (passes/dia) em 2015, com base em dados fornecidos pelas prefeituras.	54
2.7 Comparação do uso dos modais de transporte nos países Brasil, Canadá, Austrália, EUA e China.	55
2.8 Razão entre a renda média mensal e a tarifa simples de ônibus urbano em diversas cidades do mundo.	57
2.9 Classificação das rodovias brasileiras quanto ao tipo de pista e qualidade da pintura de faixas.	59
2.10 Custo estimado de acidentes de trânsito no Brasil de 2005 a 2014, em milhões de R\$.	62
3.1 Passos 1 e 2 do método RAM – Ordem e Setas entre construtos.	75
3.2 Passos 3 e 4 do método RAM – Blocos e Setas entre indicadores e construtos	77
3.3 Resultados da modelagem PLS com amostra teste.	78
3.4 Resultados da segunda modelagem PLS com amostra teste.	80
3.5 Resultados da modelagem PLS com amostra completa.	83
3.6 Resultados da modelagem PLS com amostra completa e porcentagens P.	88
4.1 Características sociodemográficas da amostra final.	91
4.2 Respostas da questão sobre o nível de conhecimento a respeito de VAs.	91
4.3 Respostas das questões sobre o horizonte de tempo para os VAs se tornarem uma realidade no Brasil.	92
4.4 Respostas das questões sobre interesse em melhorias de segurança.	93
4.5 Respostas das questões sobre interesse em melhorias de para economia de gastos	94
4.6 Respostas das questões sobre interesse em aumento de conforto.	95
4.7 Respostas das questões sobre interesse em melhorias com infraestrutura.	96
4.8 Respostas das questões sobre interesse em redução de tempos de viagem.	96
4.9 Respostas das questões sobre interesse em redução de tempos de viagem.	97
4.10 Respostas das questões sobre confiança na tecnologia dos VAs.	99
4.11 Respostas da questão sobre a possibilidade de reassumir o controle de um VA.	100
4.12 Respostas da questão sobre ataques virtuais.	100

4.13 Respostas da questão sobre a responsabilização legal no caso de acidentes.	101
4.14 Respostas da questão sobre ética robótica.	102
4.15 Respostas da questão sobre privacidade.	103
4.16 Respostas da questão sobre incentivos governamentais.	104
4.17 Gráfico de Conhecimento sobre VAs X Interesse no uso e Confiança.	108
4.18 Gráfico de Sexo X Interesse no uso e Confiança.	109
4.19 Gráfico de Idade X Interesse no uso e Confiança.	110
4.20 Gráfico de Escolaridade X Interesse no uso e Confiança.	111
4.21 Renda X Interesse no uso e Preço máximo disposto a pagar.	112
4.22 Resultados da modelagem PLS com amostra completa e porcentagens P.	113
A3.1 Modelo simples de caminhos.	148
A3.3 Metodologia para aplicação de modelagem PLS.	149

## LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO	PÁGINA
3.1 Fórmula de Yamane para tamanho de amostra	72
3.2 Fórmula de Cochran para tamanho de amostra com população desconhecida	72
3.2 Fórmula de Cochran para tamanho de amostra com população conhecida	73

## LISTA DE NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ADAS	<i>Advanced Driver-Assistance Systems</i>
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
AVE	<i>Average Variance Extracted</i>
CA	<i>Cronbach's Alpha</i> ou Alfa de Cronbach
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CB	<i>Covariance Based</i>
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CR	<i>Composite Reliability</i> ou Confiabilidade composta
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DENATRA	Departamento Nacional de Trânsito
DPVAT	Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
EUA	Estados Unidos da América
GM	<i>General Motors</i>
GoF	<i>Goodness of Fit</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HetVNETS	<i>Heterogeneous Vehicular Networks</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITS	<i>Intelligent Transportation Systems</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i>
ONSV	Observatório Nacional de Segurança Viária

OODA	Observar-Orientar-Decidir-Agir
PLS	<i>Partial Least Squares</i>
RADAR	<i>Radio Detection and Ranging</i>
RAM	<i>Reticular Action Modeling</i>
SUMO	<i>Simulation of Urban Mobility</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
UK	<i>United Kingdom</i>
V2B	<i>Vehicle to Base</i>
V2F	<i>Vehicle to Facility</i>
V2I	<i>Vehicle to Infrastructure</i>
V2V	<i>Vehicle to Vehicle</i>
VA	Veículo Autônomo
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i>
VKT	<i>Vehicle Kilometer Traveled</i>
VL	Variável Latente
VM	Variável Manifesta

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

O rápido avanço das novas tecnologias nos campos da robótica, comunicação e inteligência artificial tem causado profundas mudanças na maioria das áreas da sociedade, incluindo também a área dos transportes. A aplicação dessas tecnologias nesse campo tornou possível a automatização de uma função que tem sido exclusivamente humana desde o início da história automotiva: a direção. Tecnologias de sistemas avançados de auxílio a condução (ADAS) tais como o controle de cruzeiro adaptativo (sistema de controle de velocidade que mantém distância mínima de veículos à frente de forma automática) ou sistema de manutenção de faixa (sistema de auxílio de direção que mantém o carro centrado em sua faixa de trânsito) já são uma realidade em novos modelos de carro. Ainda, diversas companhias automobilísticas desenvolver os chamados veículos autônomos (VAs), que atuam sem a direção humana. No caso de automóveis autônomos, esses veículos devem ser capazes de operar nas vias existentes atualmente em diferentes condições ambientais e de tráfego e em conjunto com veículos não autônomos. Se essas tecnologias se tornarem totalmente funcionais e acessíveis elas possuem o potencial para mudar significativamente o panorama do transporte atual.

Esse trabalho tem o propósito de contribuir para a literatura a respeito de veículos autônomos por meio da reunião e análise de diversos estudos sobre os possíveis impactos, em diversas áreas da sociedade, da implantação dessa tecnologia. Também será realizada uma discussão dos obstáculos para esta implantação, buscando propor medidas facilitadoras que minimizem os impactos negativos e maximizem os positivos, tudo isso de forma contextualizada ao cenário brasileiro.

## 1.2 Contextualização

A automação de veículos em geral remonta ao início do século XX. Poucos anos após o surgimento dos primeiros aviões já foram desenvolvidos seus primeiros instrumentos de automação de controle, e já existem veículos autônomos aéreos, aquáticos, ferroviários e de trabalho rural plenamente funcionais. Entretanto, as dificuldades para a automação de automóveis convencionais são maiores do que para outros tipos de veículos, tendo em vista a complexidade das regras de trânsito, a quantidade de veículos que devem ser coordenados harmoniosamente, inclusive com veículos não autônomos, a variedade de vias e rotas

possíveis, a quantidade de situações adversas e imprevisíveis que podem ocorrer e os riscos elevados à segurança dos pedestres e passageiros (WEBER, 2014).

O conceito de carros totalmente autônomos já aparece na ficção científica da década de 1930, mas se limitava ao imaginário. Por volta da década de 1960, com o advento dos computadores e os primórdios da inteligência artificial, é que os primeiros conceitos de carros autônomos fora do domínio da ficção começaram a ser desenvolvidos. Foi postulado que as três capacidades necessárias para um veículo totalmente autônomo deveriam ser: Percepção, Processamento e Reação. Mesmo com as tecnologias da época, a primeira e a última capacidade já eram relativamente factíveis, mas o problema residia no processamento de informações e na tomada de decisões (WEBER, 2014).

Durante as décadas de 1980 e 1990 foram feitos grandes progressos na área da inteligência artificial e na capacidade dos computadores, possibilitando importantes realizações no campo dos carros autônomos, com testes principalmente na Alemanha e nos EUA. O engenheiro Ernst Dickmanns, por exemplo, desenvolveu um controle autônomo para uma van Mercedes que foi capaz de dirigir milhares de quilômetros em rodovias. (WEBER, 2014 e MOEDAS, 2017).

No ano de 2004 a agência de defesa norte americana DARPA propôs um desafio de navegação de um trecho de cerca de 240 quilômetros no deserto com um prêmio de um milhão de dólares. Todos os participantes no primeiro ano fracassaram, porém no ano seguinte cinco veículos conseguiram completar o percurso (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015). Em 2007, no Desafio Urbano da DARPA, os VAs precisavam seguir regras de trânsito, lidar com rotas bloqueadas, manobrar entre obstáculos fixos e móveis e lidar com situações cotidianas realistas do ambiente urbano. Seis equipes conseguiram completar o desafio (DARPA URBAN CHALLENGE 1, 2007), mostrando o rápido desenvolvimento dessa tecnologia.

Uma das empresas pioneiras no desenvolvimento de veículos autônomos atualmente tem sido a Google, que iniciou seu programa em 2009. Desde 2012 o programa tem como foco ambientes urbanos e em 2015 foram feitos testes com um carro completamente autônomo e sem controles para o motorista pela primeira vez em vias públicas urbanas. Em 2016 o programa foi convertido na empresa Waymo, e atualmente já estão sendo realizados testes em vias públicas em quatro cidades americanas com um total acumulado de quase 5 milhões de quilômetros dirigidos por veículos autônomos, em maio de 2017. Em 2016, a

média de vezes que o motorista de testes precisou assumir o controle do veículo foi de cerca de uma para cada 8000 quilômetros dirigidos, (WAYMO, 2017) tendo sido registrados até hoje cerca de duas dúzias de acidentes com apenas um no qual a culpa residiu no carro autônomo (DAVIES, 2016 e GIBBS, 2016).

Outras companhias também tem feito progresso no desenvolvimento e teste de carros autônomos. A Uber começou a realizar testes em 2016, e em abril de 2017 os seus VAs chegaram a navegar mais de 32 mil quilômetros autônomos semanalmente, apesar das dificuldades enfrentadas (BHUIYAN, 2017). Além da Google e da Uber, as companhias Audi, Honda, PSA Groupe, Baidu, BMW, Nissan, Ford, Tesla e Mercedes-Benz já afirmaram as suas pretensões de terminar o desenvolvimento de veículos completamente autônomos entre 2020 e 2025, já com a possibilidade de inserção no mercado. Outras companhias, como Toyota, Volvo, GM e Bosch anunciaram estar trabalhando na implantação de diversas tecnologias para tornar seus veículos semiautônomos nesse mesmo horizonte de tempo, e algumas também insinuaram o desenvolvimento de automação total para um futuro mais distante (MUOIO, 2017). Na Europa, o projeto L3PILOT testará carros autônomos em 11 países com 1000 motoristas de teste, buscando unir fabricantes de veículos, institutos de pesquisa, seguradoras, universidades e outros colaboradores (MOEDAS, 2017).

Embora alguns especialistas ressaltem que essa automação pode ser mais limitada do que se espera dentro deste curto horizonte de tempo (SIMONITE, 2016), é muito provável que a automação total de carros será uma realidade disponível para compra e utilização dentro de um futuro próximo.

### **1.3 Problema de pesquisa**

A seção anterior mostrou que as tecnologias de automação veicular podem se tornar uma realidade em um futuro próximo. São diversos potenciais impactos dessa tecnologia, tanto positivos quanto negativos, e ainda são escassos os estudos sobre o tema aplicados especificamente à realidade brasileira. Ainda, não se sabe o nível de interesse na tecnologia por parte dos usuários de automóveis, nem os principais fatores que influenciam nesse interesse.

Assim, o problema de estudo são os potenciais impactos dos veículos autônomos aplicados ao transporte particular e não coletivo, os obstáculos para a sua implantação e os principais fatores que influenciam no interesse em seu uso no contexto brasileiro.



## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 *Objetivo Geral***

O objetivo deste trabalho é identificar os principais fatores que influenciam no interesse de uso de veículos autônomos particulares e não coletivos no contexto brasileiro.

### **1.4.2 *Objetivos Específicos***

- a) Oferecer um panorama geral dos potenciais benefícios dos veículos autônomos para a mobilidade urbana.
- b) Identificar os principais obstáculos e desafios para adoção segura e eficiente de um sistema de veículos autônomos no contexto brasileiro.
- c) Verificar a possível popularização do uso de veículos autônomos no contexto brasileiro, incluindo aspectos relacionados à percepção do público sobre a tecnologia.

## **1.5 Justificativa**

Essa seção tem como objetivo expor de maneira resumida alguns pontos que demonstram a importância do estudo dos potenciais impactos e obstáculos para a implantação do VAs para a sociedade, conforme previamente definido no problema de estudo. Todos os pontos aqui expostos serão aprofundados no desenvolvimento do trabalho.

### **1.5.1 *Potenciais benefícios***

Os VAs possuem uma série de potenciais benefícios que motivam o seu desenvolvimento. A ausência de erros e infrações humanas tem o potencial de reduzir de maneira expressiva o número de acidentes de trânsito. Pessoas que não tem condições de dirigir, como idosos, deficientes e crianças, poderiam ter acesso a um grau maior de mobilidade. A maior eficiência, precisão e a comunicação entre veículos poderia gerar um aumento na capacidade das vias, uma economia de combustível e redução de emissões e uma diminuição de congestionamentos e tempos de viagem. O tempo gasto com direção poderia ser aproveitado para outras atividades, gerando tanto benefícios econômicos quanto pessoais para os usuários. Além disso, a ausência de um motorista poderia baratear consideravelmente o transporte de carga e o transporte público. Assim, faz-se necessária a realização de um estudo sobre esses potenciais benefícios, buscando avaliar sua magnitude e o que é necessário para que eles se concretizem, bem como o horizonte de tempo e os graus de adoção para os quais esses efeitos passariam a ser significativos.

### **1.5.2 Potenciais desafios**

Enquanto existem diversos potenciais benefícios esperados para os VAs existem também possíveis desafios para uma tecnologia com potencial de gerar mudanças tão profundas na sociedade. O aumento do conforto, diminuição de custos e a possibilidade dos VAs dirigirem e estacionarem sozinhos poderá causar um aumento na taxa de quilômetros viajados por veículo (*Vehicle Kilometer Traveled* ou VKT), e o acesso para pessoas incapazes de dirigir também pode gerar aumento na demanda. Embora haja controvérsia sobre o tema, é possível que isso gere consequências negativas sobre o congestionamento, taxas de emissões de gases poluentes e consumo de combustíveis. É possível que as pessoas deixem de usar o transporte público para migrar para VAs individuais, prejudicando o sistema público e especialmente aqueles que não possuem condições econômicas de possuir um VA. A possível extinção de empregos de motorista também causaria consequências econômicas negativas. Assim, faz-se necessário um estudo sobre esses possíveis desafios, buscando avaliar sua magnitude e possibilitando a elaboração de medidas que minimizem ou até eliminem esses impactos negativos, facilitando a transição para um sistema de VAs.

### **1.5.3 Obstáculos**

Existem, ainda, diversos obstáculos a serem vencidos até que essa tecnologia seja uma realidade acessível. Apesar dos avanços, existem ainda muitas dificuldades técnicas para a criação de produtos que garantam a segurança e eficácia, e é possível que os fabricantes não consigam desenvolver sua tecnologia suficientemente para colocá-la no mercado dentro dos prazos previstos pelos mesmos (BHUIYAN, 2017 e SIMONITE, 2016). Os custos atuais dessa tecnologia ainda estão longe dos patamares acessíveis de mercado (BANGLOEE et al., 2016 e ANDERSON et al., 2014). A legislação atual não prevê esse tipo de veículo, e mudanças na mesma são lentas e levantam diversas questões complexas como licenciamento, responsabilização por acidentes, entre outros. Embora a automação possua o potencial de aumentar de maneira expressiva a segurança essas tecnologias ainda se encontram em fase de testes e eventuais acidentes envolvendo as mesmas geram desconfiança (DAVIES, 2016 e GIBBS, 2016). Mesmo que os VAs se tornem economicamente acessíveis é essencial que exista confiança por parte dos usuários na segurança dessa tecnologia. Assim, faz-se necessário o estudo desses possíveis obstáculos para a implantação de VAs, com o objetivo de determinar sua real viabilidade, o horizonte de tempo para que aconteça e elaborar medidas que ajudem a viabilizar seu sucesso.

#### **1.5.4 Contexto Brasileiro**

No contexto brasileiro, os VAs possuem ao mesmo tempo um potencial benéfico ainda maior que em outros países e uma série de obstáculos adicionais a implantação, devido tanto a magnitude de problemas que poderiam ser combatidos com os VAs quanto a outras particularidades que podem dificultar sua implantação.

Os efeitos positivos dos VAs podem ser de grande importância para a realidade brasileira, tendo em vista a magnitude da parcela de sua matriz de transportes composta por modal rodoviário (COLAVITE; KONISHI, 2015), seu elevado número de mortes no trânsito (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015), elevados tempos de viagem nas regiões metropolitanas (LIMA; MACHADO, 2014), entre outros. Ao mesmo tempo, as dificuldades para a implantação dessa tecnologia podem ser ainda maiores. Os severos problemas de qualidade das vias e infraestrutura do país (CNT, 2017) podem se apresentar como um obstáculo a mais para o bom funcionamento dos VAs, e fatores como a alta média de preços de automóveis (SILVA, 2010), e peculiaridades do mercado e indústria automotiva brasileiros que podem causar atraso na chegada de novas tecnologias (COUTO, 2012 e LAMAS, 2012) e inexistência de discussão de legislação com respeito a VAs podem dificultar e atrasar sua adoção no mercado. Tendo em vista essas particularidades, faz-se necessário um estudo contextualizado dos possíveis impactos positivos e negativos dessa tecnologia dentro da realidade brasileira.

### **1.6 Metodologia do Projeto Final**

#### **1.6.1 Etapa 1: Revisão Sistemática da Literatura**

A primeira etapa do trabalho é uma revisão literária com o objetivo de identificar e separar os estudos a respeito do tema. Para isso, será utilizada a metodologia da Revisão Sistemática da Literatura. Esta, usualmente adotada na área da saúde, tem como propósito identificar de forma objetiva e sistemática os estudos sobre um tema utilizando-se um método replicável e científico. Isso torna as decisões de pesquisa dos autores passíveis de auditoria, proporcionando maior transparência e credibilidade quando comparado às revisões tradicionais (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO et al., 2011 e TRANFIELD et al., 2003). O método também fornece uma noção do volume de estudos já realizados sobre o tema e da quantidade de trabalhos relacionados a cada subtema, apresentando assim um panorama das áreas mais estudadas dentro da temática geral. Mais detalhes sobre essa metodologia estão

disponíveis no Apêndice A1, e a seção 2.1 descreve de forma detalhada a aplicação dessa metodologia para selecionar os estudos utilizados nesse trabalho.

### **1.6.2 Etapa 2: Análise da literatura**

A aplicação da Revisão Sistemática na etapa 1 permitirá que seja reunida a literatura relevante para o trabalho e separada dentro de subtemas. Em seguida, será aplicado a segunda etapa da metodologia: a análise da literatura. Essa será feita em 4 passos:

#### **a) Contextualização**

Com a literatura reunida será feita uma contextualização mais aprofundada do tema, explorando conceitos e definições importantes.

#### **b) Potenciais impactos positivos e negativos identificados na literatura**

O passo seguinte será tentar identificar e quantificar os principais impactos positivos e negativos decorrentes da implantação dos VAs em grande escala, dentro de diversas áreas da sociedade.

#### **c) Potenciais obstáculos para a implantação identificados na literatura**

Em seguida, serão identificados potenciais obstáculos para a implantação dos VAs em grande escala, avaliando também previsões de adoção desse produto no futuro.

#### **d) Contextualização à realidade brasileira**

O quarto passo da análise será a aplicação das informações obtidas nos passos anteriores à realidade brasileira, levando em conta suas particularidades e fazendo paralelos com as realidades internacionais nas quais foram realizados os estudos reunidos na revisão bibliográfica.

### **1.6.3 Etapa 3: Pesquisa de opinião**

Será aplicada uma pesquisa de opinião online utilizando a ferramenta *Google Forms*® com o objetivo de avaliar a percepção e a aceitação dos VAs de maneira geral, bem como identificar algumas preocupações e motivações que podem se apresentar como obstáculos ou incentivos para a adoção da nova tecnologia pela população. A pesquisa será de natureza quantitativa. A população-alvo para a pesquisa será todos os usuários de veículos particulares no Distrito Federal, tendo em vista o foco deste trabalho em VAs particulares e não coletivos. Tendo em vista a natureza inovadora do tema e as especificidades dessa tecnologia, optou-se

por elaborar um questionário específico para a pesquisa, de forma a avaliar variáveis e indicadores importantes que forem identificadas a partir da revisão da literatura, sem limitações que poderiam aparecer com o uso de questionários prontos.

Para a elaboração do questionário, serão utilizadas ferramentas consolidadas e conhecidas de redação de perguntas e respostas, escalas de mensuração, teste de questionário e definição da amostra, baseando-se principalmente no livro de Vieira (2009) sobre o tema. Também serão realizadas verificações de confiabilidade de validade semântica e dos construtos. O apêndice A2 apresenta detalhes sobre a metodologia utilizada para a elaboração do questionário, e a seção 3 descreve de maneira detalhada sua aplicação neste trabalho, bem como apresenta o questionário final.

A partir do levantamento de dados será realizada a análise utilizando modelos de equações estruturais com abordagem de regressões de mínimos quadrados parciais (*Partial Least Squares Regression*, conhecida também como regressão PLS), utilizando-se do software *Smart PLS*.

A modelagem com equações estruturais se destaca sobre outras técnicas estatísticas por oferecer ao pesquisador a flexibilidade para modelar relações entre múltiplas variáveis; estabelecer relações entre variáveis latentes não observáveis e variáveis observáveis; modelar erros de medição para variáveis observáveis; e testar suposições teóricas contra dados empíricos (CHIN, 1998). Existem duas abordagens principais para esse tipo de modelagem: baseadas em técnicas de análise de covariância (CB) e baseadas em técnicas de análise dos componentes, como as regressões de mínimos quadrados parciais (PLS). A primeira abordagem é amplamente utilizada e conhecida enquanto a segunda é relativamente nova, embora seu uso venha apresentando acentuado crescimento nos últimos anos (RAMÍREZ-CORREA et al., 2014).

De acordo com Hair et al. (2014a), as principais justificativas de pesquisadores para utilizar a abordagem PLS em detrimento da CB são: apresenta melhores resultados quando lidando com dados que não seguem uma distribuição normal, como é comum em estudos de ciências sociais; a possibilidade de trabalhar com amostras menores e encontrar bons resultados; e melhor desempenho quando trabalhando com indicadores formativos, ou seja, aqueles que formam os construtos. Adicionalmente, a abordagem PLS também se destaca por não requerer necessariamente uma base teórica forte, permitindo tanto investigações exploratórias quanto confirmatórias, onde pode verificar a validade ou não de um modelo

proposto de relação entre múltiplas variáveis com itens observados (RAMÍREZ-CORREA et al., 2014).

Tendo em vista principalmente a natureza exploratória da pesquisa, bem como a possibilidade de encontrar distribuições não normais de dados e os outros benefícios do uso de equações estruturais com regressão PLS, esse foi o método escolhido para a modelagem dos dados de pesquisa. Mais detalhes sobre essa técnica estão disponíveis no apêndice A3, e a seção 3 descreve de maneira detalhada sua aplicação na pesquisa realizada neste trabalho.

#### **1.6.4 Etapa 4: Conclusões e recomendações**

Por último, serão sintetizadas as conclusões retiradas do projeto final. A partir dos conhecimentos reunidos em todas as etapas do trabalho, serão propostas medidas para os administradores públicos e governantes com o objetivo de maximizar os benefícios, minimizar os desafios e facilitar o processo de implantação de VAs dentro do contexto brasileiro. Também serão identificadas áreas de estudo importantes e pouco exploradas ou que ainda necessitam de um maior aprofundamento, possibilitando que sejam propostos campos para pesquisas futuras dentro do tema.

### **1.7 Organização do Trabalho**

A seção 1 do trabalho é a introdução, onde foi apresentado e contextualizado o tema dos veículos autônomos, definido o problema de estudo, definidos os objetivos, apresentada a justificativa para o estudo do problema, a metodologia de estudo e por fim organização do trabalho.

A seção 2 do trabalho é a Revisão Bibliográfica, onde é detalhada a aplicação da Revisão Sistemática da Literatura e da análise da literatura, bem como as análises de seus resultados, conforme descrito nas etapas 1 e 2 da metodologia.

A seção 3 do trabalho apresenta o processo de elaboração e aplicação de um questionário de uma pesquisa de opinião com o objetivo de avaliar a percepção pública geral a respeito do tema. Também apresenta o processo de modelagem dos dados recolhidos em equações estruturais com PLS. Nessa seção será aplicada a etapa 3 da metodologia.

A seção 4 apresenta os resultados suas análises tanto do questionário quanto da modelagem PLS, continuando a etapa 3 da metodologia.

A seção 5 apresenta as conclusões e recomendações do trabalho, propondo medidas importantes com base nos conhecimentos reunidos, identificando áreas para possíveis estudos futuros dentro do tema e avaliando se os objetivos propostos na seção 1 foram alcançados. Nessa seção será aplicada a etapa 4 da metodologia.

Ao final do trabalho estão as referências bibliográficas e os apêndices.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Revisão Sistemática da Literatura

Essa seção trata da aplicação da metodologia da Revisão Sistemática da Literatura, apresentando todas as suas etapas de forma transparente, detalhada e replicável. O apêndice A1 apresenta mais detalhes sobre essa metodologia. A revisão neste trabalho foi conduzida em três estágios conforme sugerido por Tranfield et al. (2009): planejamento de revisão, condução da revisão e relatório e disseminação.

#### 2.1.1 Estágio 1: Planejamento da Revisão

##### a) Identificação da necessidade de uma revisão de literatura

O primeiro passo realizado nesse estágio foi a procurar identificar se já existem revisões literárias sobre o tema. Para isso, foram utilizadas as ferramentas de busca do Portal de Periódicos CAPES e Google Scholar. Os termos de pesquisa utilizados foram "*autonomous cars*", "*autonomous vehicles*" e "*autonomous transport\**" (o uso do \* serve para incluir também os termos *transports* e *transportation*.) com o operador booleano *or*, combinados utilizando o operador *and* aos termos "*systematic review*" e "*literature review*", também com o operador *or* entre si.

Aplicando filtros de pesquisa para mostrar apenas artigos científicos dentro da abordagem desse trabalho e analisando os resumos dos resultados, foram encontradas apenas duas revisões literárias com abordagens similares à proposta neste trabalho, produzidas por Fagnant e Kockelman em 2015 e por Bagloee et al. em 2016. Foi também realizada uma busca com os termos em português para verificar a existência de revisões produzidas no Brasil, e não foram encontrados resultados pertinentes. Assim, verifica-se a necessidade da realização de uma nova revisão literária, tendo em vista que existem poucos trabalhos com essa abordagem e nenhum produzido no Brasil e aplicado à realidade nacional.

##### b) Proposta de revisão

A proposta dessa Revisão Sistemática da Literatura é identificar quais são os potenciais impactos, positivos e negativos e em diversas áreas da sociedade, da implantação de veículos autônomos, e também seus principais obstáculos, especialmente dentro do contexto brasileiro. Para isso, será feita uma síntese dos conhecimentos obtidos em estudos internacionais, fazendo também paralelos com as realidades nacionais. A principal ferramenta



utilizada para isso foi o Portal de Periódicos da CAPES, que permite encontrar estudos de diversas bases de pesquisas.

### c) Protocolo de revisão

Para elaborar o protocolo a ser adotado na revisão, foi seguida a aplicação de seis passos sugerida por Santos et al. (2014), detalhados no apêndice A1 ao final deste trabalho. O resumo da aplicação desses passos está no quadro abaixo:

**Quadro 2.1:** Planejamento do protocolo da Revisão Sistemática da Literatura.

<b>Passo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Finalidade</b>
<b>1. Definição do problema de pesquisa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Problema de pesquisa</b> <i>Quais são os potenciais impactos, positivos e negativos, da implantação de veículos autônomos, e quais são seus principais obstáculos?</i></li> </ul>	Obter um panorama geral dos possíveis impactos da tecnologia de veículos autônomos em diversas áreas da sociedade e dos obstáculos para sua implantação segura e eficiente.
<b>2. Definição da estratégia de pesquisa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Horizonte de tempo</b> - De 1980 a 2017</li> </ul>	Abranger o período entre as primeiras pesquisas relevantes relacionadas a veículos autônomos e o ano corrente.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Bases de Pesquisa</b> - OneFile (GALE); Scopus (Elsevier); Science Citation Index Expanded (Web of Science); ScienceDirect Journals (Elsevier); ProQuest Advanced Technologies &amp; Aerospace Collection; Technology Research Database.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Identificação de estudos</b> Busca de trabalhos publicados com termos clássicos sobre o tema (no título, palavras chave e resumo), por meio de 7 grupos e 14 combinações de termos de busca:</li> </ul>	Identificar publicações separadas em diferentes áreas possivelmente afetadas pelos veículos autônomos.
	Grupo a: Publicações relacionadas a veículos autônomos. Termos de busca: 1. ("autonomous vehicles"); 2. ("autonomous cars"); 3. ("autonomous transport*");	Identificar publicações relacionadas a veículos autônomos, com uso de três termos clássicos sobre o tema. O termo <i>transport</i> com o * inclui também <i>transports</i> e <i>transportation</i> .
	Grupo b: Publicações relacionadas a veículos autônomos e mobilidade urbana. Termos de busca: 4. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "urban mobility"; 5. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "urban transportation";	Identificar publicações relacionadas a veículos autônomos e o ambiente urbano, mediante a combinação das três palavras-chave anteriores (com o operador booleano de inclusão and) e as palavras: urban mobility e urban transportation.
Grupo c: Publicações relacionadas a veículos autônomos, infraestrutura e vias. Termos de busca: 6. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "infrastructure"; 7. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "roads";	Identificar publicações relacionadas a veículos autônomos, infraestrutura e vias, mediante a combinação das três palavras-chave anteriores (com o operador booleano de inclusão and) e as palavras: infrastructure e roads.	

Continua na página seguinte.

**Quadro 2.1:** Planejamento do protocolo da Revisão Sistemática da Literatura. Continuação.

<b>2. Definição da estratégia de pesquisa</b>	Grupo d: Publicações relacionadas a veículos autônomos e o tráfego. Termos de busca: 8. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "traffic flow"; 9. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "travel times";	Identificar publicações relacionadas a veículos autônomos, tráfego e tempos de viagem, mediante a combinação das três palavras-chave anteriores (com o operador booleano de inclusão and) e as palavras: traffic flow e travel times.
	Grupo e: Publicações relacionadas a veículos autônomos, logística e transporte de cargas. Termos de busca: 10. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "logistics"; 11. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "cargo";	Identificar publicações relacionadas a veículos autônomos, logística e transporte de cargas, mediante a combinação das três palavras-chave anteriores (com o operador booleano de inclusão and) e as palavras: logistics e cargo.
	Grupo f: Publicações relacionadas a veículos autônomos, custos e a economia. Termos de busca: 12. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "costs"; 13. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and ("economy or economics").	Identificar publicações relacionadas a veículos autônomos, custos e a economia, mediante a combinação das três palavras-chave anteriores (com o operador booleano de inclusão and) e as palavras: costs e economy ou economics.
	Grupo g: Publicações relacionadas a veículos autônomos e segurança. Termos de busca: 14. ("autonomous vehicles" or "autonomous cars" or "autonomous transport*") and "safety".	Identificar publicações relacionadas a veículos autônomos e a segurança, mediante a combinação das três palavras-chave anteriores (com o operador booleano de inclusão and) e a palavra: safety.
<b>3. Definição de critérios para inclusão ou exclusão de trabalhos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Critérios de exclusão</b></li> <li>-Trabalhos que não sejam artigos científicos</li> <li>- Resultados repetidos</li> </ul>	Limpeza da base de dados, evitando trabalhos repetidos e não classificados como artigo.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Critérios de inclusão</b></li> <li>Artigos científicos identificados nos grupos <i>b, c, d, e, f e g</i>.</li> </ul>	Separar estudos com abordagens relacionadas à proposta pelo trabalho, formando uma base de dados.
<b>4. Seleção dos artigos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Critérios de seleção</b></li> <li>-Artigos científicos que atendem ao objetivo do trabalho, ou seja, abordam os potenciais impactos positivos e negativos e os obstáculos para a implantação de um sistema de veículos autônomos no ambiente urbano.</li> </ul>	Selecionar artigos que abordem as questões relacionadas ao tema do trabalho dentro da base de trabalhos selecionados.
<b>5. Análise dos artigos selecionados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Elementos para análise</b></li> <li>Relação de artigos publicados por coleção; análise conforme a abordagem (<i>grupos definidos no passo 2</i>); análise e resumo dos principais pontos para cada uma das abordagens; e elaboração de relação dos potenciais impactos positivos e negativos e dos principais obstáculos para a implantação de um sistema de veículos autônomos urbano.</li> </ul>	Ampliar a compreensão do tema mediante análise da literatura internacional, buscando elaborar um panorama geral dos principais obstáculos na implantação de um sistema de veículos autônomos no ambiente urbano, dentro de diversas esferas.
<b>6. Apresentação de resultados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Resultado</b></li> <li>Elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso.</li> </ul>	Apresentar os resultados que cumpram o objetivo do trabalho, proporcionando maior entendimento do problema e propondo soluções, ainda destacando lacunas e oportunidades de pesquisa futura dentro do tema.

O horizonte de tempo, base de dados e os grupos para identificação das pesquisas foram definidos com base em pesquisas e leituras preliminares sobre o tema. Mesmo a aplicação dos VAs ao transporte de cargas não estando no foco desse estudo, o grupo e foi escolhido para tratar desse tema, apenas com o objetivo de oferecer uma visão inicial e uma noção da quantidade de estudos já existentes que tratam da área. O horizonte de tempo foi escolhido para abranger desde as primeiras pesquisas relacionadas à automação de veículos de transporte até os dias atuais.

As bases de dados foram escolhidas seguindo os critérios de inclusão: quantidade de artigos encontrados; abordagem predominante dos artigos dentro do escopo de estudo deste trabalho; possuir pelo menos 50 publicações não contidas em outras bases já incluídas.

Os grupos para a identificação dos trabalhos foram definidos com base em leituras preliminares sobre o tema. O grupo A é o que abrange qualquer pesquisa com menção de veículos autônomos e será utilizado apenas para apresentar uma dimensão do volume total de pesquisas sobre esse tema. Os outros seis grupos representam as áreas que sofrerão maior impacto dos VAs, de acordo com a avaliação feita por meio das leituras preliminares, sendo elas: mobilidade urbana, infraestrutura viária, tráfego e tempos de viagem, logística e transporte de carga, economia, organização urbana e segurança.

### 2.1.2 Estágio 2: Condução da revisão

#### a) Identificação das pesquisas

A identificação das pesquisas foi realizada conforme definindo no Quadro 2.1 da seção anterior, seguindo a estratégia de pesquisa e os critérios de exclusão e inclusão. Para melhorar a apresentação dos resultados, foi atribuído um número para cada base de dados, conforme apresentado no quadro abaixo:

**Quadro 2.2:** Legenda da numeração das bases de dados.

Número	1	2	3	4	5	6
<b>Base de Dados</b>	OneFile (GALE)	Scopus (Elsevier)	Science Citation Index Expanded (Web of Science)	ScienceDirect Journals (Elsevier)	ProQuest Advanced Technologies & Aerospace Collection	Technology Research Database

Ainda, o quadro a seguir serve como legenda dos temas abordados por cada grupo de termos de busca:

**Quadro 2.3:** Legenda dos temas dos grupos de termos de pesquisa.

Grupo	a	B	C	d	e	f	g
Tema	Veículos Autônomos (VAs)	VAs e a Mobilidade Urbana	VAs e a Infraestrutura	VAs e o Tráfego	VAs e o Transporte de Cargas	VAs e a Economia	VAs e a Segurança

Segue a tabela 2.1 apresentando a quantidade de artigos encontrados para cada um dos termos utilizados na pesquisa, e para as combinações dos termos do mesmo grupo com o operador booleano *or*:

**Tabela 2.1:** Resultados quantitativos das pesquisas da revisão sistemática da literatura.

Termos de Busca	Bases de Dados						Total			
	1	2	3	4	5	6	Por termo	%	Todos os termos	%
<b>Grupo a</b> "autonomous vehicles" "autonomous cars" "autonomous transport*"	3.505	3.354	2.857	1.474	2.673	2.360	6.441	87,60	7.353	100
<b>Grupo b</b> Termos do "Grupo a" <i>and</i> "urban mobility" Termos do "Grupo a" <i>and</i> "urban transportation"	28	30	19	16	21	19	48	0,65	82	1,12
<b>Grupo c</b> Termos do "Grupo a" <i>and</i> "infrastructure" Termos do "Grupo a" <i>and</i> "roads"	657	542	428	285	451	370	1.104	15,01	2.155	29,31
<b>Grupo d</b> Termos do "Grupo a" <i>and</i> "traffic flow" Termos do "Grupo a" <i>and</i> "travel times"	174	209	181	117	128	138	301	4,09	372	5,06
<b>Grupo e</b> Termos do "Grupo a" <i>and</i> "logistics" Termos do "Grupo a" <i>and</i> "cargo"	157	150	102	65	123	80	277	3,77	403	5,48
<b>Grupo f</b> Termos do "Grupo a" <i>and</i> "costs" Termos do "Grupo a" <i>and</i> "economy" or "economics"	830	787	644	379	533	487	1.380	18,77	1.898	25,81
<b>Grupo g</b> Termos do "Grupo a" <i>and</i> "safety"	1.550	1.156	971	533	939	891	2.547	34,64	2.547	34,64

Como existem alguns artigos que tratam de diversas áreas, estes podem aparecer em mais de um grupo, de modo que a soma dos resultados dos grupos de *b* até *g* é maior que do grupo *a*. Também é importante ressaltar que esses resultados foram obtidos utilizando o filtro disponível no Portal de Periódicos da CAPES que permite excluir resultados que não sejam

artigos científicos e com título repetido, respeitando assim os critérios de exclusão definidos. Além disso, os artigos do grupo *a* não serão incluídos na revisão, e a quantidade de artigos nesse grupo serve apenas como referência do total de pesquisas existentes na área dos VAs.

É interessante notar que, no grupo *a*, o termo “*autonomous vehicles*” resultou em 87,6% das pesquisas encontradas. Esse termo se refere a qualquer tipo de veículo autônomo, incluindo veículos aéreos, aquáticos e militares. Enquanto isso, os termos “*autonomous cars*” e “*autonomous transport\**” resultaram nos outros 12,4%, mostrando que dentro do universo de pesquisa sobre veículos autônomos ainda há um volume grande de estudos sobre outros tipos de veículos que não os voltados para uso civil e urbano.

Analisando as porcentagens das quantidades de resultados de cada grupo com relação ao universo total de pesquisas sobre VAs, representado pelo grupo *a*, é possível identificar as áreas onde mais estudos foram realizados. Os grupos com maior quantidade de estudos foram os da área de segurança, infraestrutura e economia, com 34,64%, 29,31% e 25,81% dos artigos mencionando esses temas, respectivamente. Os grupos com relação as áreas do transporte de cargas, tráfego, e mobilidade urbana foram mencionados em uma quantidade bem inferior de artigos, aparecendo apenas em 5,48%, 5,06% e 1,12% dos artigos encontrados.

Enquanto os grandes volumes de artigos nas áreas de segurança e economia podem ser explicados pelo fato dos maiores benefícios esperados dos VAs serem nestas áreas, a grande quantidade de artigos na área de infraestrutura pode ser decorrente de grande parte dos obstáculos e melhorias necessárias para sua implantação estarem nessa área. Essas hipóteses serão verificadas na etapa de análise da literatura reunida. Ainda assim, as áreas de estudo com menor quantidade de artigos encontrados também possuem alto potencial de gerar benefícios tanto econômicos como sociais, de modo que se apresentam como temas importantes para estudos futuros.

## **b) Seleção dos estudos**

Mesmo com os critérios de inclusão e exclusão, a grande quantidade de artigos encontrados nos grupos *c*, *e* e *f* se apresenta como um grande desafio de revisão para selecionar os estudos. Para isso, foram adotadas algumas estratégias.

A primeira estratégia foi selecionar alguns artigos que abrangessem os temas de múltiplos grupos, com o objetivo de oferecer um panorama geral dos pontos mais importantes

de cada área. Para isso, foram realizadas pesquisas combinando os termos de pesquisa dos grupos utilizando o operado booleano *and*. A primeira pesquisa foi combinando todos os grupos, e as seguintes combinando todos exceto cada um dos grupos. A quantidade de artigos encontrados nessa pesquisa está apresentada na tabela 2.2:

**Tabela 2.2:** Resultados quantitativos das pesquisas combinando termos de vários grupos.

Grupos combinados	Resultados encontrados
Todos os grupos	3
Exceto grupo <i>b</i>	14
Exceto grupo <i>c</i>	3
Exceto grupo <i>d</i>	8
Exceto grupo <i>e</i>	5
Exceto grupo <i>f</i>	3
Exceto grupo <i>g</i>	3

Analisando os estudos encontrados com esse procedimento, foram selecionados um total de três estudos que tratam de todos os temas com abordagem abrangente e similar a este trabalho. A partir da leitura desses estudos, foi possível identificar alguns dos pontos mais importantes em cada área, o que foi usado como critério para a seleção de artigos.

Para tentar refinar os resultados encontrados para os grupos *c*, *e* e *f*, foram aplicados vários filtros de assunto disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES. Foram excluídos os assuntos relacionados a veículos não terrestres, de aplicação não urbana e de aplicação militar. Também foram excluídos assuntos relacionados à programação da IA e aos aspectos técnicos dos veículos em si, já que estes não estão dentro do escopo deste trabalho.

Com os resultados refinados e tendo em vista os pontos mais importantes identificados nos três artigos gerais selecionados, foi feita a seleção dos estudos dentre aqueles encontrados na etapa de identificação de estudos, de acordo com a abordagem descrita no título e na descrição dos mesmos.

### c) Avaliação da qualidade dos estudos

O próximo passo da revisão é a avaliação da qualidade dos estudos. Para isso, foi realizada a leitura dos estudos selecionados, avaliados de acordo com os critérios seguintes critérios de qualidade:

i) Artigos que abordam com profundidade, não apenas citam, o problema de pesquisa proposto em 2.1.2a em uma ou mais das áreas de estudo propostas (mobilidade urbana,

infraestrutura viária, tráfego e tempos de viagem, logística e transporte de carga, economia, organização urbana e segurança).

ii) Artigos cujo foco está nos impactos e obstáculos da implantação dos VAs, não nos aspectos técnicos e tecnológicos dos veículos.

iii) Artigos com que apresentem conhecimentos novos e atualizados. Artigos que apresentem apenas conhecimentos já encontrados em outros estudos serão excluídos, assim como aqueles que apresentem conhecimentos tornados obsoletos por pesquisas apresentadas em artigos mais recentes.

#### **d) Extração da informação**

Tendo reunido os artigos dentro dos critérios de seleção e de qualidade, iniciou-se o processo de extração da informação dos mesmos por meio da leitura, buscando conhecimentos relevantes para o problema de pesquisa definido.

#### **e) Síntese das informações**

A natureza dos dados reunidos nos estudos selecionados é tanto quantitativa quanto qualitativa. Assim, faz-se necessário a utilização de técnicas de síntese apropriadas para ambos os tipos de dados. As técnicas utilizadas serão a da meta-análise (dados quantitativos) e da meta-síntese qualitativa (dados qualitativos).

A meta-análise é uma síntese matemática dos resultados de dois ou mais estudos primários que abordam uma mesma hipótese de formas similares. Seu objetivo é reunir dados coletados em estudos diferentes que possuam relação entre si, de maneira organizada e de fácil entendimento, de modo um passe a reforçar os resultados do outro. É importante se atentar à possível heterogeneidade das amostras de estudos diferentes, o que pode levar a impressão que os resultados apontam para uma mesma conclusão quando não o fazem. (GREENHALGH, 1997).

A meta-síntese qualitativa é um tipo de estudo qualitativo que utiliza como dados os achados de outros estudos qualitativos com tema igual ou relacionado. Ou seja, trata-se de uma interpretação dos conhecimentos mais importantes reunidos pelos autores originais dos estudos analisados (ZIMMER, 2006). A meta-síntese qualitativa é diferente da meta-análise de dados quantitativos, que agrega e reduz os dados a unidades quantificáveis, pois implica uma comparação, tradução e análise dos achados originais para produzir novas interpretações

englobando e destilando os significados em dos estudos constituintes da análise. (ZIMMER, 2006)

As informações sintetizadas nessa etapa, bem como sua análise, estão apresentadas na seção 2.2 deste trabalho.

### 2.1.3 Estágio 3: Relatório e disseminação

O estágio 3 da revisão é a elaboração deste trabalho, que se apresenta como relatório dos resultados obtidos. A conclusão do trabalho apresenta recomendações de áreas de estudo para futuras pesquisas e de medidas práticas a serem adotadas tendo em vista os conhecimentos reunidos pelo mesmo.

## 2.2 Análise e síntese dos conhecimentos

### 2.2.1 Contextualização

A *National Highway Traffic Safety Administration* (NHTSA), a agência reguladora de trânsito dos EUA, define veículos autônomos da seguinte maneira:

Veículos autônomos são aqueles em que pelo menos alguns aspectos de uma função de controle crítico de segurança (por exemplo, direção, aceleração ou frenagem) ocorrem sem controle direto do condutor. Veículos que fornecem alertas de segurança aos motoristas (alerta de colisão frontal, por exemplo), mas não executam uma função de controle não são, neste contexto, considerados automatizados, mesmo que a tecnologia necessária para dar o alerta envolva vários graus de automação (por exemplo, os dados necessários são recebidos e processados, e o aviso é dado, sem controle do condutor). (NHTSA, 2013, p. 3).

#### a) Níveis de automação

A NHTSA também classifica em cinco níveis a automação de veículos, variando de 0 (nenhuma automação) a 4 (automação total): (NHTSA, 2013)

- **Nível 0 - Nenhuma Automação:** O condutor possui controle completo e exclusivo do veículo (frenagem, direção e aceleração) em todos os momentos, e é responsável observar a estrada e pela operação segura de todos os comandos do veículo. Veículos que possuem certos sistemas de apoio/conveniência de condutor sem possuir autoridade de controle sobre a direção, frenagem ou aceleração, como por exemplo, sistemas de aviso de colisão ou aviso de fuga da faixa de trânsito, ainda seriam considerados veículos de "nível 0".

- **Nível 1 - Automação de Funções Específicas:** Este nível envolve a automação de uma função específica de controle ou de múltiplas funções que operam de forma independente umas das outras. O motorista tem o controle global e é o único responsável pela operação



segura do veículo, mas autoridade limitada sobre um controle primário (como direção ou frenagem) pode ser cedida pelo condutor ou assumida automaticamente pelo veículo. A automação de duas ou mais funções atuando de maneira conjunta de forma a permitir que o condutor seja liberado totalmente do controle físico do veículo não recai sobre essa categoria. Exemplos de sistemas de automação nessa categoria incluem, quando operando individualmente: sistemas de travagem automática de emergência ou EBA (sistema que para o carro automaticamente quando identifica que ocorrerá uma colisão), sistema de manutenção de faixa e controle de cruzamento adaptativo.

- **Nível 2 - Automação de Funções Combinadas:** Este nível envolve a automação de pelo menos duas funções de controle primário, projetada para trabalhar em conjunto para aliviar o condutor do controle das mesmas. Os veículos neste nível de automação podem utilizar autoridade compartilhada sobre os controles primários quando o condutor cedê-la em determinadas situações limitadas, de modo que o motorista seja liberado totalmente do controle físico do veículo. O motorista ainda é responsável pela observação da estrada e operação segura do veículo, e deve estar preparado para reassumir o controle a qualquer momento e sem aviso prévio. Um exemplo que recai sobre esta categoria é a utilização das funções combinadas do sistema de manutenção de faixa e piloto automático adaptativo.

- **Nível 3 - Automação Limitada de Direção Automática:** Os veículos neste nível de automação permitem que o condutor ceda o controle total de todas as funções críticas para a segurança em determinadas condições ambientais e confiar fortemente no veículo para monitorar mudanças nessas condições que possam exigir a transição de volta para o controle manual. O motorista deverá estar disponível para o controle ocasional, mas com condições razoáveis de tempo de transição. Um exemplo seria um carro autônomo que é capaz de determinar quando o sistema não é mais capaz de operar de forma autônoma, como em uma área de construção e, em seguida, indica ao condutor que volte a controlar o veículo um tempo de transição adequado para recuperar com segurança o controle manual. A distinção principal entre o nível 2 e o nível 3 é que, no nível 3, o veículo é concebido de modo a não exigir que o condutor observe constantemente a estrada durante a condução.

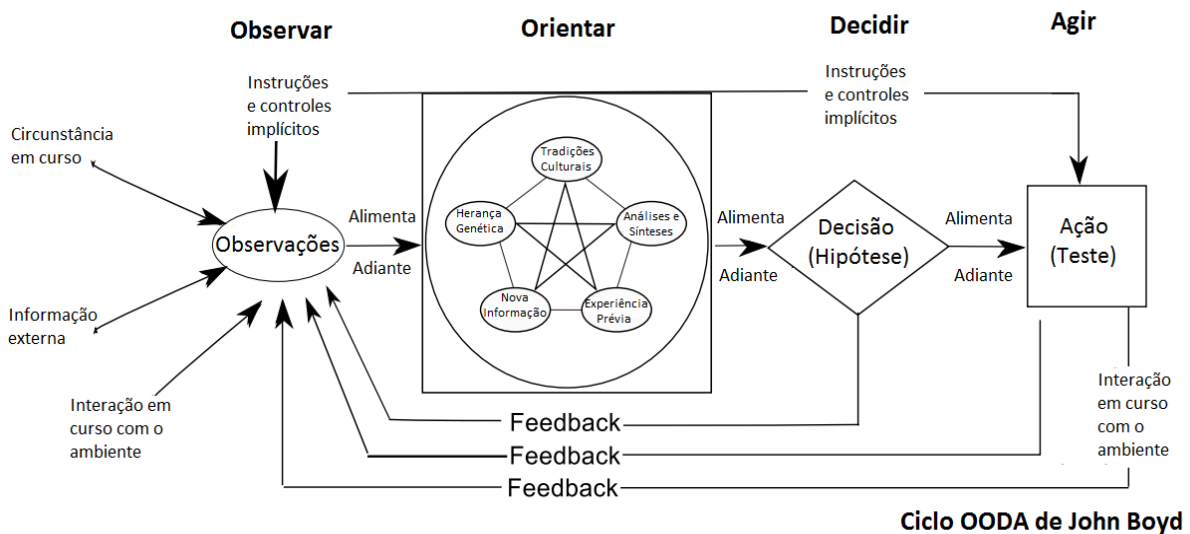
- **Nível 4 - Automação Total de Direção Automática:** O veículo foi projetado para executar todas as funções de condução e monitorar as condições da estrada durante toda a viagem. O usuário fornecerá entradas de destino ou navegação, mas não se espera que ele esteja disponível para assumir o controle em qualquer momento durante a viagem. Essa

categoria inclui tanto veículos ocupados como desocupados. A operação segura depende exclusivamente do veículo autônomo e o motorista não possui a responsabilidade de se manter atento para assumir o controle do veículo, podendo inclusive não haver a possibilidade de fazê-lo com a ausência de volante ou pedais para operação do veículo.

## b) Funcionamento do VAs

O funcionamento dos VAs requer 3 capacidades básicas de forma semelhante a grande parte dos sistemas robóticos: Percepção, Processamento e Reação (BANGLOEE et al., 2016). Essas capacidades devem buscar imitar as atividades realizadas pelos motoristas humanos de maneira ainda mais eficiente e menos suscetível a falhas. Um modelo de discretização das atividades de motoristas humanos é o ciclo OODA (Observar-Orientar-Decidir-Agir), ilustrado na figura 2.1, o ciclo OODA, desenvolvido pelo estrategista militar americano John Boyd.

**Figura 2.1:** Ciclo OODA.



Fonte: BEHERE e TÖRNGREN, 2015.

A etapa de observação é realizada por sensores e dispositivos de monitoramento do veículo, correspondendo à capacidade de percepção. É possível que o conjunto de sensores instalados em um veículo se equipare ou até exceda a capacidade de observação humana com a tecnologia atual ou em um futuro próximo (BEHERE; TÖRNGREN, 2015). A figura 2.2 representa um carro típico equipado com as tecnologias atuais de sensoriamento e monitoramento, e abaixo estão listadas as principais tecnologias adotadas atualmente nos carros autônomos para esse fim: (BAGLOEE et al., 2016).

- Sistemas de câmeras: possuem baixo custo, longo alcance e são capazes de obter grande volume de informações, porém dependem fortemente de tecnologias de processamento de imagens para interpretar as informações, um campo ainda em desenvolvimento. Também requerem calibração dependendo das condições ambientais e climáticas.

- Sistemas Lidar: sistema de sensoriamento remoto que permite a obtenção de uma visualização 3D precisa do ambiente utilizando raios de laser, porém possui limitações quanto ao alcance e não funciona com determinados materiais, dependendo da refletividade dos mesmos. Também é um sistema de alto custo e que ocupa muito espaço, embora já haja uma tendência de diminuição em ambos.

- Sistemas Radar: funcionam com princípio similar ao do Lidar, porém utilizando ondas de rádio ao invés de raios laser. Isso dificulta a detecção de materiais, de modo que esses sistemas são capazes de detectar apenas objetos metálicos como veículos, com pedestres permanecendo invisíveis aos mesmos.

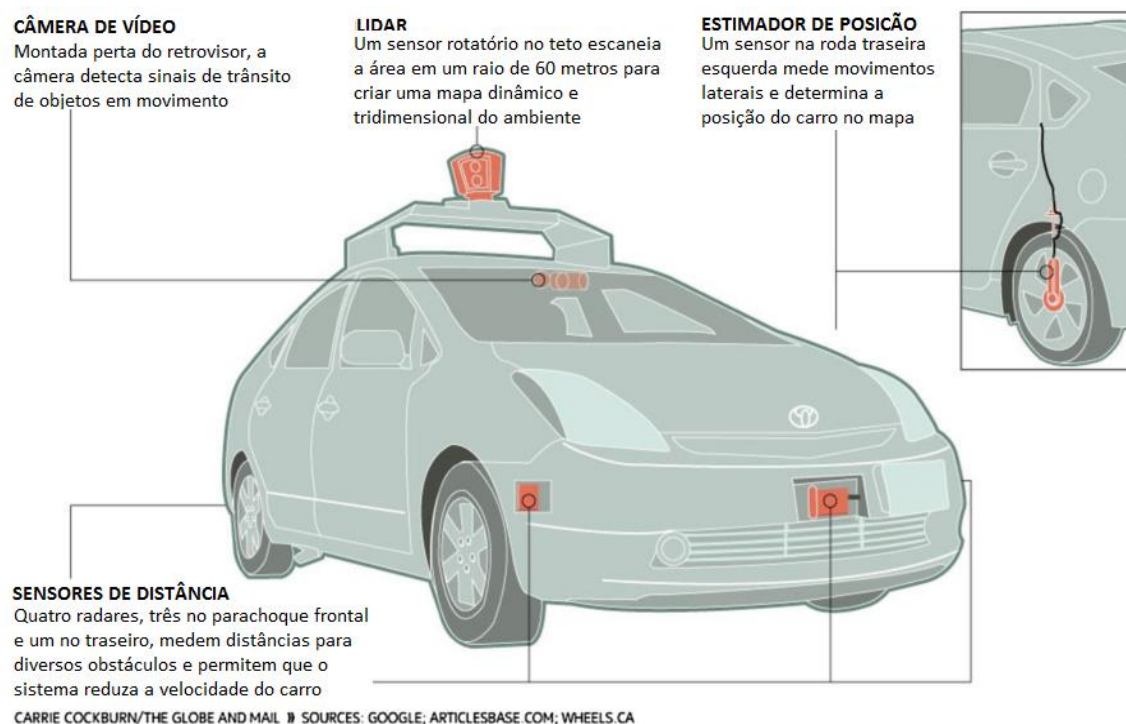
- Sistemas Ultrassônicos: funcionam com o mesmo princípio que os dois anteriores, porém utilizando ondas sonoras de alta frequência. Fornecem informações precisas, com baixa limitação de materiais e baixo custo, porém tem alcance muito limitado (1-10 m).

- Sensores Infravermelhos: são utilizados na detecção da marcação de faixas, pois apesar do baixo alcance não possuem as limitações ambientais e de iluminação dos outros sistemas. Também são usados para detectar pedestres e bicicletas especialmente durante a noite.

- Sistemas GPS: sistema de posicionamento global baseado na triangulação a partir de sinais de satélite, essa tecnologia já é de grande importância para a navegação de veículos atualmente. Porém, os erros de precisão, agravados dependendo do terreno e da altura de edifícios, se apresentam como um problema grave na utilização dos mesmos para a navegação de VAs.

- Sistemas de Navegação Inercial: se utilizam de sensores de movimento e rotação em conjunto com computadores que calculam constantemente a posição, velocidade e orientação do veículo sem depender de referenciais externos. Quando usados em conjunto com sistemas GPS podem reduzir significativamente seus erros de precisão.

**Figura 2.2:** Tecnologias atuais de sensoriamento e monitoramento em um VA.



Extraído de: BANGLOEE et al., 2016.

As etapas de orientação e decisão são realizadas pelos softwares de controle do veículo ou sua inteligência artificial, correspondendo à capacidade de processamento. É na etapa de orientação que os motoristas humanos ainda superam em muito a capacidade dos VAs com tecnologia atual. Isto ocorre porque os seres humanos podem entender o contexto externo muito mais rápido do que os computadores de forma muito mais ampla e profunda. Além disso, os seres humanos conseguem aplicar a aprendizagem rápida para aumentar sua capacidade de orientação. Para uma inteligência artificial, a aprendizagem ainda possui várias limitações, ocorrendo muitas vezes de forma lenta e restrita a contextos específicos. A necessidade de aprendizagem também é um problema para o lançamento de produtos, já que é preferível que os softwares de decisão e orientação já tenham passado por extensa validação antes do lançamento. Por isso os testes que vem sendo realizados em ambientes de navegação reais são tão importantes, pois possibilitam o aprendizado antes do lançamento em massa dos produtos. Outro elemento importante para viabilizar essa aprendizagem seria a conexão dos VAs com a Nuvem de modo a viabilizar o compartilhamento de informações entre eles (BEHERE; TÖRNGREN, 2015).

A etapa de decisão pode ser realizada de forma mais racional e menos suscetível a erros por computadores do que por humanos. Além disso, os tempos de reação podem cair consideravelmente com relação aos humanos, possibilitando decisões mais rápidas. Porém, a

execução dessa etapa depende fortemente da etapa de orientação, ou seja, da interpretação correta das informações obtidas na etapa de observação.

Por último, a etapa de ação é implementada através da plataforma do veículo em si. As principais alterações sofridas em um veículo autônomo são relacionadas ao aumento da proteção própria. Além disso, é possível que passem a ser utilizadas novas tecnologias de controle que não podem ser usadas por um motorista humano, tal como a direção por frenagem, onde a frenagem de apenas um dos lados do veículo pode facilitar a execução de curvas (BEHERE; TÖRNGREN, 2015).

Mesmo com o avanço das tecnologias de monitoramento, sensoriamento e da inteligência artificial para interpretar as informações coletadas e efetuar decisões, os VAs com a tecnologia atual ainda estão longe de alcançar a versatilidade e adaptabilidade humanas. É provável que os primeiros VAs do mercado requeiram que o motorista assuma o controle em diversas situações adversas, especialmente devido às limitações dos sensores em determinadas condições climáticas e ambientais (BEHERE; TÖRNGREN, 2015). Uma possível solução para essas limitações é a ideia de implantar uma comunicação de veículo para veículo (V2V) e de veículo para infraestrutura (V2I) que não seriam afetadas por condições adversas. Além disso, esse tipo de comunicação pode ser combinado com sistemas ITS (*Intelligent Transportation Systems*), referente ao uso equipamentos metodologias de comunicação e processamento de dados voltados melhorias na área de transportes), abrindo vastas possibilidades de controle trânsito, coleta de dados e maior segurança. Esse é um campo promissor que ainda não foi muito estudado, mas pode-se provar essencial para o sucesso dos carros autônomos (BAGLOEE et al., 2016).

### **2.2.2** *Potenciais impactos*

Essa seção tem o propósito de identificar e discutir os potenciais impactos da implantação dos VAs, tanto positivos quanto negativos, em cada uma das diversas áreas de estudo definidas na seção 2.1.

#### **a) Mobilidade urbana**

De acordo com Beimborn et al. (1999), mobilidade é uma facilidade de movimento de um destino a outro com a ajuda da rede de transportes e serviços disponível entre os dois destinos. Para Salomon e Mokhtarian (1998), a mobilidade pode ser definida como uma demanda por atividades ou viagens, onde os custos são uma parte integral da demanda.

Completando essa definição, Kayal et al. (2014) define essa demanda por viagens como a distância viajada por um indivíduo entre a origem e seu destino utilizando um modal de transporte específico, o que inclui a dimensão temporal (com o tempo de viagem, tempo de espera e tempo de estacionamento), oportunidades (em termos de renda, orçamento para transporte, educação, acessibilidade e etc.) e uma dimensão de garantia de funcionamento (em termos de confiabilidade, conforto, acidentes, riscos e etc). Uma disparidade entre a demanda e a oferta em qualquer uma dessas dimensões do transporte representa uma deficiência na mobilidade.

Tendo em vista essas três dimensões, é esperado que os VAs causem profundos impactos no panorama de mobilidade dentro dos centros urbanos. Os potenciais impactos positivos são grandes, enquanto os desafios esperados são pequenos.

Várias mudanças podem ocorrer na dimensão temporal das viagens com a implantação de VAs no ambiente urbano. Existem potenciais impactos tanto positivos quanto negativos sobre os tempos de viagem, devido a um possível aumento na demanda de viagens e na taxa VKT ao mesmo tempo em que pode haver diminuição nos congestionamentos. De maneira geral, espera-se que os impactos positivos sejam maiores que os negativos (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015 e BANGLOEE et al., 2016 e ANDERSON et al., 2014). A influência dos VAs sobre o tráfego e congestionamento será discutida em detalhes na seção 2.2.2c a seguir.

É possível também que os VAs possibilitem um tempo de espera menor para passageiros que busquem utilizar tanto o sistema público quanto serviços de transporte particulares. A automação no sistema público pode diminuir falhas e erros, aumentando a pontualidade. Com a automação de sistemas de taxi e carros particulares, espera-se que seja facilitada a coordenação da frota de veículos, proporcionando tempos de espera ainda menores. A possível diminuição nos congestionamentos também pode diminuir os tempos de espera.

A economia de tempo que pode advir da implantação dos VAs é, entretanto, a do tempo de estacionamento, já que veículos que atingirem total automação podem deixar os passageiros em seus destinos e ir buscar vagas de estacionamentos sozinhos, eliminando totalmente o gasto de tempo com estacionamento. Um estudo realizado na França por Le Fauconnier e Gantelet (2006), indicou que o tempo médio gasto com procura de vagas de estacionamento era de 11,8 minutos em Lyon e 10 minutos no distrito comercial de Paris,

fazendo ainda uma extrapolação de dados que indica que são gastas um total de 700 milhões de horas anuais com essa atividade na França. Ou seja, o tempo de estacionamento é muito significativo no tempo total de viagem e a sua eliminação seria uma melhoria considerável na mobilidade urbana.

Na dimensão da oportunidade de transporte os VAs também causarão mudanças. Primeiramente, a automação possibilitará que pessoas incapacitadas de dirigir, como crianças, idosos e deficientes físicos, realizem viagens sem a necessidade de motoristas, melhorando consideravelmente sua mobilidade. Wood (2002) observa que muitos motoristas idosos tentam lidar com suas limitações físicas através da auto regulação, evitando tráfego pesado, estradas desconhecidas, condução noturna e no mau tempo, enquanto outros param de dirigir completamente. Considerando o aumento da média de idade e expectativa de vida global (LUTZ et al., 2008), a mobilidade oferecida a população idosa pelos VAs é de crescente importância.

Quanto à oportunidade de transporte com relação à renda, ainda não é claro qual será o efeito dos VAs. Diversos benefícios dos VAs poderão diminuir os custos totais de transportes, conforme será tratado em detalhes na seção 2.2.2e, possivelmente tornando o transporte mais acessível para pessoas de menor renda. Entretanto, os altos custos esperados para essa tecnologia, em especial nos anos iniciais, podem limitar essa economia apenas à população de maior renda. Nesse aspecto, a adoção de VAs no sistema de transporte público torna-se essencial para que a redução de custos gere um aumento de mobilidade para todas as camadas da população. Além disso, a redução de preços de serviços de transporte privado sobre demanda, como o Uber, pode contribuir para a melhoria da mobilidade até de classes sociais mais baixas.

É possível que a mobilidade melhorada oferecida pelos VAs leve pessoas a migrar do transporte público para o privado, podendo levar a uma piora na qualidade do sistema de transporte público e até a inviabilização econômica do mesmo (ANDERSON et al., 2014). Isso prejudicaria a mobilidade de pessoas de menor renda tivessem acesso a VAs, acentuando as desigualdades de mobilidade decorrentes da desigualdade econômica.

Por fim, os VAs têm potencial para melhorar profundamente a mobilidade no aspecto da garantia de funcionamento. Se a tecnologia evoluir até a eficiência esperada, a confiabilidade e a segurança dos VAs serão extremamente superiores as dos veículos atuais. Os impactos dos VAs sobre a segurança dos transportes serão discutidos em detalhes na seção

2.2.2f. Além disso, os VAs poderão oferecer muito mais conforto para os usuários, que não precisarão operar os veículos e manter a atenção na estrada constantemente, ficando liberados para aproveitar o tempo de viagem com outras atividades. É possível também que os VAs sofram mudanças de design interno para aumentar o conforto, tendo em vista que elementos como os volantes e pedais poderiam ser removidos, proporcionando mais espaço.

## **b) Infraestrutura**

Enquanto o objetivo dos fabricantes de veículos é criar VAs que sejam capazes de navegar nas vias existentes atualmente utilizando apenas seus sensores e possivelmente comunicação entre os próprios veículos, sem necessidade de mudanças significativas de infraestrutura, é possível que tais mudanças se tornem necessárias para viabilizar o uso dos mesmos, ou ao menos para potencializar seus benefícios. Essa seção procura discutir algumas dessas mudanças. A infraestrutura tratada aqui é de dois tipos: física e virtual. A infraestrutura física se refere as vias, sensores, sinalizações, equipamentos de comunicação, e outros tipos de tecnologias e estruturas físicas não incluídas nos próprios VAs, enquanto a chamada infraestrutura virtual se refere aquela necessária para o armazenamento, processamento e controle de dados, tais como servidores na nuvem e etc.

Mesmo com a evolução dos sensores nos VAs, ainda existem três principais dificuldades a serem vencidas para viabilizar a automação total em qualquer circunstância (BANGLOEE et al., 2016): que o VA tenha conhecimento exato de sua posição e seja capaz de decidir como chegar ao seu destino, seja capaz de perceber o ambiente ao redor e evitar colisões e seja capaz de detectar semáforos, placas e faixas de trânsito, faixas de pedestres, calçadas, lombadas e etc, tudo de maneira precisa e independente das circunstâncias de operação.

Determinar a posição do VA com precisão e em qualquer circunstância tem se mostrado um desafio difícil com o uso apenas de sistemas GPS, devido a erros de precisão e limitações dessa tecnologia, por exemplo, em ruas cercadas por muitos edifícios altos (BANGLOEE et al., 2016). Enquanto é possível melhorar essa tecnologia combinando-a com sensores e sistemas de navegação inercial, tecnologias de comunicação V2I poderiam facilitar consideravelmente a tarefa de conhecer a posição do VA com exatidão e planejar sua rota para o destino.

Enquanto para evitar colisões com outros veículos seriam usados tanto os sensores quanto as tecnologias de comunicação V2V, para evitar colisões com certos objetos e



melhorar a percepção do ambiente ao redor poderiam ser usadas tecnologias V2I. Essas tecnologias seriam muito úteis para melhorar a percepção de diversos elementos de trânsito importantes, semáforos, placas e faixas de trânsito, faixas de pedestres, calçadas e lombadas, e até para melhorar as interações com os mesmos, tornando-as mais seguras e eficientes. Por outro lado, a dependência desse tipo de tecnologia limitaria o uso dos VAs de forma autônoma a ambientes com a infraestrutura necessária para seu funcionamento.

Zheng et al. (2015) apresenta o conceito de redes veiculares heterogêneas (HetVNETS) para veículos autônomos, o que inclui também elementos da infraestrutura física e virtual que contribuem a rede. A figura 2.3 apresenta a infraestrutura necessária para um HetVNET para veículos autônomos:

**Figura 2.3:** Infraestrutura necessária para um HetVNET para veículos autônomos.



Fonte: ZHENG et al., 2015.

Existem dois tipos de comunicação relevantes no contexto dos VAs: de veículo para veículo (V2V) e de veículo para infraestrutura (V2I). No caso das HetVNETS, a comunicação V2I ainda é dividida em duas categorias: veículo com a base (V2B) e veículo com a instalação (V2F). A comunicação V2B é aquela de caráter global e a V2F de caráter local (ZHENG et al., 2015).

As comunicações V2B se refere principalmente à ligação entre os veículos e as estações base, através da qual os veículos podem acessar a rede central e a internet. A maioria dos serviços não relacionados à segurança são fornecidos utilizam esse tipo de comunicação. Com base nas informações obtidas através de links V2B, o centro de serviços pode obter uma visão global da rede de tráfego, fornecer informações úteis como caminhos de navegação ótimos, e até coordenar os deslocamentos de maneira ótima (ZHENG et al., 2015).

Além da infraestrutura física das estações base para realizar a comunicação V2B, existe ainda a necessidade de uma infraestrutura virtual para armazenar, processar, coordenar e distribuir todas as informações coletadas. Essas informações podem ser muito importantes para a implantação de sistemas de transportes dirigidos por dados, um promissor e importante campo de pesquisa que pode ajudar a coordenar os deslocamentos urbanos de forma cada vez mais eficiente e segura (INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM, 2015). A conexão dos veículos a um sistema central de informação pode permitir que os mesmos informem uns aos outros sobre problemas e obstáculos nas vias, evitem rotas de maior congestionamento, alertem outros VAs quanto a falhas na infraestrutura, etc. Uma denominação para essa conectividade é Internet dos Veículos (LEE et al., 2016). Para suportar esse volume de troca de informações faz-se necessária a construção uma infraestrutura virtual.

No caso da comunicação V2F, o módulo de comunicação também pode ser instalado em instalações rodoviárias (por exemplo, placas de limite de velocidade e semáforos). A principal funcionalidade das comunicações V2F é transmitir mensagens de alerta para seções específicas de estrada (como curvas ou bifurcações), notificar o limite de velocidade e coordenar semáforos e intersecções com veículos próximos, a fim de evitar acidentes. Além disso, V2F pode ser usado pelos departamentos de gestão de transportes para regular os veículos na estrada (ZHENG et al., 2015).

Além de ajudar os VAs a se posicionarem e perceberem o ambiente ao redor, essas instalações de comunicação V2F também aumentar a segurança e a eficiência nos deslocamentos. Instalações desse tipo implantadas em intersecções e semáforos poderiam diminuir consideravelmente os congestionamentos e acidentes gerados pelos mesmos, conforme indicado nos estudos de Dresner e Stone (2008) e Tachet et al. (2016).

Adicionalmente, outras mudanças na infraestrutura podem ser necessárias devido à formação de “pelotões” de VAs, como o que aparece na figura 2.3. A navegação em pelotões pode apresentar muitos benefícios para a diminuição dos congestionamentos e de custos,

conforme será explorado nas seções 2.2.2c e 2.2.2e. Entretanto, esse tipo de navegação pode demandar novas infraestruturas viárias, tendo em vista que pode inviabilizar ultrapassagens e atrapalhar a entrada e saída em rodovias. Ainda, a formação de pelotões de caminhões pode acarretar em uma concentração de peso muito grande, demandando vias mais resistentes (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015).

Mudanças tanto na infraestrutura física quanto virtual podem se mostrar de grande importância, se não indispensáveis, para o sucesso dos VAs. Além disso, essa infraestrutura também pode ser de grande utilidade para veículos não autônomos, se os mesmos adotarem tecnologias para comunicação com as mesmas. Por outro lado, se veículos não autônomos deixarem de adotar essas tecnologias elas podem se tornar muito menos eficientes ou até inviáveis. Entretanto, a NHTSA já anunciou sua intenção de tornar obrigatórias essas capacidades em veículos novos em um futuro próximo (NHTSA, 2014), independente da automação ou não dos mesmos. A dependência muito forte de uma infraestrutura especial para o funcionamento dos VAs pode se apresentar como uma importante limitação em suas capacidades e benefícios, já que esse tipo de infraestrutura poderia demorar a ser implantada em diversos locais.

### c) Tráfego e tempos de viagem

Existem diversos impactos esperados dos VAs sobre o tráfego, congestionamentos e os tempos de viagem no ambiente urbano, tanto positivos quanto negativos. Anderson et al. (2014) prevê três possíveis mudanças que podem influenciar fortemente no congestionamento: o aumento do total de quilômetros viajados por veículo (VKT), o aumento da capacidade de veículos nas vias e a diminuição dos atrasos devido a acidentes de trânsito.

Ainda não há consenso quanto ao efeito que os VAs teriam sobre a taxa VKT. Um aumento nela teria impactos negativos sobre o tráfego urbano, enquanto a diminuição teria efeitos positivos. Litman (2017) acredita que a adoção dos VAs vai aumentar a taxa VKT, principalmente em decorrência de três fenômenos: a diminuição dos custos de viagem, tanto por causa da maior eficiência dos VAs quanto devido ao aumento da conveniência e produtividade durante os deslocamentos; o aumento da demanda de viagens devido ao aumento na mobilidade de pessoas incapacitadas de dirigir, conforme discutido em 2.2.2a; e os deslocamentos dos veículos desocupados, especialmente para estacionamento e para buscar pessoas em diferentes localidades, o que será potencializado no caso da implantação de taxis autônomos.

De acordo com a estimativa de Sivak e Schoette (2015), pode haver um aumento de demanda de viagens até 11% devido à demanda de pessoas incapacitadas de dirigir. O aumento de demanda devido a diminuição dos custos de viagem, chamado de “efeito rebote”, foi estimado em 10% pela NHTSA (NHTSA, 2012a), ou seja, para uma diminuição de, por exemplo, 30% no custo de viagem, haveria um aumento de 3% na demanda. O efeito total dos deslocamentos dos veículos desocupados sobre a taxa VKT ainda não foi estudado. Com relação ao aumento dos taxis autônomos, existem estudos que indicam que a utilização de modelos de partilha de carro e veículos particulares sob demanda tem diminuído a taxa VKT nos Estados Unidos (MARTIN E SHAHEEN, 2011).

Além disso, é possível que a implantação dos VAs no transporte público e coletivo supra a demanda das pessoas que não dirigem e até combata o aumento de demanda devido a diminuição dos custos e diminua o efeito dos taxis autônomos, já que os custos, a flexibilidade e a eficiência do transporte público poderia aumentar consideravelmente. Assim, é incerto o efeito que os VAs terão sobre a taxa VKT, embora pareça provável que haverá um aumento.

Também é incerto se os VAs gerariam aumento ou diminuição na posse de veículos particulares. Enquanto os diversos benefícios e o aumento de demanda causados por eles podem levar a um aumento na aquisição de carros, é possível que ocorra um efeito oposto, devido a três fatores: o incentivo à prática de compartilhamento de veículos, a substituição do uso de veículos particulares por taxis autônomos e melhorias decorrentes da automação do transporte público. Enquanto um aumento da posse de veículos poderia gerar um aumento de carros nas vias, aumentando o congestionamento, a diminuição nessa posse seria benéfica.

Um dos potenciais benefícios dos VAs para a diminuição dos congestionamentos no ambiente urbano seria o aumento da capacidade de veículos nas vias. A capacidade de monitorar constantemente o tráfego e ambiente ao redor em todas as direções ao mesmo tempo, aliada aos tempos de reação muito menores e a capacidade de tomada de decisões de frenagem e aceleração com maior eficiência dos VAs permitiria que os espaços entre veículos nas vias fossem diminuídos consideravelmente e sem comprometer a segurança, aumentando assim a capacidade das pistas (ANDERSON et al., 2014 e BAGLOEE et al., 2016 e FAGNANT; KOCKELMAN, 2015).

Tecnologias de grau menor de automação, como o piloto automático adaptativo, já se mostram promissoras no aumento da capacidade de carros nas vias (BAGLOEE et al., 2016).

Ploeg et al. (2011) realizou experimentos e simulações utilizando uma combinação de piloto automático adaptativo e comunicação wireless entre veículos que possibilitou diminuir consideravelmente as distâncias entre veículos, mesmo em alta velocidade. Se esse tipo de tecnologia continuar a se desenvolver, é provável que os veículos autônomos consigam viajar em “pelotões”, com distâncias pequenas entre si e minimizando frenagens e acelerações desnecessárias, permitindo um fluxo mais suave e constante de veículos.

Fernandes e Nunes (2012) realizaram estimativas e simulações para tentar quantificar o efeito dessa formação de “pelotões” (representados na figura 2.3, na seção anterior) de veículos com pequenos espaços entre si. Os resultados, apresentados na tabela 2.3, mostram que é possível obter um aumento de até 5 vezes no fluxo total de veículos por faixa. É importante ressaltar, entretanto, que esses resultados foram obtidos em uma simulação sem considerar obstáculos de trânsito. Enquanto essa condição é realista para muitas rodovias, por exemplo, ela não se aplica em vias urbanas onde existem diversos obstáculos como pedestres, ciclistas, interseções e semáforos, lombadas e etc. A navegação em pelotões não seria tão eficiente nesse tipo de via e possivelmente seria até mesmo inviável.

Na tabela,  $v$  é a velocidade dos veículos,  $n$  é o total de veículos no pelotão,  $d$  é a distância entre os veículos do pelotão e  $D$  é a distância entre pelotões ou, no caso de  $n=1$ , a distância entre os veículos. Os resultados são  $C$ , que é o fluxo total de veículos estimado com fórmulas matemáticas dos autores;  $SUMO$ , que é o fluxo total de veículos obtido utilizando o programa de simulação de tráfego SUMO; e  $k$ , que é a densidade de veículos por quilômetro de faixa:

**Tabela 2.3:** Capacidade de uma faixa de trânsito com carros em pelotão.

$v$ (km/h)	$n$	$d$ (m)	$D$ (m)	$C$ (veíc./h)	$SUMO$ (veíc/h)	$k$ (veíc./km)
36	1	-	15	2000	2400	55
	5	1	30	3674	3675	102
	8	1	30	4721	4730	131
	15	1	30	6067	6070	169
	20	1	30	6606	6600	183
72	1	-	25	2571	2800	36
	5	1	30	7347	7340	102
	8	1	30	9443	9450	131
	15	1	30	12135	12140	169
	20	1	30	13211	13210	183

Extraído de: FERNANDES e NUNES, 2012.

Anderson et al. (2014) apresenta uma relação entre as velocidades de viagem e o fluxo total de veículos em rodovias que ilustra o efeito das frenagens e acelerações exageradas e ineficientes efetuadas por motoristas humanos, especialmente em condições de congestionamento. Observa-se o seguinte fenômeno: quando há poucos carros na rodovia, as velocidades de viagem são altas e o fluxo de veículos é obviamente baixo. À medida que o número de carros aumenta, a velocidade diminui lentamente, enquanto o fluxo total continua a aumentar. No entanto, num determinado momento o aumento de veículos passa a provocar respostas de frenagem mais bruscas, gerando condições de constante parada e partida em oposição a um fluxo constante. Conforme isso ocorre, tanto a velocidade quanto o fluxo de veículos diminuem consideravelmente. Esse efeito poderia ser evitado pelos VAs.

Entretanto, os maiores benefícios para o tráfego urbano advindos dos VAs devem ocorrer devido à expressiva diminuição dos acidentes de trânsito que é esperada. De modo geral, existem dois tipos de causa para congestionamento: atrasos recorrentes e não recorrentes. Os atrasos recorrentes são os que ocorrem nos mesmos locais e horários e com regularidade, normalmente devido ao excesso de veículos. Os não recorrentes são os que ocorrem devido a eventos isolados e circunstâncias temporárias (ANDERSON et al., 2014). De acordo com o órgão americano *Federal Highway Administration* (2005), cerca de metade dos atrasos é do tipo não recorrente, e acidentes de trânsito representam metade dos atrasos desse tipo. Assim, cerca de 25% do total de atrasos de congestionamento é decorrente de acidentes de trânsito, dos quais espera-se uma redução de até 90% com a implantação dos VAs, conforme será visto em detalhes na seção 2.2.2f. Se essa redução ocorrer também acarretará em uma redução considerável nos congestionamentos.

Adicionalmente, é provável que o aparecimento dos VAs seja acompanhado da conectividade dos veículos, o que traz oportunidades inéditas de controle e de obtenção de dados sobre a frota, padrões de viagem e rotas. Esses dados podem ser reunidos e utilizados para coordenar e controlar as rotas de maneira a diminuir a concentração de veículos, minimizando os congestionamentos (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015; BAGLOEE et al., 2016). Outra possibilidade é a adoção de um sistema de taxas sobre congestionamento como uma medida de controle de demanda, se aproveitando dessa conectividade dos veículos. Isso poderia ser usado para combater a demanda de viagens induzida pelos VAs (BANGLOEE et al., 2016).

A utilização de comunicação V2I (veículo com infraestrutura) também pode diminuir consideravelmente o congestionamento, especialmente em intersecções (BANGLOEE et al., 2016). Dresner e Stone (2008) propuseram que, na teoria, utilizando sistemas avançados de comunicação V2I seria possível praticamente eliminar os atrasos nas intersecções, embora isso só fosse alcançável com 95% de penetração de VAs no mercado. Mesmo assim, é possível obter reduções consideráveis nos atrasos em intersecções com esse tipo de tecnologia.

Para que a maioria desses impactos positivos sobre o congestionamento venha a ocorrer, seria necessário haver um sistema de comunicação V2V (veículo para veículo) e V2I (veículo para infraestrutura) não apenas entre os VAs, mas com todos os veículos. Entretanto, a NHTSA já anunciou sua intenção de tornar obrigatórias essas capacidades em veículos novos em um futuro próximo (NHTSA, 2014), independente da automação ou não dos mesmos.

Por último, a magnitude dos impactos dos VAs sobre o tráfego depende principalmente do seu grau de adoção. Shladover et al. (2012), por exemplo, estima que a implantação do piloto automático adaptativo cooperativo (utilizando comunicação V2V, porém não com automação total) com 10%, 50% e 80% de penetração do mercado causaria um aumento de cerca de 1%, 21% e 80% na capacidade das faixas de trânsito em rodovias, respectivamente. Fagnant e Kockelman (2015) assumem que, para penetrações de mercado de 10%, 50% e 90%, haveria uma redução do congestionamento em rodovias de 15%, 20% e 60% respectivamente, utilizando estimativas conservadoras e considerando apenas certo grau de automação e comunicação entre veículos, de modo que os valores de redução podem ser bem maiores. Em vias arteriais e coletoras as reduções de congestionamento esperadas para as mesmas taxas de penetração de mercado são bem menores, de 5%, 10% e 15%, respectivamente. Espera-se que os benefícios nessas vias sejam menores devido a maioria dos atrasos ser causada por conflitos em curvas, pedestres e outros conflitos de trânsito, que os VAs não podem contornar tão facilmente. Novamente, essas estimativas são fortemente conservadoras e esses impactos positivos podem ser bem maiores.

Assim, embora a implantação dos VAs tenha potenciais impactos positivos e negativos sobre o congestionamento em centros urbanos, espera-se que os benefícios sejam muito maiores que os desafios e que, dependendo do nível de penetração do mercado, o

congestionamento sofra diminuições significativas tanto para usuários de VAs quanto de veículos comuns.

#### d) Logística e transporte de cargas

O transporte de cargas também tem o potencial de ser fortemente impactado pelo advento dos VAs. Espera-se um barateamento considerável nos custos de transporte de carga na matriz automotiva devido a três fatores: o aumento da economia de combustível, a diminuição de custos de manutenção e seguros e a diminuição da necessidade de motoristas (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015 e PLOEG et al., 2011). Considerando o transporte fora das vias públicas a automação de caminhões já é uma realidade economicamente viável. A companhia de mineração Rio Tinto afirma já estar aumentando a produtividade por meio do emprego de uma frota de 53 caminhões autônomos que acumulam 3,94 milhões de quilômetros dirigidos com 200 milhões de toneladas carregadas (RIO TINTO, 2014). Ploeg et al. (2011) defende que o mercado de caminhões é o mais propício para a implantação dos VAs.

A tabela 2.4 apresenta dados da composição de custos médios de transporte de carga nos Estados Unidos nos anos de 2010 a 2015. Os custos com os motoristas encontram-se em crescimento e já representam a parcela mais significativa da composição, excedendo os custos de combustível, que aparecem em segundo lugar. Em 2015, os custos dos motoristas alcançaram a parcela de 39% dos custos totais, e os de combustível de 25%, de modo que os dois custos mais importantes são justamente os que sofreriam maior diminuição com a automação.

**Tabela 2.4:** Parcelas do custo médio marginal total de transporte de carga nos EUA, de 2010 a 2015.

<b>Custos de Transporte</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<i>Custos de veículo</i>						
Combustível	31%	35%	39%	38%	34%	25%
Pagamentos de compra ou concessão	12%	11%	11%	10%	13%	14%
Reparos e manutenção	8%	9%	8%	9%	9%	10%
Seguros	4%	4%	4%	4%	4%	6%
Licenças e autorizações	3%	2%	1%	2%	1%	1%
Pneus	2%	2%	3%	2%	3%	3%
Pedágios	1%	1%	1%	1%	1%	1%
<i>Custos de Motorista</i>						
Salários	29%	27%	26%	26%	27%	31%
Benefícios	10%	9%	7%	8%	8%	8%

Extraído de: FENDER e PIERCE, 2016.



Considerando que a automação total de nível 4 fosse alcançada em caminhões, seria possível cortar completamente os gastos com motoristas, resultando em uma diminuição imediata de 39% nos custos de transporte, se considerada a composição do ano mais recente da tabela 2.4. Mesmo que a automação total não fosse alcançada e fosse necessário manter motoristas, níveis menores de automação melhorariam consideravelmente as condições de trabalho dos mesmos, que usualmente enfrentam longas jornadas de trabalho na direção (PLOEG et al., 2011).

Com respeito ao consumo de combustível a automação de caminhões também tem o potencial de causar diminuições consideráveis de custos através a adoção da navegação em pelotões de caminhões, devido a diminuição da ação da resistência do ar sobre os comboios. Além disso, espera-se que os VAs sejam capazes de realizar as ações de frenagem, aceleração e curvas de maneira mais eficiente que motoristas humanos, diminuindo tanto o consumo de combustível como custos de manutenção de elementos como freios e pneus.

Anderson et al. (2014) estima que a redução do consumo de combustível apenas devido a otimização das frenagens e acelerações seria de 4% a 10%, enquanto Nady Boules, diretora do Laboratório de Integração Elétrica e de Controle da GM, estimou que adotar um espaçamento de 4 metros entre caminhões geraria uma economia de combustível de 10% a 15% por caminhão (BULLIS, 2011). De maneira similar, Ploeg et al. (2011) estima uma redução de mais de 10% no consumo de combustível por caminhão devido a diminuição dos espaçamentos. Kunze *et al.* (2009) demonstrou com sucesso uma corrida teste com espaçamentos de 10 metros entre vários caminhões em rodovias públicas alemãs e caminhões autônomos da Volvo registraram em 2012 cerca de 10.000 km percorridos em rodovias espanholas (NEWCOMB, 2012).

Fagnant e Kockelman (2015) consideraram uma redução nos custos de seguro para automóveis comuns de 50% com sua automação. Entretanto, os custos de seguro para transportes de carga não devem sofrer uma diminuição tão considerável, pois os seguros normalmente incluem a carga também e não apenas o veículo. Baseando-se nas estimativas apresentadas pelos autores citados e nos fatores discutidos nesse seção, foi realizada uma estimativa da redução custos total com o transporte de cargas considerando uma redução nos custos de seguro de 20%, nos custos de combustível de 15%, nos custos de nos custos de manutenção e troca de pneus de 10% e nos custos de motorista de 100%, de modo que foi obtida uma redução de até 45,25% no preço do transporte de cargas por meio da automação

total de veículos, considerados os dados da composição do ano mais recente da tabela 2.4. Essa estimativa foi feita de maneira conservadora, já que existem poucos estudos sobre a economia real a ocorrer com seguros, combustível e manutenção, e a redução dos custos pode ser ainda maior. Por outro lado, não foram considerados nessa estimativa possíveis custos adicionais de manutenção e operação das tecnologias necessárias para o funcionamento de VAs.

Por último, a utilização da navegação em pelotão com VAs de transporte de carga demandaria melhorias na infraestrutura de vias, já que acarretaria em uma concentração elevada peso. Além disso, pelotões longos poderiam atrapalhar o fluxo e especialmente a entrada e saída de outros veículos nas vias, e inviabilizar ultrapassagens em vias de apenas uma faixa por sentido (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015). Assim, seria ideal a construção de vias ou faixas exclusivas para o tráfego dos VAs de transporte de carga, o que acarretaria ainda em uma diminuição de custos ainda maior devido a diminuição do congestionamento, apesar dos gastos de construção.

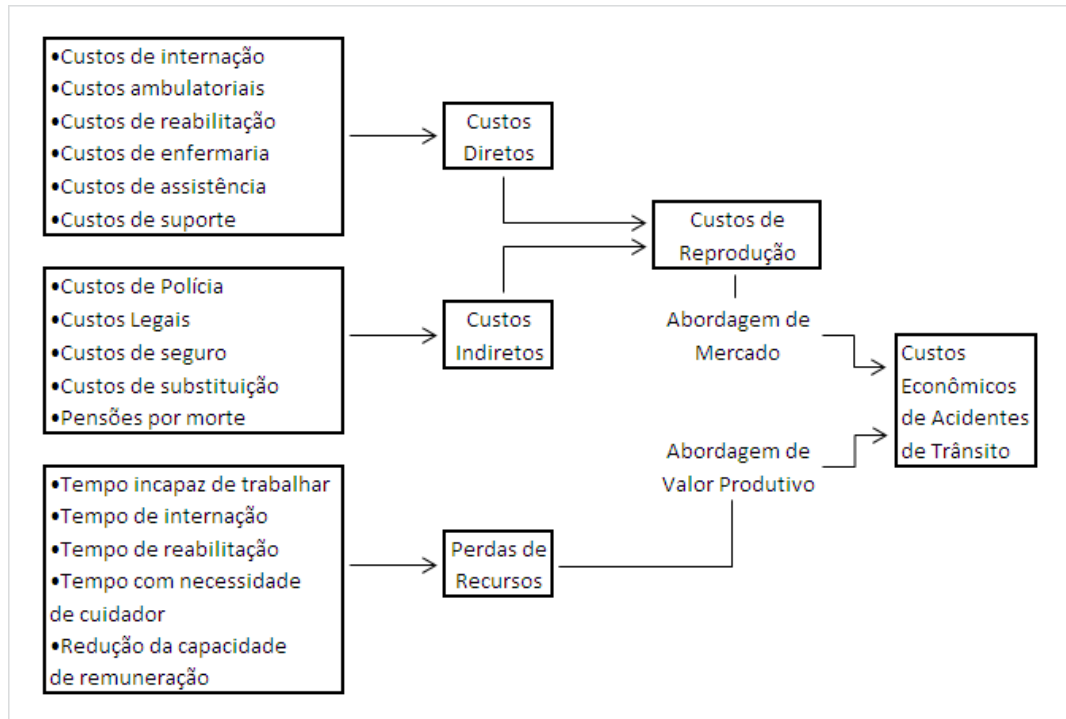
#### e) Economia e custos

Existem diversos potenciais impactos dos VAs sobre a economia e os custos de transporte. A possível redução dos congestionamentos e dos acidentes de trânsito tem o potencial de reduzir significativamente gastos relacionados ao transporte tanto em uma perspectiva global quanto individual. Também é esperado que ocorra uma redução no consumo de combustíveis em decorrência da maior eficiência de frenagem e aceleração, da formação de pelotões de VAs e da diminuição dos congestionamentos. Os gastos com estacionamento também sofreriam redução expressiva com VAs de automação total, já que eles possuiriam a capacidade de deixar os passageiros no destino e buscar espaços distantes das regiões mais valorizadas, eliminando a necessidade de estacionamentos caros nos centros urbanos. Gastos com seguros também seriam provavelmente reduzidos devido à diminuição expressiva do risco de acidentes (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015 e ANDERSON et al., 2014 e FORREST; KONCA, 2007).

Estimar os custos totais dos acidentes de trânsito não é simples, tendo em vista que toda vida perdida envolve tanto os custos financeiros diretos para a comunidade como efeitos sociais terríveis sobre as pessoas. A inteligência, força de trabalho e valor social do indivíduo são de difícil quantificação econômica. Mesmo em acidentes não fatais, as lesões têm graves custos financeiros, uma vez que muitas vezes envolvem altos custos de tratamento de

tratamento e por vezes impedem as pessoas de trabalhar por períodos longos. (FORREST; KONCA, 2007). Além disso, os custos dos danos materiais, tanto dos veículos quanto externos, também são consideráveis. A figura 2.4 mostra os principais custos humanos dos acidentes de trânsito:

**Figura 2.4:** Custos humanos de acidentes de trânsito.



Fonte: FORREST e KONCA, 2007.

Um levantamento da NHTSA (2015) estimou que, anualmente, os acidentes de trânsito geram um custo direto de cerca de 242 bilhões de dólares, sendo que 137 bilhões são decorrentes dos ferimentos e mortes (incluindo todos os aspectos abordados na figura 2.4), 76 bilhões são decorrentes dos danos à propriedade e 28 bilhões são devido ao congestionamento gerado pelos acidentes. Ainda nesse estudo, são estimados os custos abrangentes dos acidentes de trânsito, procurando levar em conta os custos sociais dos ferimentos e fatalidades e a diminuição da qualidade de vida das vítimas e pessoas próximas. Os custos abrangentes estimados foram de cerca de 748 bilhões de dólares, representando uma parcela de 5% do PIB americano no ano de 2010, em que o levantamento foi realizado. Na seção 2.2.4d está apresentada uma estimativa dos custos totais diretos no Brasil com acidentes em 2015 com valor de 56 bilhões de reais (PORTAL ÍRIS, 2017), correspondente a cerca de 3% do PIB do país nesse ano.

A possibilidade dos VAs diminuir os congestionamentos, tratada na seção 2.2.2c, também causaria considerável economia. Em uma estimativa feita nas regiões de Chicago e da Filadélfia, Weisbrod et al. (2003) encontrou, respectivamente, uma redução de até 3,41% e 2,21% nos custos de viagem de casa para o trabalho, representando um total de cerca de US\$ 40 mil e US\$ 41 mil de economia por dia. A empresa HDR (2009) realizou um levantamento dos custos totais de congestionamentos levando em consideração os custos de: tempos de viagem, imprevisibilidade, operação de veículo, mobilidade e emissões de poluentes. A tabela 2.5 apresenta os resultados dessa estimativa, feita para as áreas urbanas dos Estados Unidos.

**Tabela 2.5:** Custos anuais totais de congestionamento nos Estados Unidos.

Categoria de custo	Custo total (US\$ M)	Custo por usuário (US\$)
Tempo de viagem	\$60562	\$541,35
Imprevisibilidade	\$10098	\$90,26
Operação de veículo	\$11251	\$101
Mobilidade	\$3155	\$2,95
Emissões de poluentes	\$330	\$28,20
<b>Total</b>	<b>\$85395</b>	<b>\$763,33</b>

Fonte: HDR, 2009.

Além disso, é possível que os VAs causem redução significativa no consumo de combustível dos veículos. A estimativa dos custos totais de congestionamento leva em conta também o consumo de combustível excessivo decorrente dos tempos mais longos de viagem e das constantes paradas e acelerações necessárias nessas condições. A diminuição do congestionamento não é, entretanto, o único aspecto que pode contribuir para a redução do consumo energético com transporte em decorrência da adoção dos VAs. Segundo Wadud et al. (2016), os principais fatores que podem diminuir o consumo de combustível com a automação dos carros são: redução de congestionamentos, direção ecológica (visando a eficiência de combustível com a otimização de frenagens e acelerações), direção em pelotões, velocidades máximas mais altas, diminuição do peso e tamanho dos veículos, abastecimento inteligente e diminuição da ênfase na aceleração dos motores. O mesmo autor alerta, porém, que a demanda induzida pelos VAs e novas necessidades, como maior conforto, podem gerar um aumento no consumo energético que supere essas reduções.

Fagnant e Kockelman (2015) estimaram a economia total esperada nos Estados Unidos devido a diminuição dos acidentes de trânsito e do congestionamento. A partir de suas estimativas de redução de acidentes apresentadas a seguir na seção 2.2.2f na tabela 2.10 eles estimaram a economia causada pelo aumento da segurança em decorrência dos VAs. Para isso, fizeram uma estimativa considerando apenas custos diretos com patrimônio e saúde

outra considerando custos abrangentes mais altos, buscando refletir os custos da dor e sofrimento e o valor total de uma vida estatística. A partir de suas estimativas de redução de congestionamento apresentadas anteriormente na seção 2.2.2c e ainda considerando uma economia de 13%, 18% e 25% de combustível devido a essa redução para penetrações de mercado (taxa de veículos autônomos com relação ao total de veículos em circulação) de 10%, 50% e 90%, respectivamente, eles fizeram também uma estimativa da economia total decorrente da redução de congestionamentos, considerando o valor do tempo e do combustível economizados. Por último, eles estimaram os a economia com estacionamento. Os resultados dessas estimativas estão apresentados na tabela 2.6:

**Tabela 2.6:** Estimativas de economia devido à redução de acidentes, congestionamento e custos de estacionamento nos EUA devido aos VAs.

<b>Penetração no mercado</b>	<b>10%</b>	<b>50%</b>	<b>90%</b>
Economia direta devido à redução de acidentes	US\$5,5 B	US\$48,8 B	US\$109,7 B
Economia abrangente devido à redução de acidentes	US\$17,7 B	US\$158,1 B	US\$355,4 B
Economia devido à redução de congestionamento	US\$16,8 B	US\$37,4 B	US\$63,0 B
Economia com custos de estacionamento	US\$3,2 B	US\$15,9 B	US\$28,7 B
<b>Economia direta anual</b>	US\$25,5 B	US\$102,2 B	US\$201,4 B
<b>Economia abrangente anual</b>	US\$37,7 B	US\$211,5 B	US\$447,1 B

Fonte: FAGNANT e KOCKELMAN, 2015.

Embora a essa economia global devido aos benefícios dos VAs seja significativa mesmo para taxas de penetração de mercado baixas, a adoção dos VAs depende, principalmente, dos benefícios individuais percebidos pelos seus usuários. Enquanto reduções de congestionamento, reduções de consumo de combustível devido a diminuição de congestionamentos e reduções de acidentes vão acontecer de forma gradual e lentamente perceptível, existem benefícios imediatos mesmo para os primeiros usuários dos VAs, independentemente da penetração de mercado. A redução do consumo de combustível esperada independentemente de reduções de congestionamento, reduções em custos de manutenções de freios e trocas de pneus, reduções nos preços de seguros, reduções nos gastos com estacionamentos e a possibilidade de realizar outras atividades no tempo utilizado com direção são benefícios imediatos e facilmente perceptíveis que provavelmente serão os motivos que levarão os usuários a optar por adquirir um VA.

Para tentar estimar esses benefícios individuais para donos de VAs independentemente da penetração de mercado, Fagnant e Kockelman (2015) utilizaram as seguintes suposições: 13% de economia de combustível considerando um gasto médio anual de US\$2400, 50% de economia com gastos de seguro considerando um gasto médio anual de US\$1000 e economia

de um total de cerca de 350 horas anuais gastas com direção, estimadas baseando-se na divisão da média anual de quilômetros percorridos por veículo nos EUA (17 mil quilômetros) pela velocidade média (48 km/h). Foram realizadas as estimativas de taxa de retorno com relação ao custo adicional de compra esperado para VAs em um tempo de uso de 15 anos por veículo, considerando diversos cenários: custo adicional para compra do VA de US\$100k, US\$37,5k e US\$10k; custos de estacionamento diários de US\$0, US\$1, US\$5 e US\$10; e valores da hora de viagem economizada de US\$0, US\$1, US\$5 e US\$10. Os resultados estão apresentados na tabela 2.7:

**Tabela 2.7:** Taxa de retorno individual e direta para investimento na compra de VA, em 15 anos de uso.

Custos adicionais	Benefícios (gastos diários com estacionamento e valores de hora de viagem economizada, em US\$)							
	\$0 e \$0	\$0 e \$1	\$1 e \$1	\$5 e \$1	\$1 e \$5	\$5 e \$5	\$5 e \$10	\$10 e \$10
US\$100k+	-19%	-17%	-15%	-11%	-9%	-6%	-2%	0%
US\$37,5k	-12%	-8%	-6%	0%	2%	6%	12%	16%
US\$10k	3%	8%	11%	23%	28%	38%	56%	68%

Fonte: FAGNANT e KOCKELMAN, 2015.

Como evidenciado na tabela, com os custos adicionais de aquisição da tecnologia VA atual (mais de US\$100.000) a compra de VAs ainda seria inviável economicamente. Se os custos caíssem para um patamar mais baixo (US\$37.500) se tornaria um investimento seria viável para pessoas com altos custos de estacionamento/valor do tempo alto. Com uma queda de custos para um patamar esperado com a produção em massa (US\$10.000) a tecnologia se tornaria um investimento realista para a maioria da população, com valor do tempo e gastos de estacionamento mais baixos.

Além desses benefícios econômicos diretos, existem outros potenciais impactos positivos sobre a economia. Se a diminuição de acidentes com a implantação da automação, mesmo de níveis mais baixos, atingir os patamares esperados, é possível que ocorra uma diminuição nos pesos e tamanhos dos veículos devido à diminuição das necessidades de segurança (WADUD et al., 2016), reduzindo o consumo de combustível e aumentando a capacidade das vias. De acordo com Bangloee et al. (2016) e Arderson et al. (2014) até 20% do peso dos automóveis atuais é atribuído a elementos de segurança e, de maneira geral uma redução de peso de 10% gera uma economia de cerca de 6% a 7% de combustível, de modo que as reduções do consumo de combustível poderiam ser bem maiores que as discutidas anteriormente, se considerada uma combinação do aumento da eficiência de frenagem, aceleração e curvas, a diminuição dos congestionamentos e a diminuição do peso dos veículos. Essa diminuição considerável de consumo de combustível também poderá ser

benéfica para a diminuição de impactos ambientais, representando assim mais uma redução de gastos relacionados à poluição.

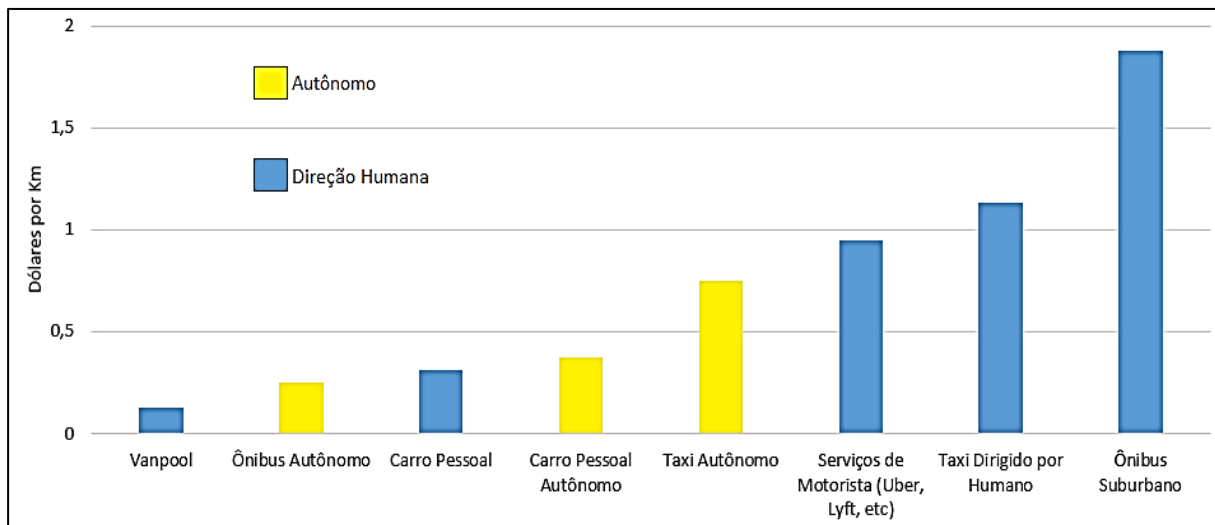
O advento dos VAs também causará mudanças no mercado automobilístico, embora ainda não esteja claro de que maneira. Como discutido na seção 2.2.2c é possível que os VAs gerem tanto um aumento como uma diminuição da posse de veículos, o que influenciaria no mercado. As quedas nos acidentes gerariam uma diminuição do preço dos seguros e poderiam inviabilizar os modelos de negócios atuais. Milhares de empregos de motorista seriam extintos. A renda gerada por estacionamentos particulares também poderia diminuir consideravelmente, diminuindo também arrecadações das prefeituras, além de causar mudanças no uso do solo especialmente nos centros urbanos. A redução dos custos de serviços de taxi e carros particulares poderia aquecer consideravelmente esse mercado, e os custos do transporte público também poderiam diminuir consideravelmente. (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015 e BANGLOEE et al., 2016 e ANDERSON et al., 2014 e FORREST; KONCA, 2007). Todas essas mudanças tem o potencial de causar impactos consideráveis sobre a economia e se apresentam como campos vastos de estudo.

Litman (2017) adota uma visão um pouco mais pessimista dessa redução de custos relacionada à automação de veículos, pois considera que as tecnologias associadas aos VAs demandaram novos custos de manutenção que serão maiores do que as reduções de custos diretos para os proprietários, de modo que os custos de viagem por quilômetro seriam maiores com VAs do que com veículos particulares comuns (de 20% a 25% maiores). Esses custos incluiriam principalmente a manutenção das novas tecnologias, que seria essencial para garantir a segurança, e custos relacionados a serviços de GPS, navegação e servidores. Além disso, ele ainda estima que haverá diminuição nos preços de serviços de taxi e carros particulares, mas não até um patamar menor do que os custos de viagem com carros particulares. Também estima que a redução de custos mais considerável seria no transporte público. A comparação entre os custos de deslocamento por quilômetro em diversos modais autônomos ou não está ilustrada no gráfico da figura 2.5 a seguir.

Entretanto, se considerado o valor do tempo de viagem que poderia ser aproveitado nos VAs seria obtido um preço menor por milha. Se for considerado, conforme na estimativa de Fagnant e Kockelman (2015), uma velocidade média de 48 km/h e o valor de US\$1/h do tempo de viagem aproveitado, haveria uma economia de cerca de 6%. Assim, se considerados indivíduos com o valor do tempo mais alto (a partir de US\$3/h) ou incorporando custos de

estacionamento nessa estimativa os VAs se tornariam um investimento melhor que veículos pessoais comuns, mesmo considerando essa estimativa mais pessimista.

**Figura 2.5:** Estimativas de preços (US\$) por km percorrido para diferentes modais de transporte.



Fonte: LITMAN, 2017.

De modo geral, espera-se que os VAs apresentem impactos positivos sobre a economia. Apenas a redução de congestionamentos e de acidentes de trânsito já tem o potencial para gerar bilhões de dólares de economia anualmente, e é possível que os VAs gerem economias consideráveis para seus proprietários e usuários. A rentabilidade dos VAs pode depender dos custos adicionais advindos das novas tecnologias, dos gastos do usuário com estacionamento e do valor de seu tempo, bem como de seu real efeito sobre a economia de combustível e sobre o preço dos seguros. Espera-se também que ocorram reduções de custos significativas no transporte público e em serviços de taxi e carros particulares com a automação.

#### f) Segurança

Os VAs tem o potencial de reduzir de maneira expressiva os acidentes de trânsito. Nos Estados Unidos, cerca de 93% dos acidentes de trânsito tem como causa primária algum fator humano (NHTSA, 2008). 40% dos acidentes fatais envolvem uma combinação de álcool, distração, uso de drogas e/ou fadiga (NHTSA, 2012b). Mesmo quando a causa primária do acidente é atribuída ao veículo, à estrada ou ao ambiente, fatores humanos como excesso de velocidade, desatenção ou distração frequentemente contribuem para o acontecimento e gravidade do acidente (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015). A tabela 2.8 apresenta dados da quantidade de acidentes anuais nos Estados Unidos e suas causas, sendo que pode haver o



envolvimento de múltiplas causas em um mesmo acidente e a tabela 2.9 apresenta dados das causas de acidentes no Reino Unido em 2015.

**Tabela 2.8:** Dados sobre acidentes de trânsito anuais nos EUA e causas.

Total de acidentes de trânsito por ano nos EUA	5.5 milhões
% com fator humano como causa primária	93%
<hr/>	
Total de acidentes de trânsito fatais por ano EUA	32.367
% envolvendo uso de álcool	31%
% envolvendo excesso de velocidade	30%
% envolvendo motorista distraído	21%
% envolvendo fuga da faixa de trânsito correta	14%
% envolvendo erro ao não ceder a preferência	11%
% envolvendo superfície da via molhada	11%
% envolvendo operação errática do veículo	9%
% envolvendo inexperiência	8%
% envolvendo uso de drogas	7%
% envolvendo gelo, neve e superfícies escorregadias	3,7%
% envolvendo motorista cansado ou dormindo	2,5%
% envolvendo outras infrações de trânsito	21%

Fonte: NHTSA (2012b e 2008).

**Tabela 2.9:** Dados sobre acidentes de trânsito no Reino Unido em 2015 e suas causas.

Total de acidentes de trânsito	108.211
% envolvendo distração, álcool, drogas e fadiga	13%
% envolvendo infrações de trânsito	23%
% envolvendo erros de decisão ou reação do motorista	72%
% envolvendo erros de comportamento e inexperiência	25%
% envolvendo erros de pedestres	12%
% envolvendo visão do motorista prejudicada por fatores externos	10%
% envolvendo outras situações especiais	5%
% envolvendo problemas na estrada	12%
% envolvendo defeitos no veículo	2%
<hr/>	
Total de acidentes de trânsito fatais	1.469
% envolvendo distração, álcool, drogas e fadiga	25%
% envolvendo infrações de trânsito	28%
% envolvendo erros de decisão ou reação do motorista	68%
% envolvendo erros de comportamento e inexperiência	28%
% envolvendo erros de pedestres	18%
% envolvendo visão do motorista prejudicada por fatores externos	8%
% envolvendo outras situações especiais	7%
% envolvendo problemas na estrada	9%
% envolvendo defeitos no veículo	2%

Fonte: UK DEPARTMENT FOR TRANSPORT, 2016.

Tendências parecidas quanto às causas de acidentes podem ser observadas em diversos países. Ainda, na seção 2.2.4d se encontra a tabela 2.14, que apresenta dados de causas de acidentes de trânsito em rodovias federais de acordo com a Polícia Rodoviária Federal. Esses dados apresentam proporções similares de acidentes com causa primária humana com relação aos outros países mencionados.

Veículos autônomos não cometem erros de julgamento humanos, não ficam desatentos, não são afetados por álcool, drogas e fadiga e não cometem infrações de trânsito intencionalmente, fatores humanos que, conforme apresentado nas tabelas 6 e 7, possuem as maiores taxas de envolvimento com os acidentes de trânsito. Mesmo que os VAs apresentem defeitos que possam ser análogos aos erros humanos, apenas a eliminação de acidentes com causa principal do álcool, drogas, distração, fadiga e infrações intencionais de trânsito já poderiam ocasionar numa redução de ao menos 20% a 40%, especialmente nos acidentes fatais, que tem maior proporção de causa por esses fatores. Hayes (2011) sugere que as taxas de mortalidade por acidentes veiculares podem se aproximar àquelas da aviação ou transporte ferroviário (cerca de 1% das atuais), o que parece plausível considerando a altíssima quantidade de acidentes com causa primária humana.

Enquanto a diminuição dos acidentes de trânsito advinda dos VAs parece certa, a sua magnitude dependerá principalmente de dois fatores: do nível de automação e da penetração de mercado. Embora a automação total seja a que traria os maiores benefícios, projetar um sistema que opere com segurança em qualquer situação ainda é um desafio. Por exemplo, o reconhecimento de seres humanos quanto de objetos na estrada é mais crítico e mais difícil para VAs do que para motoristas humanos (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015). Níveis mais baixos de automação são uma realidade mais próxima e também tem o potencial de gerar grande benefícios para a segurança.

Apenas com a adoção generalizada de uma série de tecnologias de segurança de nível 0 e 1 de automação já se estima que seja possível conseguir uma redução de até um terço nos acidentes de trânsito (BANGLOEE et al., 2016), e combinando múltiplas tecnologias de nível 1 para conseguir uma automação de nível 2 poderia ser possível alcançar reduções ainda maiores (ANDERSON et al., 2014). A maioria dessas tecnologias desses níveis já está sendo adotada e espera-se que elas se tornem comuns e até obrigatórias em todos os veículos em um futuro próximo.

Com o nível 3 de automação espera-se que já ocorram as reduções mais significativas nos acidentes, tendo em vista que o carro já assumiria funções críticas em grande parte do tempo, eliminando grande parte dos acidentes causados por causas humanas que, como visto, são a grande maioria (ANDERSON et al., 2014).

Entretanto, a automação de níveis 2 e 3 ainda exige que o motorista assuma o controle em determinadas situações, e se os motoristas passarem a confiar demasiadamente nos sistemas autônomos dos seus veículos podem passar a ser negligentes e desatentos para essas situações, o que pode gerar novos tipos de acidentes (ANDERSON et al., 2014). Para evitar isso, é importante que os veículos com esses níveis de automação possuíssem sistemas de alerta que permitissem ao motorista ter tempo hábil para reassumir o controle do carro quando necessário e até que monitorassem se o motorista continua a manter a atenção.

A sensação de segurança passada pelos VAs também poderia levar a comportamentos prejudiciais à segurança, como negligência do uso de cintos de segurança, maior desatenção de motoristas de veículos não autônomos, tentativas de motoristas de veículos não autônomos de se juntar a pelotões de carros autônomos, menos cautela pela parte de pedestres, entre outros (LITMAN, 2017). Para evitar esses efeitos seria importante realizar campanhas de conscientização de trânsito para manter a atenção das pessoas aos riscos existentes mesmo com os VAs.

Com o nível 4, de automação total, é provável que a grande maioria dos acidentes fossem evitados, já que os VAs não necessitariam de controle humano em nenhuma ocasião, eliminando todos os acidentes com causas primárias de origem humana. Considerando adoção generalizada de VAs desse tipo seria possível alcançar os baixíssimos índices de fatalidade no trânsito estimados por Hayes (2011).

Em suas estimativas, Fagnant e Kockelman (2015) procuraram determinar a redução nos acidentes e nas vítimas fatais nos Estados Unidos para uma taxa de penetração de 10%, 50% e 90% de veículos totalmente autônomos no mercado. Para isso, consideraram que, dependendo do nível de penetração dos VAs seus benefícios para segurança teriam níveis diferentes. Para 10% de penetração, considerou-se uma redução de 50% em acidentes para cada VA, para 50% de penetração considerou-se uma redução de 75% e para 90% de penetração considerou-se 90% de redução, o que corresponde ao índice de acidentes com causas primárias de origem humana. Também foi considerado que acidentes de motocicleta e

envolvendo pedestres sofreriam redução apenas parcial com a implantação dos VAs. Os resultados das estimativas estão na tabela 2.10:

**Tabela 2.10:** Estimativas de redução de acidentes e vítimas fatais de trânsito nos EUA devido aos VAs.

<b>Penetração no mercado</b>	<b>10%</b>		<b>50%</b>		<b>90%</b>	
Redução de Acidentes	211.000	3,84%	1.880.000	34,18%	4.220.000	76,73%
Redução de Mortes	1.100	3,40%	9.600	29,66%	21.700	67,04%

Fonte: FAGNANT e KOCKELMAN, 2015.

Os VAs têm, portanto, enorme potencial para diminuição dos acidentes e aumento da segurança no trânsito, evitando milhares de mortes e de ferimentos anualmente, bem como causando consideráveis benefícios econômicos e de diminuição do congestionamento.

### **2.2.3 Obstáculos**

Conforme foi exposto na seção anterior, é esperado que os VAs tragam impactos positivos consideravelmente superiores aos negativos, tornando o sucesso na implantação dessa tecnologia de interesse geral. Entretanto, ainda existem diversos obstáculos que podem atrasar consideravelmente e até inviabilizar sua implantação. O objetivo dessa seção é enumerar e discutir esses obstáculos a partir dos conhecimentos obtidos por meio da revisão bibliográfica.

#### **a) Tecnologia**

Embora várias empresas já tenham afirmado as suas pretensões de lançar veículos autônomos no mercado dentro de um horizonte de tempo de 5 a 10 anos e o progresso da tecnologia esteja ocorrendo de forma extremamente rápida, é possível que tanto a tecnologia de sensoriamento quanto de software e inteligência artificial não sejam capazes de proporcionar uma automação de nível 4 com segurança e preços acessíveis dentro desse horizonte (SIMONITE, 2016). Com as tecnologias atuais poderiam ser adotados nível 2 de automação com facilidade e possivelmente nível 3, de modo que é provável que esses primeiros VAs apresentem automações desses níveis (ANDERSON et al., 2014). Litman (2017) afirma que veículos completamente autônomos podem não estar disponíveis comercialmente até a década de 2030 ou até 2040.

Enquanto os testes com VAs em vias públicas avançam com grande velocidade e com pouquíssimos acidentes, especialmente com os VAs da Google e da Uber, o número de vezes que os motoristas de testes precisam assumir o controle dos veículos ainda é muito expressivo, apesar de em constante redução (WAYMO, 2017; BHUIYAN, 2017). Isso ilustra

a dificuldade de desenvolver veículos capazes de efetuar todas as funções de direção e decisão em eficiência e segurança em toda e qualquer substância, e pode indicar que a automação parcial é uma realidade mais próxima do que a automação total. Mesmo assim, as tecnologias de sensoriamento vêm apresentando avanços significativos e rápidos, mostrando cada vez maior capacidade de adaptação a condições ambientais adversas (NAUGHTON; BERGEN, 2017).

Por último, é possível que a automação total só possa ser alcançada com segurança por meio do uso de comunicações V2V e V2I (ZHENG et al., 2015), o que implicaria em mudanças expressivas de infraestrutura e também em veículos não autônomos. Provavelmente se passariam muitos anos até que uma parcela suficientemente grande dos veículos em circulação estivessem equipados com essas tecnologias para possibilitar seu uso para auxiliar os VAs, mesmo que elas se tornassem obrigatórias em veículos novos.

#### **b) Preços dos veículos e risco de falha no mercado**

Uma das barreiras mais importantes a serem vencidas para possibilitar a implantação em grande escala de VAs certamente será a redução de seus preços. Mesmo com todo o entusiasmo e os potenciais benefícios esperados dessa tecnologia, é perfeitamente possível que ela simplesmente não seja adotada devido a preços muito altos. Mesmo que os impactos positivos sobre a segurança e o congestionamento apresentassem benefícios econômicos à nível global mesmo com preços altos por VA, se os custos de aquisição não forem superados por benefícios econômicos diretos e perceptíveis para os usuários é improvável que haja demanda para esses produtos (ANDERSON et al., 2014).

Anderson et al. (2014) afirma que muitas das demonstrações de VAs atuais envolvem o uso de tecnologias que duplicariam ou até triplicariam o preço com relação a carros comuns. Fagnant e Kockelman (2015) informam que muitos dos sistemas LIDAR utilizados nos protótipos de VAs atuais custam, sozinhos, de 30 a 85 mil dólares cada. Ainda, estimam que a maioria das aplicações civis e militares de VAs até 2013 custavam mais de 100 mil dólares. Se estes custos adicionais não caírem para patamares muito mais próximos dos preços de mercado é extremamente improvável que os VAs sejam adotados de forma significativa. De acordo com uma pesquisa do grupo J.D. Power and Associates (2012), 37% das pessoas "definitivamente" ou "provavelmente" comprariam um veículo equipado com capacidades autônomas em seu próximo veículo sem que fossem mencionados preços adicionais, mas

apenas 20% continuariam a comprar se assumido um aumento de US\$3000 no preço do veículo.

Embora as tecnologias mais caras, como o LIDAR, venham sofrendo quedas significativas e rápidas de preço (ACKERMAN, 2016) e preços ainda menores possam ser alcançados com a produção em massa, ainda é necessário que os custos adicionais dos VAs se tornem consideravelmente menores que os atuais para que eles se tornem viáveis no mercado e que mais estudos ajudem a comprovar e difundir conhecimentos a respeito dos benefícios econômicos diretos para os usuários.

#### **c) Regulação, licenciamento e padrões de qualidade**

A regulação dos VAs em sua fase de testes e a definição de padrões de qualidade apresenta-se como um importante desafio em seu desenvolvimento. Testes com veículos autônomos já estão ocorrendo em vários estados dos EUA e diversos países da Europa, levantando a necessidade de leis e regulações que estabeleçam os parâmetros dentro dos quais esses testes podem ocorrer. Alguns requerem a presença de um motorista humano como responsável por assumir a operação do veículo em determinadas situações (BANGLOEE et al., 2016). Fagnant e Kockelman (2015) destacam que as diferentes exigências de certificação de padrões de qualidade entre diversos estados e países pode ser uma dificuldade a mais tanto na fase de testes quanto de implantação dos VAs.

Conforme indicado por Anderson et al. (2014), normas que definiam padrões de segurança e performance nos testes podem ser importantes para evitar que, já na fase de desenvolvimento, os VAs causem acidentes. Ao mesmo tempo, o excesso de regulação e padrões nessa fase preliminar poderia atrapalhar o desenvolvimento da tecnologia, desencorajando abordagens novas e não padronizadas.

#### **d) Questões legais, de responsabilidade e de seguros**

Questões relacionadas a seguros, responsabilidade e propriedade para VAs testados em campos de treinamento são razoavelmente simples, entretanto a lei é bem menos clara quando para VAs testados em vias públicas. Para que os VAs passem a ser usados de maneira generalizada, é necessário que haja uma considerável discussão e debate sobre diversas questões relacionadas a propriedade, responsabilidade e seguros. Bangloee et al. (2016) apresenta algumas questões chave nesses aspectos:

- No caso de um veículo ocupado em que o “condutor” não possua o controle efetivo, o condutor é responsável por um acidente ou o proprietário do veículo?
- No caso de um veículo desocupado, quem é responsável por um acidente?
- Um seguro abrangente deve se tornar obrigatório?
- Numa situação em que um pedestre é ferido por um veículo desocupado, quem é culpado e quem pode ser acusado pelo crime?
- Haverá uma ofensa como condução negligente, sendo que para haver negligência é necessário que haja ações de um indivíduo?
- Quem será responsável se o VA for usado em um crime, como um roubo de banco?
- As mesmas leis se aplicam a um VA ocupado onde o VA não estava sob o controle do ocupante, mas o ocupante está sob a influência de álcool ou drogas ou sofrendo de privação de sono?
- Quais tribunais terão jurisdição para tratar de assuntos relativos a VAs, ou será necessário estabelecer tribunais especiais para lidar com os detalhes da tecnologia?
- Os parâmetros de seguros de compensação de acidentes que compensam as pessoas por lesões sofridas em acidentes com veículos motorizados terão de ser revisados e mudanças substanciais nesta legislação podem ser necessárias, especialmente quando ocorrerem acidentes com o veículo desocupado.

Enquanto nas legislações atuais a responsabilidade, independentemente do dolo ou não, de acidentes de trânsito é atribuída ao motorista, esse paradigma pode ser mudado com a introdução dos VAs. Primeiramente, essa visão é totalmente ineficaz para lidar com acidentes onde o VA não estiver ocupado. Além disso, em acidentes em que o ocupante não estiver no controle do veículo pode haver uma inclinação maior para responsabilizar os fabricantes dos VAs e não os ocupantes. Por outro lado, os fabricantes certamente terão grande hesitação em assumir a responsabilidade por todos os acidentes envolvendo VAs, e esse medo pode até mesmo causar relutância em implantar essas tecnologias por parte dos fabricantes. Além disso, mesmo que eles passassem a ser responsabilizados por acidentes causados por seus veículos os custos desse novo tipo de “seguro” seriam provavelmente repassados ao consumidor, aumentando o preço dos VAs (ANDERSON et al., 2014).

#### e) Infraestrutura

Conforme discutido na seção 2.2.2b, há uma forte possibilidade que os VAs passem a depender de capacidades de comunicação V2V e V2I, o que acarretaria na necessidade de significativas melhorias de infraestrutura física e virtual. Os custos dessa nova infraestrutura que pode se fazer necessária se apresentam como um possível obstáculo para a implantação dos VAs, bem como a questão de quem seria responsável pelo financiamento e operação dessa infraestrutura.

Além disso, problemas já existentes na infraestrutura viária atual podem se apresentar como obstáculos ainda maiores para a implantação dos VAs, agravando as dificuldades já existentes decorrentes de limitações tecnológicas. Esse problema pode ser especialmente significativo no contexto de países menos desenvolvidos com deficiências na infraestrutura viária.

#### f) Ética Robótica

Mesmo com as expressivas reduções nos acidentes esperadas com a implantação dos VAs, eles não serão inexistentes, especialmente no período de convivência entre veículos autônomos e não autônomos e em situações envolvendo pedestres. No caso de acidentes inevitáveis, dilemas éticos que precisam ser considerados pelos programadores da inteligência artificial dos VAs podem surgir. Alguns desses dilemas são: (BANGLOEE et al., 2016)

- Os VAs devem priorizar a segurança dos seus ocupantes, do maior número de pessoas (por exemplo, evitando colisões com veículos com maior ocupação a qualquer custo), ou das partes mais vulneráveis (tais como pedestres e ciclistas)?

- Em acidentes causados por veículos não autônomos, a culpa do motorista causador do acidente deve ser considerada como um fator de influência na decisão de priorização de quais danos evitar?

- Um VA deve evitar uma colisão onde haveria culpa de um motorista de outro veículo causando uma colisão em, por exemplo, um poste de luz, mesmo que isso signifique que não haverá compensação do acidente por parte do seguro do outro veículo?

- Os usuários dos VAs devem ter poder de decidir e configurar os critérios de decisão usados por seus veículos nos dilemas éticos como os listados acima?



## **g) Segurança Cibernética**

Desde 2012, os avanços na tecnologia e nas técnicas de crimes cibernéticos atacando a infraestruturas resultaram num aumento sem precedentes de violações de dados (PATRASÇU; SIMION, 2014). Em maio de 2017 ocorreu um ataque cibernético de proporções nunca antes vistas, atingindo dezenas de milhares de computadores e exigindo o pagamento de resgates por seus arquivos, obrigando empresas e hospitais a pararem seu funcionamento (FROUFE, 2017). Em um mundo com crescentes ameaças de crime e terrorismo virtual questões de segurança cibernética aparecem como obstáculos a serem vencidos para a implantação dos VAs.

As ameaças cibernéticas para os VAs ocorrem em duas frentes: na operação deles como veículos em si e nas capacidades de comunicação como veículos conectados e cooperativos entre si (BANGLOEE et al., 2016). Ataques que comprometam a capacidade de percepção, orientação e decisão dos VAs tem o potencial de causar acidentes sérios. Esses ataques podem ocorrer tanto aos VAs em si, especialmente por meio da conectividade deles com a internet, quanto a infraestrutura utilizada para comunicação e orientação, podendo enviar mensagens falsas que causem reações inapropriadas. Ataques aos comandos centrais de controle poderiam deixar os VAs incapacitados de operar de forma harmônica em conjunto.

Enquanto é possível que uma ameaça cibernética assuma o controle de um ou mais VAs com o objetivo de cometer crimes ou ataques terroristas, esse tipo de ação apresentaria sérios desafios para os agressores. Entretanto, ataques mais locais e limitados com o objetivo de causar confusão e desabilitar VAs se apresentam como possibilidades realistas, e mais prováveis ainda são ataques com o objetivo de espionagem. Ainda, os próprios usuários poderiam representar uma ameaça de segurança ao tentar acessar seus sistemas e ganhar o controle de funções travadas pelos fabricantes (ANDERSON et al., 2014 e FAGNANT; KOCKELMAN, 2015). O fato é que é essencial que questões relacionadas à segurança cibernética sejam tratadas para possibilitar o sucesso dos VAs.

## **h) Privacidade**

Devido à conectividade esperada dos VAs, uma quantidade enorme de dados sobre seus usuários será adquirida. Enquanto a coleta desses dados pode ser usada para melhorar o planejamento urbano de transportes, também há grande interesse por parte de empresas e agências de segurança pública. Isso levanta questões importantes a respeito da privacidade dos usuários e da propriedade sobre seus dados (ANDERSON et al., 2014). Fagnant e

Kockelman (2015) levantam algumas questões a respeito dos dados coletados por VAs: Quem deve possuir e controlar os dados do veículo? Que tipos de dados serão armazenados? Com quem esses dados serão compartilhados? De que forma esses dados serão disponibilizados? Para que fins eles serão usados?

Enquanto dados relacionados aos acidentes provavelmente pertencerão aos fabricantes para uso legal e para melhoria de suas tecnologias, outros dados também serão obtidos, como os dados relacionados aos deslocamentos e localização dos veículos. Se esses dados forem armazenados, possuirão grande valor comercial. Para empresas, conhecer as rotinas de deslocamento de seus potenciais clientes pode ser extremamente valioso para fins de marketing. Seguradoras podem se interessar por conhecer os padrões de deslocamento de seus clientes.

Além disso, o governo e agências de segurança pública também devem ter grande interesse nesses dados, tanto para fins de planejamento quanto para impedir crimes, capturar fugitivos e reunir provas judiciais. Apesar dos usos benéficos que essas informações podem ter pelo governo e pela lei, muitos se preocupam com os possíveis abusos que também podem ocorrer (ANDERSON et al., 2014; FAGNANT; KOCKELMAN, 2015).

#### **i) Percepção pública**

Mesmo que os VAs sejam muito mais seguros do que veículos conduzidos por motoristas humanos, é natural que haja desconfiança nesse sentido por parte das pessoas, especialmente em estágios iniciais (FAGNANT; KOCKELMAN, 2015). Essa desconfiança pode gerar diminuição da demanda e prejudicar o mercado já incerto em estágios iniciais, e até causar medo na população que leve a criação de leis que proíbam a adoção de VAs, dependendo dos níveis de acidentes e falhas em estágios iniciais.

#### **j) Extinção de empregos**

Com a automação de nível 4 tem a capacidade de substituir completamente o motorista, o que causaria a extinção de praticamente todos os empregos de motorista, tendo em vista o corte de gastos e aumento da eficiência. Apesar da diminuição de gastos totais, o desemprego gerado por esse fenômeno seria uma consequência negativa. Além disso, isso provavelmente levaria grupos de motoristas e taxistas oferecer forte resistência as tecnologias dos VAs, fazendo inclusive pressão sobre políticos para a sua proibição. Representantes dos motoristas da Uber já sinalizaram que apresentariam resistência a essas tendências

(HUSTON, 2016). Por outro lado, novas categorias relacionadas à manutenção, fiscalização, carregamento e operação desse novo sistema dos VAs poderiam surgir, gerando também novos empregos.

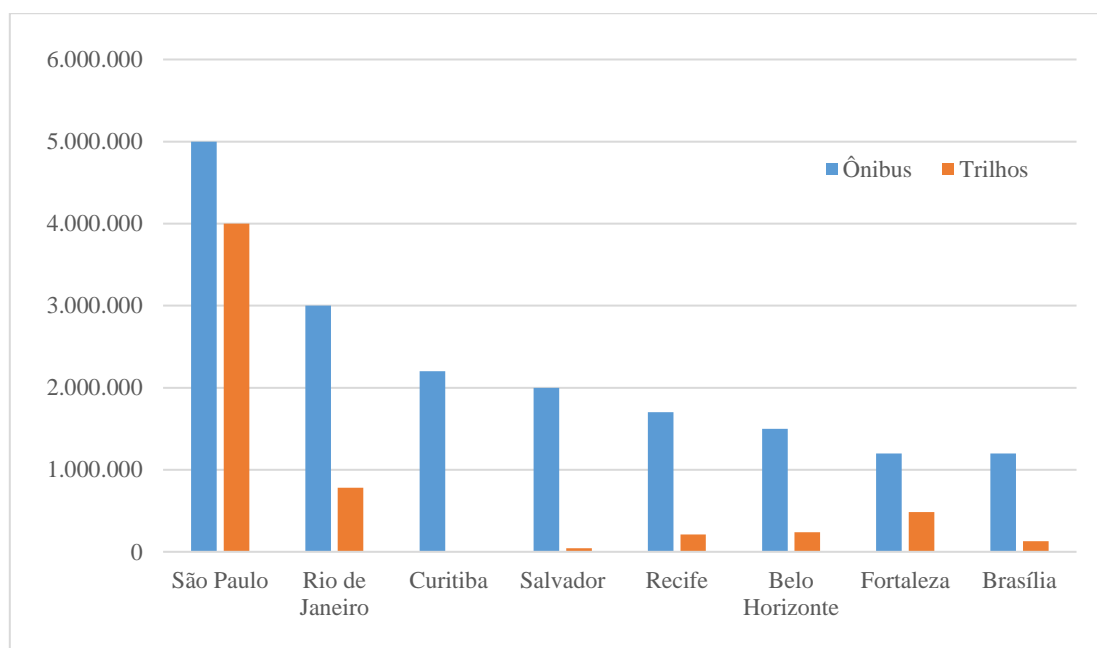
#### 2.2.4 Contexto Brasileiro

No contexto brasileiro, os VAs possuem ao mesmo tempo um potencial benéfico ainda maior que em outros países e uma série de obstáculos adicionais a implantação. Essa seção busca explorar as particularidades nacionais, aplicando os conhecimentos reunidos durante todo o trabalho à realidade brasileira e fazendo paralelos dos dados internacionais com dados nacionais.

##### a) Matriz de transportes

O Brasil é um país com uma cultura de valorização dos modais de transporte rodoviários em detrimento de outros tipos de transporte. Em 2008, haviam cerca de 1,7 milhões de quilômetros de rodovias no país, em contraste com apenas cerca de 59 mil quilômetros de rede ferroviária (ANTT, 2009). Tanto o transporte público quanto o coletivo no Brasil são fortemente dependentes da matriz rodoviária. A figura 2.6 abaixo mostra os maiores sistemas de transporte público do Brasil em termos de passes utilizados por dia, mostrando a disparidade entre os modais rodoviários e sobre trilhos:

**Figura 2.6:** Os maiores sistemas de transporte do Brasil (passes/dia) em 2015, com base em dados fornecidos pelas prefeituras.

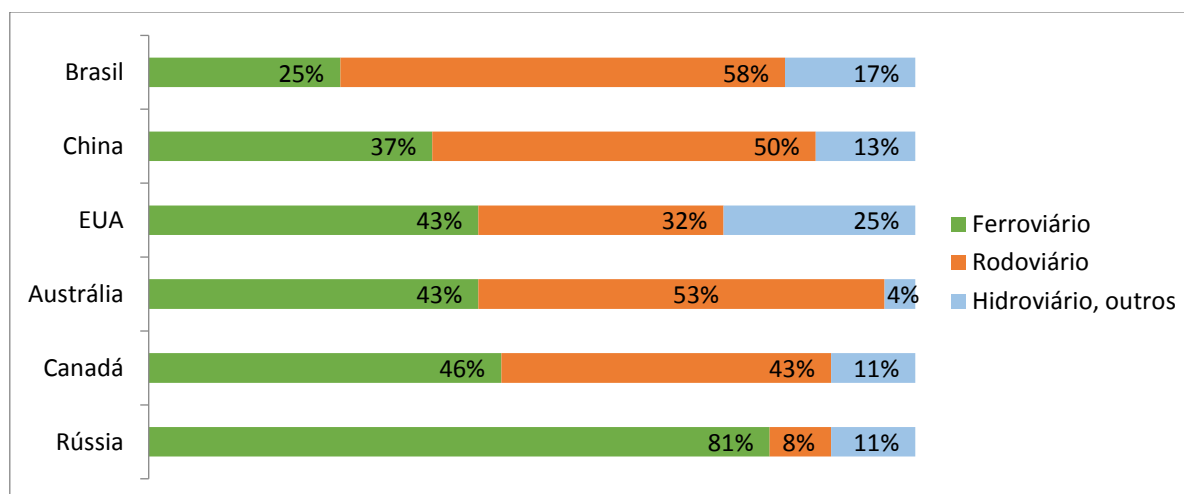


Extraído de: MOBILIZE – MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL.

Ainda, em 2016, o Brasil possuía um total de cerca de 50 milhões de automóveis e 600 mil ônibus registrados (DENATRAN, 2017) para um total de cerca de 200 milhões de pessoas (IBGE, 2017), com uma média de 250 automóveis e 3 ônibus para cada 1000 pessoas. Ainda, entre os anos de 2001 e 2011 o crescimento de 77,8% de automóveis nas metrópoles brasileiras (RODRIGUES, 2012), muito superior ao crescimento da população nesse período (IBGE, 2017).

A parcela da matriz de transportes composta por modal rodoviário do país está entre as maiores do mundo, conforme indicado na figura 2.7 (COLAVITE; KONISHI, 2015). Essa dependência da matriz rodoviária torna o Brasil um país onde os benefícios esperados dos VAs seriam ainda mais significativos.

**Figura 2.7:** Comparação do uso dos modais de transporte nos países Brasil, Canadá, Austrália, EUA e China.



Fonte: COLAVITE e KONISHI, 2015.

## b) Mobilidade Urbana e congestionamentos

Na contramão dos países desenvolvidos, a tendência do Brasil no século 21 tem sido de aumento do número de automóveis por habitante nos grandes centros urbanos (RODRIGUES, 2012), em oposição as recomendações de melhorias no transporte público e diversificação dos modais de transporte urbano. Essa tendência tem levado ao aumento considerável dos congestionamentos urbanos, bem como a diminuição da qualidade do transporte público, de maneira que a mobilidade urbana de toda a população, especialmente daquela com menor renda e moradora da periferia, tem piorado consideravelmente. Essas tendências estão diretamente em desacordo com os princípios de priorização dos modos de transporte não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público sobre o individual, definidos na Política Nacional de Mobilidade Urbana do Brasil (2012).

A tabela 2.11 mostra os tempos médios de deslocamento casa-trabalho em algumas das principais metrópoles americanas e brasileiras, para efeito de comparação. É notável como os tempos de viagem das metrópoles brasileiras são consideravelmente mais altos. Além disso, na referência de Lima e Machado (2014) há um infográfico que mostra que esses tempos de viagem apresentaram crescimento acentuado nos últimos anos.

**Tabela 2.11:** Tempos de deslocamento médios casa-trabalho em algumas metrópoles dos EUA e do Brasil.

<b>Cidade</b>	<b>População</b>	<b>Tempo de viagem médio de casa ao trabalho (minutos)</b>
Rio de Janeiro	6.498.837	49,0
São Paulo	12.038.175	45,6
Recife	1.625.583	39,9
New York	19.378.102	39,9
Salvador	2.938.092	39,0
Distrito Federal	2.977.216	37,8
Belo Horizonte	2.513.451	37,1
Belém	1.446.042	36,3
Chicago	2.695.598	34,1
Curitiba	1.893.997	33,2
Philadelphia	1.526.006	32,5
Phoenix	1.445.632	32,3
Fortaleza	2.609.716	31,6
Porto Alegre	1.481.019	30,7
Los Angeles	3.792.621	30,1
Houston	2.099.451	26,5

Fonte: UNITED STATES CENSUS BUREAU (2016) e LIMA; MACHADO (2014) e IBGE (2017).

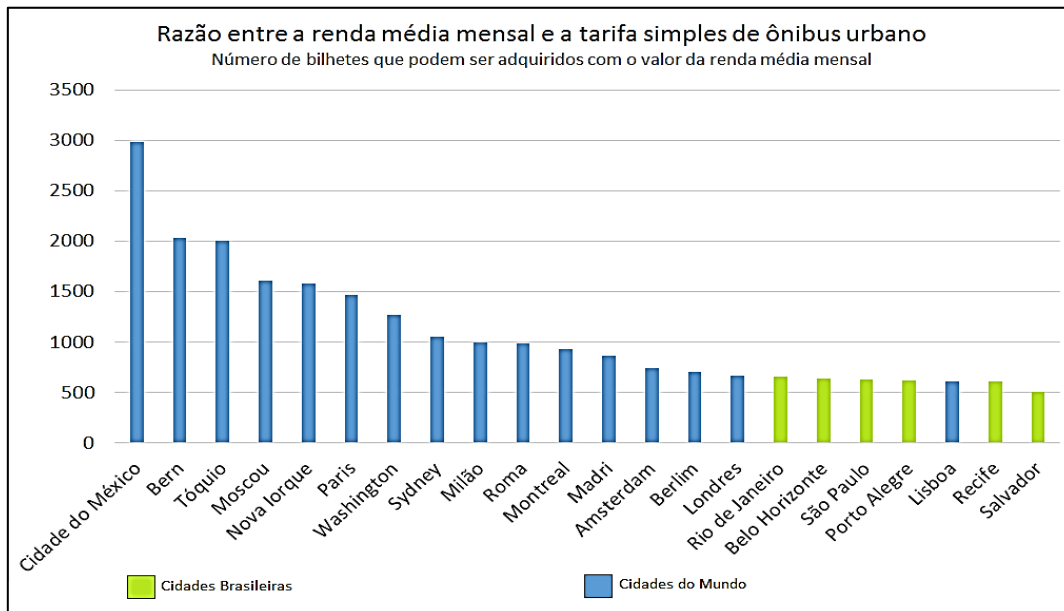
Além dos tempos de viagem altos existe ainda o problema dos altos custos do transporte público, que piora ainda mais a mobilidade da população de menor renda. A figura 2.8, na página a seguir, apresenta dados de um levantamento da razão entre a renda média mensal e a tarifa simples de ônibus urbano em diversas cidades do mundo, evidenciando os custos altos do transporte público brasileiro com relação a outras metrópoles pelo mundo.

Esse panorama mostra-se em profundo desacordo com a Política Nacional de Mobilidade Urbana do Brasil (2012), que possui como fundamentos, entre outros pontos:

- A acessibilidade universal;
- A equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo;
- A eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano;
- A segurança nos deslocamentos das pessoas;

- A mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos de pessoas e cargas na cidade; e
- A prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado.

**Figura 2.8:** Razão entre a renda média mensal e a tarifa simples de ônibus urbano pelo mundo



Fonte: MOBILIZE – MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL.

Nesse contexto, os VAs poderiam surgir como uma alternativa para melhorar o panorama da mobilidade urbana e contribuir com os objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana. Os VAs trariam um aumento muito grande na acessibilidade aos transportes, tendo em vista que pessoas com dificuldades de operar veículos e de utilizar o transporte público teriam a opção do uso do transporte autônomo individual. A implantação da automação no transporte público poderia acarretar na diminuição de custos e no aumento da eficiência e qualidade, aumentando a igualdade no acesso população a esses serviços.

Conforme discutido no decorrer desse trabalho, os VAs têm a capacidade de melhorar a eficiência, eficácia e efetividade dos transportes no ambiente urbano em diferentes áreas. O aumento de segurança dos VAs também seria um grande benefício para a mobilidade dos brasileiros, especialmente tendo em vista o nosso grave contexto de acidentes de trânsito, que será discutido na seção 2.2.4.4d. A diminuição dos congestionamentos, acidentes e consumo de combustível que poderia ocorrer com a implantação dos VAs também seria importante para ajudar a mitigar os custos ambientais, sociais e econômicos de pessoas e cargas na cidade.

Entretanto, é possível que os VAs gerem um aumento de demanda pelo transporte motorizado individual, devido a sua maior acessibilidade, conforto e aos seus benefícios econômicos, gerando um grande aumento do número de carros nas ruas. Esse cenário é ainda mais provável se a automação for disponibilizada nos veículos particulares e não for implementada no transporte público. Isso pode levar a população a trocar o transporte público e não motorizado pelo transporte individual motorizado, em discordância com os objetivos da Política Nacional de Mobilidade Urbana (2012).

### c) Infraestrutura

O Brasil é um país com sérios problemas em sua infraestrutura viária. Enquanto a esses problemas podem ser um fator de desconforto e maior risco para motoristas humanos, eles podem inviabilizar totalmente a implantação dos VAs, que apesar de mais seguros quando lidando com condições padrões têm grande dificuldade de lidar com situações adversas, como problemas nas vias. A tabela 2.12 foi elaborada com base em dados de pesquisa da CNT (2016) e mostra que o Brasil enfrenta severos problemas de qualidade das vias e infraestrutura.

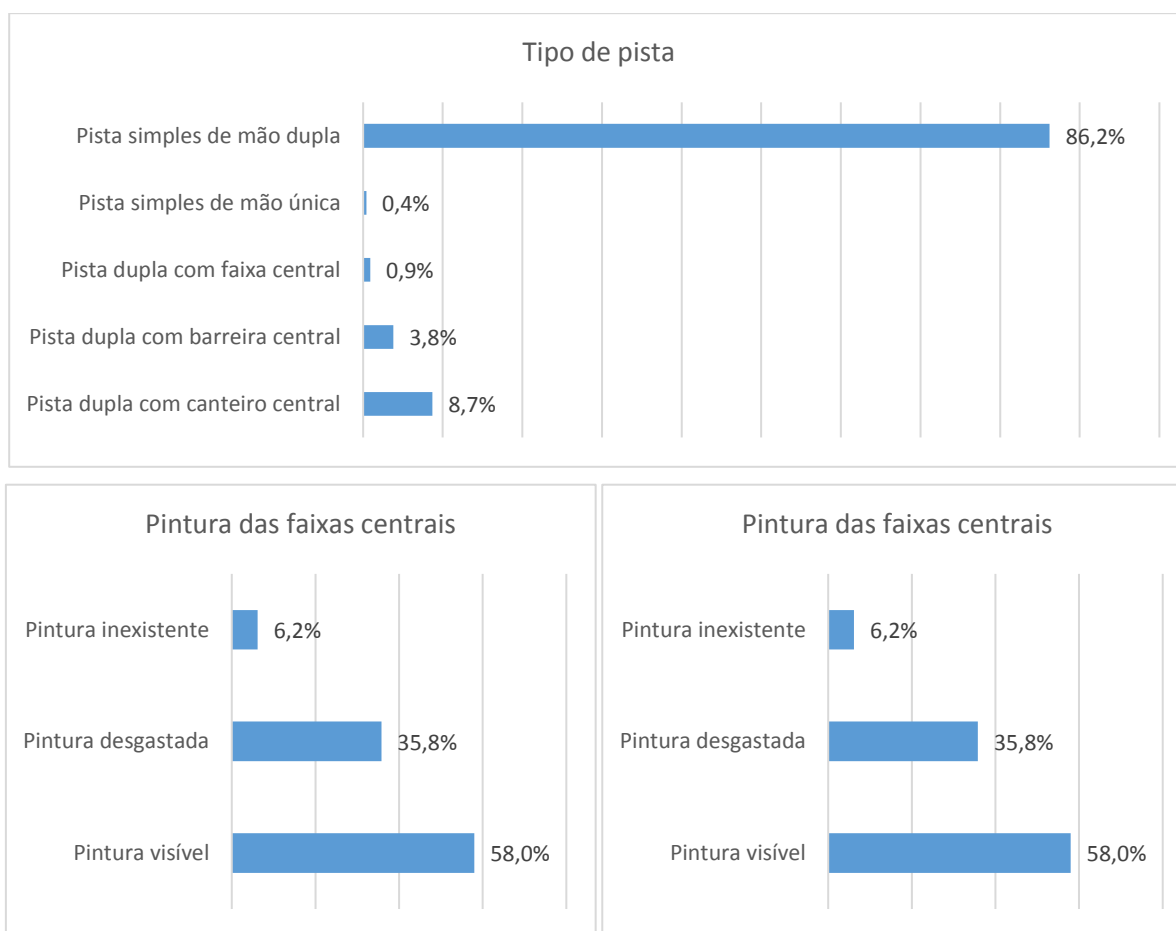
**Tabela 2.12:** Avaliação do estado geral das rodovias brasileiras.

<b>Estado Geral</b>	<b>Km</b>	<b>%</b>
Ótimo	11936	12%
Bom	31158	30%
Regular	35840	35%
Ruim	17838	17%
Péssimo	6487	6%
<b>Total</b>	<b>103259</b>	<b>100%</b>

Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias 2016 (CNT, 2017).

Além disso, conforme está ilustrado na figura 2.9, a maior parte das rodovias brasileiras é de pista simples com mão dupla, um fator que praticamente impossibilita a formação de pelotões de VAs, já que estes seriam de difícil ultrapassagem nessas condições. Ainda, um problema importante identificado pela pesquisa foi a baixa qualidade das pinturas das faixas de trânsito laterais e centrais. Enquanto motoristas humanos ainda conseguem se orientar relativamente bem sem a visão perfeita das faixas de trânsito, é provável que os VAs dependam completamente das mesmas para se manter na pista.

**Figura 2.9:** Classificação das rodovias brasileiras quanto ao tipo de pista e qualidade da pintura de faixas.



Extraído de: Pesquisa CNT de Rodovias 2016 (CNT, 2017).

Assim, os problemas da infraestrutura viária brasileira são um fator que pode inviabilizar a implantação de VAs no país. Além de melhorar a infraestrutura existente, pode ser necessário que sejam adotadas novas melhorias de infraestrutura específica para VAs, como equipamentos para comunicação V2I, que podem se apresentar como um desafio ainda maior devido as falhas estruturais já existentes.

#### **d) Acidentes**

De acordo com o relatório da *World Health Organization* de 2015, o Brasil é o país com maior número de mortes no trânsito para cada 100 mil habitantes na América do Sul e o 3º país com maior número absoluto de mortes no trânsito (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016). A tabela 2.13 indica as principais causas de morte no Brasil no ano de 2013, mostrando os acidentes de trânsito na quarta posição.



**Tabela 2.13:** Total de óbitos por causa de morte no Brasil, 2013.

Causa de morte	Número de óbitos
Doenças do aparelho circulatório	339.672
Neoplasias	196.954
Doenças do aparelho respiratório	137.832
<b>Mortes com acidentes de trânsito</b>	<b>54.767</b>
Doenças infecciosas e parasitárias	52.058
Afecções originadas no período perinatal	22.745
Demais causas externas	96.916
Demais causas definidas	237.726
<b>Total</b>	<b>1.138.670</b>

Fonte: DATASUS (2014) e SEGURO DPVAT (2014).

Diferentemente do encontrado em outros países, no Brasil não foram encontrados dados nacionais de causas de acidentes de trânsito gerais. Entretanto, foram encontrados dados a respeito das causas de acidente de trânsito em rodovias, registrados pela Polícia Rodoviária Federal, que foi a responsável por apontar a causa do acidente. Os dados estão apresentados na tabela 2.14:

**Tabela 2.14:** Total de acidentes em rodovias separados por causa no Brasil de 2014 a 2016.

Causa do Acidente		2014	2015	2016	Total	%
Causas externas	Animais na Pista	3737	3080	2605	9422	2,43%
	Defeito mecânico em veículo	6886	5729	5111	17726	4,57%
	Defeito na via	2598	1994	1571	6163	1,59%
Causas humanas	Desobediência à sinalização	8167	6015	4852	19034	4,91%
	Dormindo	4794	4067	3763	12624	3,26%
	Falta de atenção	55089	36805	26451	118345	30,52%
	Ingestão de álcool	7391	6745	6332	20468	5,28%
	Não guardar distância de segurança	19588	11402	6361	37351	9,63%
	Velocidade incompatível	17716	14262	12322	44300	11,43%
	Ultrapassagem indevida	4245	2998	2327	9570	2,47%
Outras	38990	29064	24668	92722	23,91%	
<b>Total</b>		<b>169201</b>	<b>122161</b>	<b>96363</b>	<b>387725</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL (2017).

Observa-se que 67,5% dos acidentes ocorridos foram causados diretamente por causas humanas, enquanto 8,59% foram resultados de causas externas e 23,91% de outras causas não especificadas, que podem ser humanas ou não. Dentre os acidentes de causa especificada, cerca de 88,71% tiveram causa humana, valor similar aos apresentados por autores internacionais para índice de acidentes causados por humanos. Assim, com a adoção de VAs seria possível evitar no mínimo cerca de 70% dos acidentes em rodovias, considerando que eles não seriam suscetíveis a erros humanos. Mesmo que seja considerado que os VAs seriam

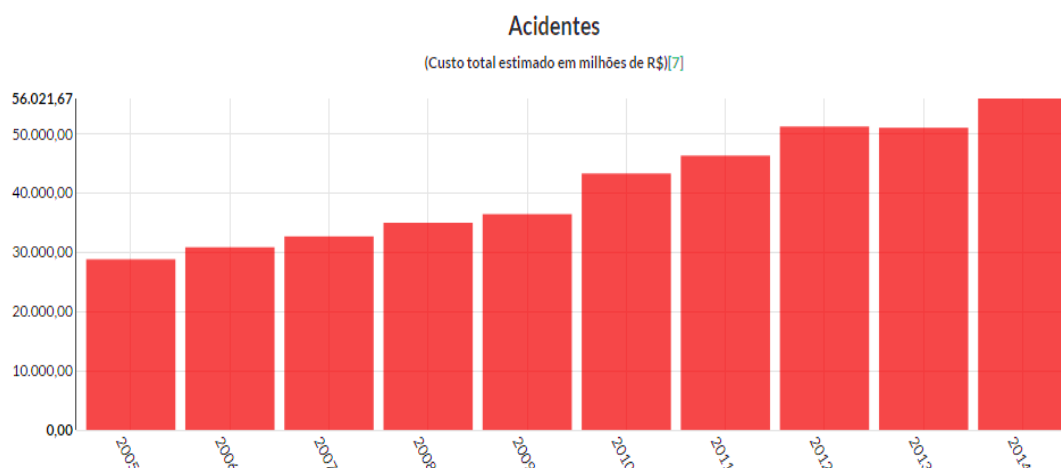
suscetíveis a falhas análogas a desatenção humana, pelo menos cerca de 37% dos acidentes ainda seriam evitados, tendo em vista que os mesmos não sofrem com cansaço, efeito do álcool e nem quebram leis de trânsito.

Para tentar usar esses dados de forma análoga no ambiente urbano, é necessário considerar algumas diferenças. Em primeiro lugar, no ambiente urbano os números de acidentes causados por animais na pista são expressivamente mais baixos. Os índices das outras causas provavelmente sofreriam algumas alterações, mas possivelmente se manteriam parecidos. O índice que provavelmente sofreria maior aumento no ambiente urbano seria o de acidentes com envolvimento de álcool, tendo em vista que o consumo de álcool antes de viagens longas em rodovias é muito mais incomum que o consumo antes de dirigir dentro da cidade.

Para corroborar essa hipótese, foram reunidos alguns estudos locais a respeito do de acidentes de trânsito causados pelo consumo de álcool. Um estudo conduzido com base nos laudos do IML do município do Rio de Janeiro em 2005 constatou que nas vítimas de acidentes de trânsito fatais em que foi realizado teste de alcoolemia, 60,2% apresentaram níveis acima do permitido por lei (ABREU et al., 2010). Outro estudo, conduzido no município de São Paulo em 2005, constatou níveis de álcool acima do permitido em 39,6% das vítimas fatais de acidentes de trânsito (PONCE, 2009), e um estudo semelhante conduzido em Brasília (DF) constatou níveis acima do limite legal em 42% das vítimas fatais (MODELLI et al., 2008). Assim, de maneira geral, parece que a porcentagem dos acidentes fatais envolvendo o uso de álcool no ambiente urbano seria próxima ou consideravelmente superior as encontradas nos outros países estudados.

Por último, os custos monetários relacionados a acidentes de trânsito no Brasil também se apresentam como fatores importantes. O Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV) estimou os custos totais com acidentes de trânsito por ano e encontrou, para 2014, um custo estimado de cerca de R\$56 bilhões. Assim, se forem alcançados os patamares de redução de acidentes previstos pela literatura internacional, os VAs gerariam uma economia de bilhões de reais anuais devido ao aumento da segurança. Os resultados da pesquisa do ONSV estão apresentados na figura 2.10:

**Figura 2.10:** Custo estimado de acidentes de trânsito no Brasil de 2005 a 2014, em milhões de R\$.



Extraído de: PORTAL ÍRIS, 2017.

Esses dados indicam que os VAs tem um potencial de diminuição de acidentes pelo menos igual ao dos países analisados em estudos internacionais, e possivelmente maior, tendo em vista o grande volume de acidentes e mortes no trânsito anualmente e os altos índices de envolvimento de álcool em acidentes fatais. Infelizmente o Brasil não possui dados tão precisos e organizados a nível nacional quanto os outros países analisados, o que dificulta um pouco a previsão dos benefícios dos VAs com precisão.

#### e) Outros fatores

O fato dos preços de automóveis no Brasil possuírem médias mais altas do que em muitos outros países (SILVA, 2010) combinado a peculiaridades do mercado e indústria automotiva brasileiros que podem causar atraso na chegada de novas tecnologias (COUTO, 2012 e LAMAS, 2012) pode significar uma demora ainda maior até que os preços dos VAs se tornem acessíveis ao ponto de permitirem adoção em grande escala.

Além disso, o Brasil ainda não possui qualquer tipo de legislação com respeito a VAs e até o momento não há discussão sobre o tema no congresso, enquanto outros países como os Estados Unidos já avancem no sentido da regulamentação dos seus testes em vias públicas e preparação para a chegada da tecnologia ao mercado (ANDERSON et al., 2014). Isso pode ser mais um fator de atraso na chegada dos VAs ao país.

### 2.3 Tópicos conclusivos

A partir da aplicação da metodologia da Revisão Sistemática da Literatura, foi possível reunir neste capítulo alguns dos principais benefícios e desafios da implantação de

veículos autônomos encontrados na literatura internacional. Ainda, foram reunidos dados relacionados ao contexto brasileiro, buscando aplicar os conhecimentos de pesquisas internacionais à realidade do país.

Os potenciais benefícios mais relevantes encontrados na literatura foram dentro das seguintes áreas: mobilidade urbana; infraestrutura; redução de congestionamentos e tempos de viagem; logística e transporte de cargas; economia e redução de gastos; e aumento da segurança. Dentre estes, destaca-se o grande potencial de redução de acidentes dos VAs melhorando a segurança dos deslocamentos, além de reduzir congestionamentos e os custos diretos e indiretos causados por acidentes de trânsito. No contexto brasileiro os benefícios têm o potencial de serem ainda maiores, tendo em vista a grande parcela da matriz de transportes composta por modal rodoviário do país, bem como os graves problemas nas áreas de segurança e congestionamentos que ele enfrenta.

Por outro lado, existem ainda muitos desafios a serem vencidos para viabilizar a implantação de um sistema de veículos autônomos seguro, eficiente e acessível no Brasil. Os principais obstáculos encontrados estão relacionados com as seguintes esferas: incertezas sobre os efeitos sobre os congestionamentos; tecnologia; preços dos veículos e risco de falha no mercado; regulação, licenciamento e padrões de qualidade; questões legais, de responsabilidade e de seguros; infraestrutura; ética robótica; segurança cibernética; privacidade; percepção pública; e extinção de empregos. No contexto brasileiro, os desafios são ainda maiores, especialmente devido aos sérios problemas de infraestrutura viária que assolam o país. No capítulo 3, a seguir, está apresentada a metodologia para identificar os fatores que influenciam no interesse de uso de veículos autônomos particulares e não coletivos.

## **3 MÉTODO PARA IDENTIFICAR OS FATORES QUE INFLUENCIAM NO INTERESSE DE USO DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS PARTICULARES E NÃO COLETIVOS**

### **3.1 Apresentação**

Este capítulo tem como objetivo descrever todo o processo de elaboração e aplicação do questionário referente à pesquisa de opinião aplicada com relação a VAs, bem como o processo de modelagem em equações estruturais com PLS utilizado.

### **3.2 Elaboração e aplicação do questionário**

Foi decidido que seria elaborado um questionário para os fins desta pesquisa, tendo em vista a natureza inovadora do tema e as especificidades dessa tecnologia, de forma a avaliar os aspectos encontrados na revisão da literatura sem limitações que poderiam aparecer com o uso de questionários prontos.

A elaboração do questionário foi realizada de acordo com as recomendações de Vieira (2009), que se encontram detalhadas no apêndice A2. Ao final do mesmo encontra-se também o quadro A2.1, que resume a metodologia utilizada para a construção do questionário, desenvolvida com base nessas recomendações.

#### **3.2.1 Estágio 1: Planejamento do questionário**

A primeira da elaboração do questionário é o seu planejamento, onde são feitas as definições iniciais e o cronograma é apresentado.

##### **a) Definição dos objetivos**

Os objetivos do questionário foram definidos a partir do objetivo geral e dos específicos do trabalho: identificar os principais fatores que influenciam no interesse de uso de veículos autônomos particulares e não coletivos no contexto brasileiro e verificar a possível popularização do uso de veículos autônomos no Brasil, incluindo aspectos relacionados à percepção opinião do público sobre a tecnologia. Portanto, o questionário deve buscar entender quais aspectos da opinião das pessoas podem ter influência sobre popularização da tecnologia de VAs no Brasil, o que inclui tanto uma avaliação do possível interesse em potenciais benefícios quanto percepções negativas que podem causar resistência à nova tecnologia. Assim, os objetivos definidos para a pesquisa foram:

i) Avaliar quais os aspectos que influenciam no interesse das pessoas em utilizar um veículo autônomo.

ii) Avaliar quais aspectos podem se apresentar como obstáculos para a aceitação da tecnologia de veículos autônomos pelas pessoas.

A partir dos conhecimentos reunidos na revisão bibliográfica, espera-se que dois aspectos sejam de grande influência sobre o interesse ou não em utilizar um VA: o nível de confiança na tecnologia e os potenciais benefícios percebidos. Dentre os potenciais benefícios encontrados na literatura, os que podem ser percebidos pelos usuários estão relacionados com as seguintes categorias: aumento da segurança, redução de gastos, aumento de conforto, melhorias e facilidades com a infraestrutura e redução nos tempos de viagem. Assim, o questionário deve ser capaz de avaliar todos esses quesitos, bem como o nível de confiança na tecnologia.

Também a partir dos potenciais obstáculos e desafios dos VAs encontrados na literatura, foram identificadas algumas questões que podem causar resistência e percepções negativas a respeito da tecnologia: desconhecimento e incredulidade na tecnologia, desconfiança e sensação de insegurança, questões legais e de regulação, possibilidades de ataques virtuais, questões de ética robótica, questões de privacidade e postura do governo com relação à tecnologia. Assim, o questionário deve ser capaz de avaliar todos esses quesitos.

#### **b) Definição da população-alvo**

A população-alvo definida para a pesquisa foi de todos os usuários de veículos particulares no Distrito Federal, tendo em vista o foco deste trabalho em VAs particulares e não coletivos, bem como as limitações técnicas para aplicar a pesquisa em outros estados.

#### **c) Definição da natureza do questionário**

Foi definido que o questionário seria de natureza quantitativa, de modo a facilitar a análise de dados e modelagem em equações estruturais com PLS.

#### **d) Definição dos temas das questões**

Foi definido que as questões seriam todas sobre opiniões e percepções, com exceção da seção com relação às variáveis sociodemográficas, que seria sobre fatos.

**e) Definição das formas de aplicação**

Foi definido que a forma de aplicação do questionário seria a auto aplicação online. O questionário foi elaborado e disponibilizado por meio da ferramenta de coleta *Google Forms*©.

**f) Definição do cronograma do questionário**

O questionário foi elaborado até o mês de setembro de 2017, quando foram realizados os primeiro pré-testes. No início do mês de outubro foi realizado um pré-teste com uma população reduzida e a validação do questionário, iniciando-se em seguida a coleta de dados, que se estendeu até o mês de novembro de 2017.

**3.2.2 Estágio 2: Elaboração de perguntas e respostas**

Nesta etapa foram redigidas as perguntas e respostas do questionário em si, seguindo as recomendações de Vieira (2009), resumidas no apêndice A2. O questionário desenvolvido nesta etapa está disponível no apêndice A4 deste trabalho.

**a) Definição dos tipos de questões**

Foi definido que haveriam questões do tipo quantitativo e qualitativo (com respostas numéricas e com respostas com palavras), com diferentes graus de especificidade (evitando questões demasiadamente gerais) e somente de caráter fechado, para facilitar a análise dos dados.

**b) Definição das escalas utilizadas**

Foi definido que seria utilizada a escala Likert com 7 níveis em várias questões, considerando-se que é uma escala de uso consolidado, que apresenta bons resultados para esse tipo de estudo e que é ideal para o uso com modelagem PLS.

**c) Escrita das questões e respostas**

As perguntas e respostas foram redigidas tendo em vista alcançar os objetivos do questionário definidos na seção 3.2.1a. O questionário desenvolvido nesta etapa está disponível no apêndice A4 deste trabalho.

A primeira parte do questionário consiste na apresentação do questionário e do tema, definindo veículos autônomos para os fins do questionário e colocando também os dados do pesquisador. Em seguida, a primeira pergunta visa separar respondentes que não fariam parte

da população-alvo: “Utiliza automóveis para se deslocar com alguma regularidade? ”. Se a resposta for negativa, o *Google Forms*© redireciona o respondente automaticamente para o fim do questionário, permitindo que a resposta seja descartada.

A segunda parte do questionário é intitulada “Percepções Gerais”, e composta das 3 questões apresentadas no quadro 3.1 juntamente com suas opções de resposta:

**Quadro 3.1:** Questões da seção “Percepções Gerais” do questionário.

<b>Questões</b>	<b>Respostas</b>
1. Você já ouviu falar da tecnologia de veículos autônomos para uso urbano? Com que frequência?	Escala Likert de 1 a 7, com 1 correspondendo a “Nunca ouvi falar” e 7 a “Ouço falar com frequência”
2. Você acredita que veículos autônomos serão uma realidade acessível no Brasil dentro de que horizonte de tempo?	Opções: “Até 2021”; ”Até 2030”; ”Até 2040”; ”Até 2050”; ”Até 2060”; ”Depois de 2060”; e ”Nunca serão uma realidade acessível”
3. Veículos autônomos levarão mais tempo para se tornar uma realidade no Brasil do que em outros países	Escala Likert de 1 a 7, com 1 correspondendo a “Discordo totalmente” e 7 a “Concordo totalmente”

Estas questões visam identificar o nível de conhecimento e incredulidade das pessoas na tecnologia dos VAs. Os períodos nas opções de resposta da segunda questão foram escolhidos a partir dos períodos de adotados nas projeções de Litman (2017) para os diferentes estágios de implementação de VAs. Além disso, muitas montadoras anunciaram suas intenções de começar a comercializar seus primeiros veículos autônomos no ano de 2021.

A seção seguinte é intitulada “Potenciais Benefícios”, e visa justamente avaliar o nível de interesse das pessoas em potenciais benefícios previstos na literatura que teriam influência direta e perceptível sobre os usuários. Com o enunciado: “Avalie o seu nível de interesse nos seguintes potenciais benefícios do uso de veículos autônomos. A escala varia de nenhum interesse (1) a muito interesse (7): ”, as questões dessa seção estão representadas no quadro 3.2, agrupados de acordo com as categorias de benefícios definidas na seção 3.2.1<sup>a</sup>.

Esta seção visa identificar em que nível cada um dos potenciais benefícios dos VAs pode afetar positivamente o interesse no seu uso, bem como se as pessoas acreditam e percebem esses potenciais benefícios como possíveis realidades.



**Quadro 3.2:** Questões da seção “Potenciais Benefícios” do questionário.

Questão	Categoria
1. “Diminuição do risco de acidentes”	Aumento de segurança
2. “Diminuição de custos com seguro dos veículos”	
3. “Diminuição do consumo de combustível”	
4. “Diminuição de custos de manutenção do veículo (troca de pneus, revisões, etc)”	Redução de gastos
5. “Maior conforto”	Aumento de conforto e qualidade
6. “Aproveitamento do tempo de viagem para realizar outras atividades (enquanto usa o carro)”	
7. “Diminuição do stress e cansaço de dirigir”	
8. “Não precisar procurar vagas para estacionar”	Melhorias de infraestrutura
9. “Aproveitamento de espaços de estacionamento em áreas valorizadas para outras atividades”	
10. “Diminuição da distância de viagem segura entre seu veículo e os outros, diminuindo os tempos de viagem”	Diminuição de tempos de viagem
11. “Uso de rotas que evitem congestionamentos, diminuindo tempos de viagem”	

Na terceira seção do questionário o título é “Interesse e Níveis de Automação”. Ela é composta por três questões que visam avaliar diretamente o interesse em uso e compra de tecnologias de automação. As questões e as opções de resposta estão representadas no quadro 3.3:

**Quadro 3.3:** Questões da seção “Interesse e Níveis de Automação” do questionário.

Questões	Respostas
1. Além do veículo totalmente autônomo, existem níveis intermediários de automação, em que apenas algumas funções são automatizadas (ex: manter a velocidade, manter o veículo na faixa, etc). Em que nível de automação você teria mais interesse:	Escala Likert de 1 a 7, com 1 correspondendo a “Nenhuma Automação” e 7 a “Automação Total”
2. Qual seria o seu nível de interesse em utilizar um veículo autônomo?	Escala Likert de 1 a 7, com 1 correspondendo a “Nenhuma Interesse” e 7 a “Muito Interesse”
3. Considerando os benefícios (como redução de custos, maior segurança e aproveitamento melhor do tempo), você estaria disposto a pagar quanto a mais em um veículo popular para que este fosse autônomo? (Exemplo: Um Chevrolet Onix de R\$ 41.078)	Opções: “Não compraria”; “5% a mais (R\$ 2053)”; “25% a mais (R\$ 10.269)”; “50% a mais (R\$ 20.539)”; “100% a mais (R\$ 41.078, ou seja, pagar o dobro do preço do carro)”; e “Mais do que 100% a mais”

O exemplo do carro Chevrolet Onix foi escolhido por se tratar de um dos carros populares mais vendidos no Brasil, de forma que é um veículo amplamente conhecido e serve como base para referência e comparação. O preço foi extraído da tabela FIPE em setembro de 2017.

A seção seguinte do questionário é intitulada “Segurança, Regulação e Privacidade”. Nela, as perguntas buscam medir os níveis de confiança e insegurança com relação aos VAs,

bem como avaliar as percepções e opiniões das pessoas com relação a temas de difícil solução que podem vir a causar resistência a essa nova tecnologia. As questões dessa seção, bem como os aspectos com os quais elas se relacionam, estão representados no quadro 3.4:

**Quadro 3.4:** Questões da seção “Segurança, Regulação e Privacidade” do questionário.

Questão	Respostas	Categoria
1. Veículos autônomos devem permitir que o passageiro assuma o controle da direção quando desejar.	Escala Likert de 1 a 7, com 1 correspondendo a “Discordo totalmente” e 7 a “Concordo totalmente”	Confiança e insegurança Redução de gastos
2. Me sentiria mais seguro no trânsito se veículos autônomos estivessem em circulação.		
3. Me sentiria confortável se as distâncias de viagem entre o seu veículo e os outros fossem diminuídas com a automação dos mesmos		
4. A possibilidade de ataques virtuais em veículos autônomos (ataques que prejudiquem seu funcionamento por meio da internet) se apresenta como um sério problema de segurança.		Ataques Virtuais
5. No seu ponto de vista, quem deveria ser responsabilizado legalmente no caso de um acidente causado por um veículo autônomo (pode marcar múltiplas opções):	Opções: “A montadora do veículo”; “O proprietário do veículo”; “O passageiro do veículo”; e “A operadora do veículo, se houver”	Responsabilidade e questões legais
6. Em casos em que o acidente é inevitável, o veículo autônomo deve priorizar a segurança:	Opções: “dos passageiros do veículo”; “das partes mais vulneráveis, como pedestres ou ciclistas”; e “do maior número de pessoas possível, independentemente de sua vulnerabilidade”	Ética Robótica
7. Um sistema de veículos autônomos tende a ser integrado com uma rede central de informações para possibilitar o funcionamento. Nessa condição a privacidade dos deslocamentos podem ser afetados. Quem deve ter acesso a essas informações (pode marcar múltiplas opções, ou nenhuma das alternativas):	Opções: “Órgãos governamentais de planejamento”; “Universidades e centros de pesquisa”; “Órgãos de segurança pública”; “As montadoras dos veículos”; “As operadoras dos veículos”; “Deveriam estar disponíveis uso comercial”; e “Nenhuma das alternativas acima”	Questões de Privacidade
8 O governo deve incentivar ativamente a tecnologia de veículos autônomos.	Escala Likert de 1 a 7, com 1 correspondendo a “Discordo totalmente” e 7 a “Concordo totalmente”	Postura Governamental

Por fim, o questionário termina com uma seção intitulada “Variáveis Sociodemográficas”, com perguntas a respeito do sexo, idade, formação acadêmica e renda familiar (categorias de renda de acordo com faixas de renda consideradas pelo governo federal). Essas informações podem valiosas para indicar correlações entre esses dados e determinados padrões de resposta, bem como para caracterizar a amostra.

#### **d) Verificação de qualidade**

Ainda com base nas recomendações de Vieira (2009), foi realizada a verificação da qualidade das questões e respostas do questionário, procurando identificar erros, dificuldades de interpretação e possíveis causas para viés. Também foi realizada a validação semântica do questionário, na qual verifica-se se a redação do mesmo transmite o sentido desejado para que os objetivos sejam alcançados.

A verificação de qualidade e a validação semântica foram realizadas em conjunto com os orientadores, bem como com a ajuda de colegas e conhecidos. Com as modificações realizadas, o questionário desenvolvido nesta etapa está disponível no apêndice A4 deste trabalho.

#### **3.2.3 Estágio 3: Testes do questionário**

Nesta etapa foram realizados os pré-testes do questionário. Primeiro foram feitos alguns testes de aplicação com alguns conhecidos, para os quais foram feitas perguntas buscando avaliar a qualidade do questionário. Não foram encontradas dificuldades ou problemas com o questionário nesse teste, havendo facilidade de entendimento e agilidade de resposta por parte dos respondentes.

Em seguida foi realizado o pré-teste com uma amostra reduzida, com o objetivo de servir como pré-teste de coleta de dados, de delineamento, de análise estatística e de verificação de confiabilidade e validade. O questionário foi divulgado para algumas pessoas pertencentes a população-alvo até que foram coletadas 50 respostas, com as quais foram realizados os pré-testes.

#### **a) Pré-teste de coleta de dados**

Verificou-se que o questionário foi respondido com facilidade e rapidez, e que aparentemente o entendimento das perguntas e respostas e disposição dos elementos não apresentou problemas. O *Google Forms*® possui várias ferramentas que facilitaram o processo, tais como: obrigatoriedade de respostas, opções de múltipla escolha, escalas e opções de marcar múltiplas respostas. Um erro que poderia ter sido encontrado nessa etapa seria na questão 7 da seção “Segurança, Regulação e Privacidade”, na qual o respondente poderia marcar a opção “Nenhuma das alternativas acima” ao mesmo tempo que marcasse outras alternativas. Porém, essa situação não surgiu na amostra teste.

## **b) Pré-teste delineamento**

Não foram encontradas dificuldades para aplicar o questionário em membros da população-alvo, tendo em vista que as únicas restrições para fazer parte da mesma são: ser residente do Distrito Federal e utilizar carros para se deslocar com alguma regularidade. A segunda condição é filtrada pela primeira pergunta do questionário, descrita em 3.2.2c, e para atender a primeira condição os questionários foram aplicados apenas do Distrito Federal, de forma certamente a maior parte das respostas foram de pessoas pertencentes a população alvo.

## **c) Pré-teste de análise de dados**

Nessa etapa, não foram encontradas perguntas sem respostas nem opções nunca escolhidas em respostas. Enquanto algumas perguntas, como a pergunta 1 da seção “Segurança, Regulação e Privacidade”, apresentaram uma concentração grande de respostas em uma das opções, avaliou-se que isso não ocorreu por erros na escala ou por faltas de opção, mas realmente devido a uma grande parte da população possuir opiniões fortes sobre o tema.

Além disso, foram analisadas as respostas individuais de diversos respondentes de forma aleatória buscando inconsistências e incoerências fortes entre as respostas que poderiam indicar erros de redação ou interpretação no questionário (por exemplo, se uma pessoa respondesse que estaria disposta a pagar mais de 100% a mais em um carro autônomo e ao mesmo tempo que não teria nenhum interesse em utilizar veículos autônomos). Entretanto, nenhum desses casos foi encontrado.

## **d) Verificações de confiabilidade e validade dos resultados com a amostra teste**

A última etapa foi a verificação de confiabilidade e validade dos resultados com a amostra teste. Os testes de confiabilidade e de validade estatística foram feitos junto ao processo de teste do modelo em PLS, que também foi realizado com essa mesma amostra teste. O teste do modelo e as suas verificações de confiabilidade e validade, que servem também para os resultados do questionário, estão disponíveis na seção 3.2.2 deste trabalho.

As verificações de validade de face, conteúdo, semântica e de construto foram feitas antes mesmo do teste com a amostra reduzida, com ajuda dos orientadores, de colegas e conhecidos. Não foi possível realizar um teste de validade de construção, tendo em vista que

não foram encontrados estudos semelhantes que pudessem servir de parâmetros para comparação.

#### **3.2.4 Estágio 4: Escolha dos respondentes**

Para determinar a escolha dos respondentes, fez-se necessário uma estimativa do tamanho da amostra. Enquanto seria muito difícil estimar a quantidade exata de usuário de automóveis no Distrito Federal, a frota de veículos do estado 2016 era de cerca de 1,7 milhões (IBGE, 2017), medida que serve como parâmetro para o seu total de usuários de carros, mesmo que não represente o valor exato. Portanto, foi adotada a estimativa de que a população-alvo é composta por cerca de 1,7 milhões de pessoas.

##### **a) Definição de tipo de levantamento**

Devido ao tamanho da amostra, um censo seria inviável com os recursos disponíveis para a pesquisa, de modo que foi escolhido um levantamento do tipo amostral.

##### **b) Margem de erro, intervalo de confiança e tamanho da amostra**

A margem de erro e o intervalo de confiança usualmente adotados em pesquisas desta natureza são de 5% e 95% respectivamente. Desta forma, esses foram os valores adotados para a estimativa do tamanho da amostra.

Segundo Yamane (1967), a seguinte fórmula pode ser usada para estimar o tamanho de uma amostra para um nível de confiança de 95% quando o tamanho da população é conhecido:

$$\text{eq. (3.1)} \quad n = \frac{N}{1 + N(e^2)}$$

Em que  $n$  é o tamanho da amostra,  $N$  o tamanho da população e  $e$  a margem de erro. Considerando uma população de 1,7 milhões e uma margem de erro de 5%, temos que a amostra necessária é de 400 pessoas.

Para verificar a validade deste cálculo, também foi utilizado outro método, proposto por Cochran (1977) desenvolveu uma fórmula para calcular amostras representativas de proporções quando não se conhece o tamanho da população:

$$\text{eq. (3.2)} \quad n_0 = \frac{z^2 pq}{e^2}$$

Onde  $n_0$  é o tamanho da amostra,  $z^2$  é o valor crítico selecionado de nível de confiança,  $p$  é a proporção estimada com a qual um atributo está presente na população e  $q = 1-p$ . Para um nível de confiança de 95% o valor de  $z = 1,96$ . Se forem consideradas a variabilidade máxima dos dados teremos um valor de  $p = q = 0,5$ . Com uma margem de erro de 5%, o valor calculado para  $n_0 = 385$ .

Ainda, Cochran apresenta a seguinte fórmula para o cálculo de amostra quando a população é conhecida:

$$\text{eq. (3.3)} \quad n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}}$$

Onde  $n_0$  é o valor calculado na equação 3.2 e  $N$  é a população. Aplicando os valores na fórmula, encontrou-se que o tamanho da amostra deve ser de 384 pessoas, próximo ao valor encontrado pela fórmula de Yamane. Portanto, foi definido que a amostra deveria ter, no mínimo, 400 pessoas.

### c) Definição do tipo de amostragem

Sabendo o tamanho da amostra foi possível definir o tipo de amostragem. Embora métodos probabilísticos sejam mais recomendáveis para a levantamentos de dados por amostragem, não há recursos suficientes para a pesquisa para a utilização desse tipo de técnica, tendo em vista que para isso seria necessário o acesso a registros de toda a população para que a amostra fosse escolhida de forma aleatória, bem como os meios para aplicar o questionário em todos os sorteados.

Assim, o método escolhido para amostragem foi o não probabilístico ou de conveniência, devido as limitações de recursos para a pesquisa. Embora métodos probabilísticos sejam preferíveis por apresentarem resultados que representam melhor a população-alvo, o uso de não probabilísticos não invalida uma pesquisa, desde que a amostra esteja muito bem descrita, pois representa apenas a população de indivíduos semelhantes aos indivíduos incluídos na mesma (VIEIRA, 2009). Como o questionário inclui perguntas com relação a características sociodemográficas que ajudam a caracterizar a amostra, o uso do método não probabilístico pode ser feito.

### **3.2.5 Estágio 5: Aplicação do questionário**

O questionário pronto foi divulgado pela internet, e-mail, grupos em redes sociais e conhecidos, com cuidado para divulgar apenas em locais onde a predominância é de moradores do Distrito Federal. Além disso, na apresentação do questionário está especificado que o mesmo é destinado apenas a moradores do estado.

O questionário foi aberto para respostas no dia 3 de outubro de 2017 e fechado no dia 10 de novembro de 2017. Foram obtidas 526 respostas, das quais 13 foram descartadas por não se tratarem de usuários regulares de carros (identificados através da primeira pergunta). Assim, a amostra final foi de 513 respondentes, bem superior ao mínimo necessário para obter o nível de confiança e a margem de erro estabelecidas, que era de 400.

### **3.2.6 Estágio 6: Confiabilidade e validade**

Assim como na fase de testes, as verificações de confiabilidade foram feitas junto ao modelo PLS, conforme descrito na seção 3.2.4. Essas mesmas verificações confirmam também a confiabilidade e validade do questionário.

## **3.3 Elaboração e aplicação do modelo em equações estruturais com PLS**

A construção do modelo e aplicação da modelagem em equações estruturais com PLS foi feita com base na metodologia proposta por Ramirez-Correa et al. (2014), bem como no método RAM recomendado por Falk e Miller (1992). O software utilizado foi o *Smart PLS*. Mais detalhes sobre estas metodologias e sobre a modelagem em PLS estão disponíveis no apêndice A3.

### **3.3.1 Fase 1: Descrição do modelo**

A primeira fase metodologia de aplicação de modelagem PLS de Ramirez-Correa et al. (2014) é a descrição do modelo. Para realizá-la, foi utilizado o método de construção de modelos de equações estruturais proposto por Falk e Miller (1992), chamado RAM. Suas etapas estão explicadas nessa seção.

#### **a) Passo 1: Ordem**

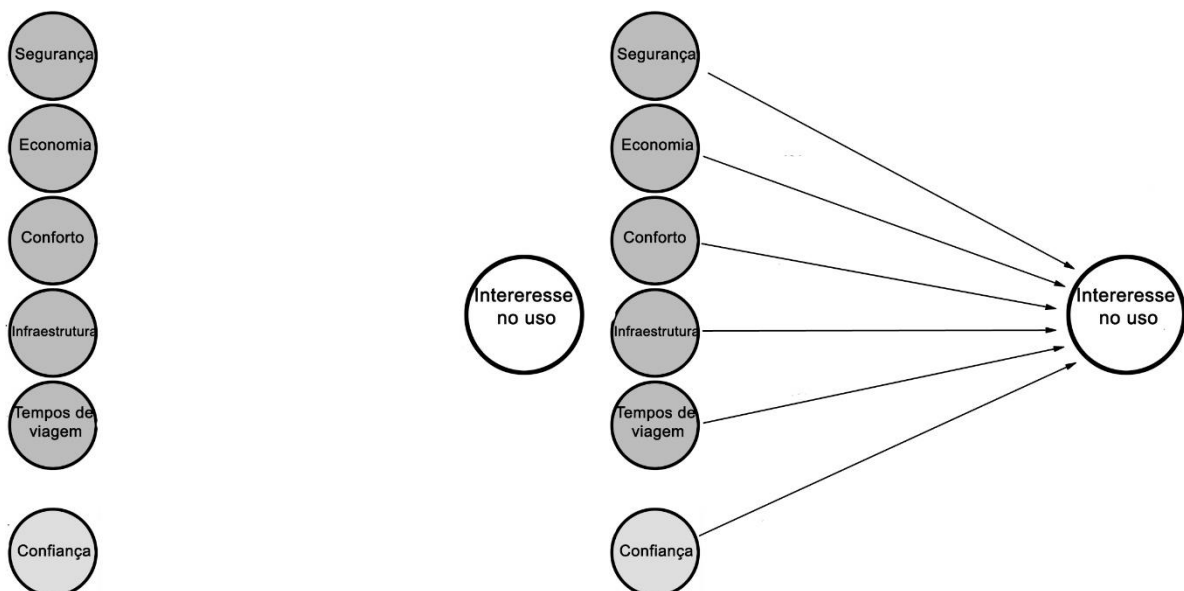
Na representação do modelo PLS com o método RAM, os círculos representam os construtos e devem ser desenhados na ordem causal ou preditiva esperada da esquerda para a direita. Portanto, antes de iniciar a representação do modelo devem ser decididas quais serão os construtos ou variáveis latentes (não observáveis) de estudo. A partir dos objetivos da

pesquisa, foi definido que a variável de estudo do modelo seria o “interesse no uso de veículos autônomos”. Conforme definido na seção 3.2.1a, espera-se que dois aspectos principais expliquem o interesse no uso de VAs: o nível de confiança na tecnologia e os potenciais benefícios percebidos. Portanto, foi definida uma variável “confiança nos veículos autônomos” e variáveis para os potenciais benefícios que podem ser percebidos pelos usuários: “aumento da segurança”; “redução de gastos”; “aumento de conforto”; “melhorias e facilidades com a infraestrutura”; e “redução nos tempos de viagem”. Com as variáveis latentes definidas, elas foram dispostas em círculos com a ordem indicando a relação de causalidade da esquerda para a direita.

### b) Passo 2: Setas entre construtos

Na representação do modelo PLS com o método RAM, as setas representam as relações de causalidade entre os construtos e devem ser desenhadas no sentido da variável independente para a dependente. No caso do modelo para a pesquisa deste trabalho as relações esperadas são simples, com todas as variáveis com uma relação de causalidade com o interesse no uso. O resultado das etapas 1 e 2 está representado na figura 3.1:

**Figura 3.1:** Passos 1 e 2 do método RAM – Ordem e Setas entre construtos.



### c) Passo 3: Blocos

Na representação do modelo PLS com o método RAM, os blocos representam os indicadores e devem ser desenhados próximos aos construtos com os quais se relacionam. Os indicadores são as variáveis manifestas ou observáveis, ou seja, no caso do questionário, são



as perguntas. Portanto, é necessário definir quais perguntas medem quais variáveis, lembrando que a modelagem PLS exigem ao menos dois indicadores para cada construto.

Foram feitas as hipóteses de quais perguntas medem a quais variáveis latentes, com base na revisão da literatura e na validação semântica das perguntas já realizada. Se alguma das perguntas não funciona bem como indicador para um construto ela é descartado na etapa dos testes de validade e confiabilidade. Para cada pergunta incluída no modelo foi atribuído um código com uma letra e número, separadas por construto. O quadro 3.5 apresenta o resumo das questões incluídas no modelo, seus códigos e os construtos que elas medem. Algumas questões foram resumidas apresentando apenas pergunta final. As questões com um “I” entre parênteses indicam que a suas respostas estão na escala interesse, que varia de 1 “nenhum interesse” a 7 “muito interesse”, e as com um “C” indicam respostas em escala de concordância, variando de 1 “discordo totalmente” a 7 “concordo totalmente”.

**Quadro 3.5:** Questões incluídas no modelo.

Questão	Código	Construto
Diminuição do risco de acidentes (I)	S1	Interesse em aumento de segurança
Diminuição de custos com seguro dos veículos (I)	S2	
Diminuição do consumo de combustível? (I)	E1	Interesse em economia de gastos
Diminuição de custos de manutenção do veículo (I)	E2	
Maior conforto (I)	CT1	Interesse em aumento de conforto
Aproveitamento do tempo de viagem para realizar outras atividades (I)	CT2	
Diminuição do stress e cansaço de dirigir (I)	CT3	
Não precisar procurar vagas para estacionar (I)	IF1	Interesse em melhorias com infraestrutura
Aproveitamento de espaços de estacionamento em áreas valorizadas para outras atividades (I)	IF2	
Diminuição da distância de viagem segura entre seu veículo e os outros, diminuindo os tempos de viagem (I)	T1	Interesse em redução de tempos de viagem
Uso de rotas que evitem congestionamentos, diminuindo tempos de viagem (I)	T2	
Me sentiria mais seguro no trânsito se veículos autônomos estivessem em circulação (C)	CF1	Confiança na tecnologia
Me sentiria confortável se as distâncias de viagem entre o seu veículo e os outros fossem diminuídas com a automação dos mesmos (C)	CF2	
Veículos autônomos devem permitir que o passageiro assumo o controle da direção quando desejar (C)	CF3	
Em que nível de automação você teria mais interesse? (Escala de automação de 1 a 7)	I1	Interesse no uso
Qual o seu nível de interesse em utilizar um veículo autônomo? (I)	I2	
Você estaria disposto a pagar quanto a mais em um veículo popular para que este fosse autônomo? (Escala de preços relativos, em %)	I3	

Espera-se que a pergunta CF3 apresente uma escala inversa de medição da variável “Confiança”, pois a relação imaginada é que quanto maior a resistência em ceder o controle absoluto do veículo, menor o nível de confiança na tecnologia. Assim, os resultados da escala foram invertidos para serem lançados no programa.

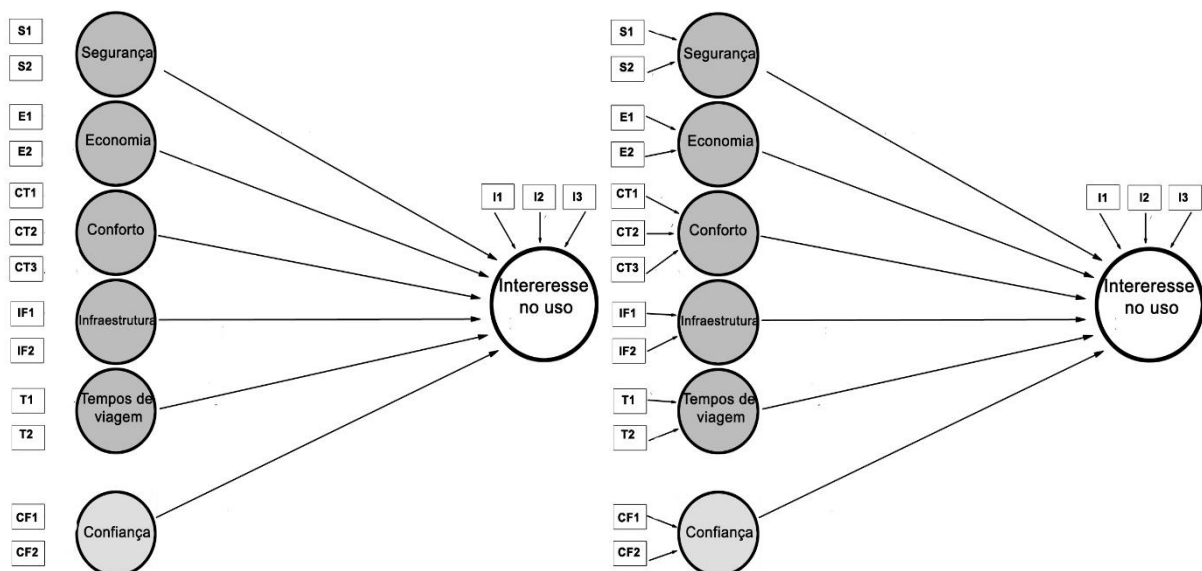
Algumas perguntas do questionário foram deixadas de fora do modelo, tendo em vista que não se espera uma relação direta entre as opiniões e fatos que elas medem e a variável do interesse no uso. Apesar de não terem sido incluídas no modelo PLS, essas perguntas também apresentam resultados importantes que serão discutidos na análise dos resultados do questionário.

**d) Passo 4: Setas entre indicadores e construtos**

Na representação do modelo em PLS, o sentido das setas entre os indicadores e os construtos definirá se são indicadores reflexivos (do construto para o indicador) ou formativos (do indicador para o construto). No caso do modelo deste trabalho, todos os indicadores são de natureza reflexiva, tendo em vista que não formam os conceitos das variáveis latentes, mas os refletem em certa medida.

Assim, foi terminada a primeira fase da metodologia de aplicação de modelagem PLS de Ramirez-Correa et al. (2014), descrição do modelo. Os resultados dos passos 3 e 4 estão representados na figura 3.2:

**Figura 3.2:** Passos 3 e 4 do método RAM – Blocos e Setas entre indicadores e construtos

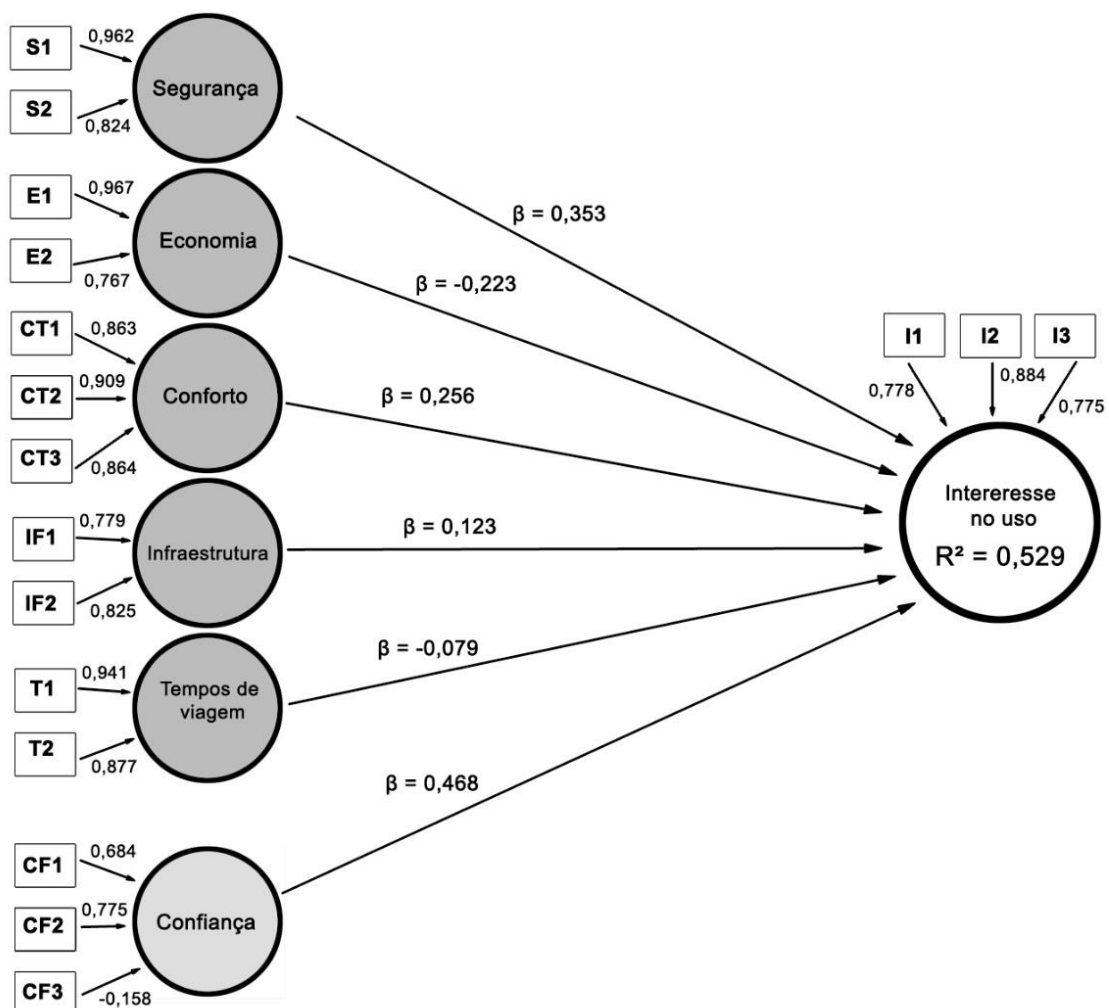


### 3.3.2 Fase 2 para o pré-teste: validade e confiabilidade do modelo de medição

Embora as próximas fases da metodologia de Ramírez-Correa et al. (2014) sejam a verificação de validade e confiabilidade e a valoração do modelo, é recomendável que ele seja testado antes de aplicar o método com os resultados final. Portanto, as seções 3.3.2 e 3.3.3 apresentam os procedimentos das fases 2 e 3 da metodologia aplicados à amostra teste de 50 pessoas que foi coletada para a fase de testes do questionário (vide seção 3.2.3). As seções 3.3.4 e 3.3.5, por sua vez, apresentam os procedimentos das fases 2 e 3 da metodologia aplicados na amostra final.

Assim, o modelo descrito na seção 3.2.1 e representado na figura 3.4 foi aplicado no software *Smart PLS* com as 50 respostas da amostra teste referentes as questões que compõe o modelo (vide quadro 3.5), que correspondem aos indicadores (blocos). O programa realizou o cálculo utilizando seu algoritmo de regressão PLS, gerando os resultados representados na figura 3.3:

Figura 3.3: Resultados da modelagem PLS com amostra teste.



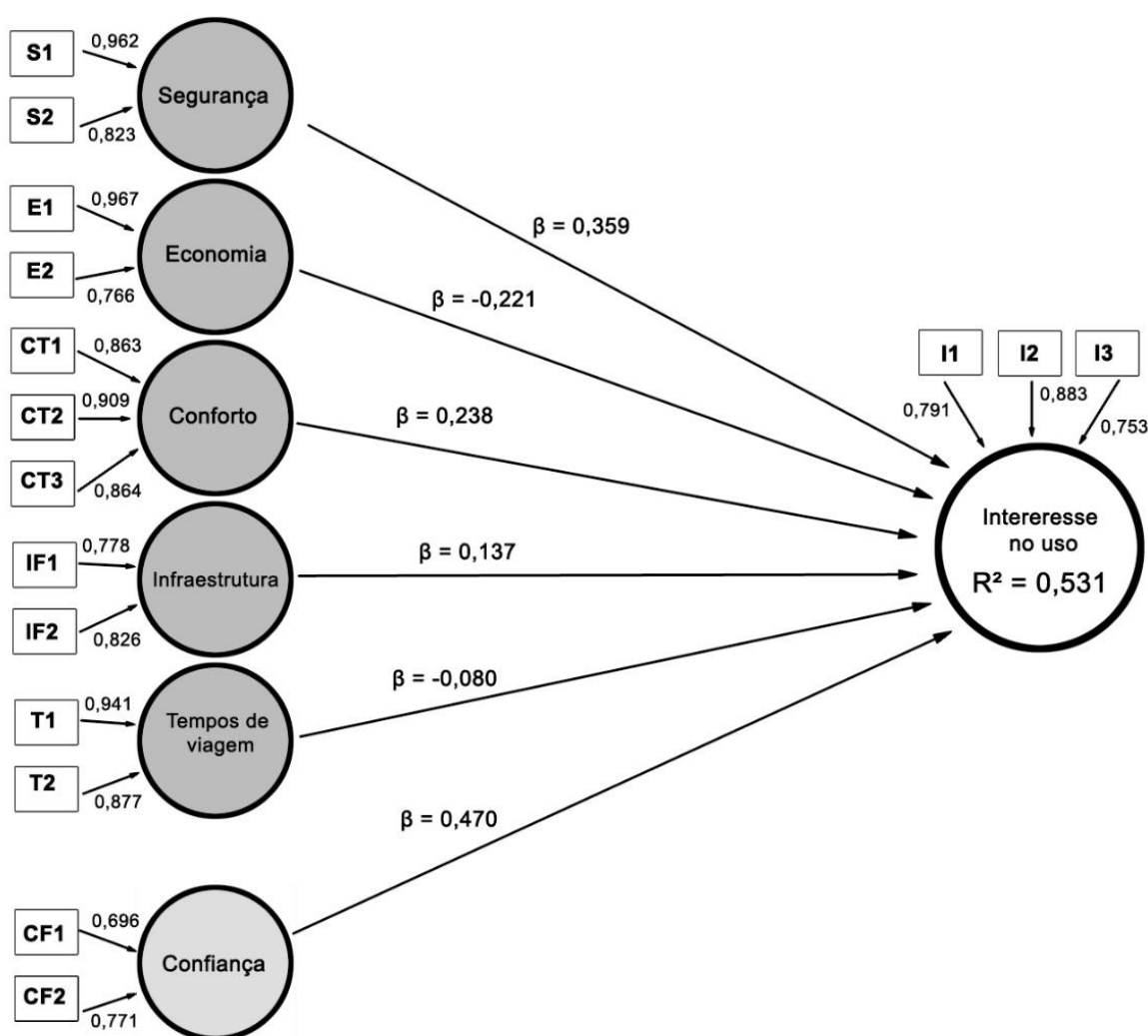
### a) Confiabilidade individual

A verificação da confiabilidade individual tem como função analisar os indicadores realmente refletem os construtos desejados. Para isso, são examinadas as cargas  $\lambda$  (ou loadings), que são as correlações simples dos indicadores e construtos, representadas acima das setas que os ligam. Segundo Falk e Miller (1992), devem ser aceitos valores de  $\lambda \geq 0,55$ , enquanto Carmines e Zeller (1979) indicam apenas valores de  $\lambda \geq 0,707$ . Adotando-se o primeiro critério, apenas o indicador CF3 não apresenta boa confiabilidade.

O indicador CF3 corresponde à questão “Veículos autônomos devem permitir que o passageiro assuma o controle da direção quando desejar”, respondida em uma escala de concordância de 1 a 7. Para tentar entender o motivo deste indicador não explicar bem a variável “Confiança”, foram analisados os resultados da questão. Verificou-se que cerca de 63% dos respondentes escolheu a opção 7 (concordo totalmente) e ainda que 85% dos respondentes escolheu as opções 5,6 ou 7. Portanto, há grande maioria dos respondentes acredita com certeza que os VAs devem permitir que o passageiro assuma o controle da direção quando desejar, embora não necessariamente isso indique uma falta de confiança na tecnologia, já que a distribuição das outras respostas que medem este construto foi muito mais espalhada. É possível que, mesmo havendo certo nível de confiança no VA, a maioria das pessoas ainda sinta relutância em abrir mão da possibilidade de assumir o controle do veículo quando desejam.

Assim, foi decidido que o indicador CF3 seria retirado do modelo, de forma que o cálculo foi refeito por meio do software com os resultados apresentados na figura 3.4. Desta vez, todos os  $\lambda$  são aceitos segundo o critério de Falk e Miller (1992), e apenas o CF1 seria rejeitado no critério de Carmines e Zeller (1979), ainda assim com valor muito próximo do limite. Portanto, considerou-se que os critérios de confiabilidade individual foram atendidos.

**Figura 3.4:** Resultados da segunda modelagem PLS com amostra teste.



#### b) Validade interna

A validade interna é verificada descartando problemas de multicolinearidade (quando variáveis independentes possuem relações lineares aproximadamente exatas). Segundo Myers (1990), essa condição está satisfeita quando o fator *Variance Inflation Factor* (VIF) é inferior a 10. Na amostra teste, o maior fator VIF calculado pelo *Smart PLS* foi o da variável “Economia”, com um valor de 3,728. Assim, a verificação da validade interna foi satisfeita.

#### c) Confiabilidade de construto

A confiabilidade de cada construto é uma medida que permite avaliar com que rigorosidade as variáveis manifestas estão medindo as latentes, validando o construto. Para verificá-la são usados coeficientes de medição de confiabilidade. O coeficiente escolhido para a isso na etapa de testes foi Confiabilidade Composta do construto (CR). Segundo Nunnally

(1978), valores superiores a 0,7 são aceitáveis para instrumentos novos ou em etapas iniciais de pesquisa, enquanto para estudos em etapas mais avançadas os valores devem ser superiores a 0,8.

O menor valor de CR encontrado pelo software na modelagem com a amostra teste foi o da variável “Confiança”, com um valor de exatamente 0,7. Assim, considerando que se trata de um instrumento novo (um questionário elaborado para o fim da pesquisa) e uma pesquisa em etapas iniciais, as condições de confiabilidade dos construtos foram consideradas satisfeitas.

#### **d) Validade convergente**

Para verificar a consistência interna do modelo, deve ser analisada a sua validade convergente. Para isso, considera-se o fator AVE, que indica que todos os itens que medem um construto estão realmente medindo o mesmo. Fornell e Larcker (1981) sugerem que existe validade quando  $AVE \geq 0,5$ . O menor valor desse índice na modelagem com a amostra teste foi de 0,54, correspondente a variável “Confiança”. Assim, as condições de validade convergente foram consideradas satisfeitas.

#### **e) Validade discriminante**

Por último, a verificação da validade discriminante é feita para avaliar o grau com que cada construto apresentado é diferente dos outros, ou seja, se não existem construtos muito parecidos. Para isso, foram verificadas as cargas cruzadas dos indicadores com cada variável latente. O critério considerado foi de que a carga cruzada de cada indicador com construto que pretende medir deve ser maior do que sua carga com os outros construtos, indicando que estes estão bem definidos e diferenciados. A tabela 3.1 representa as cargas cruzadas dos indicadores para cada construto na modelagem da amostra teste, com a carga referente ao construto que os indicadores devem medir em negrito. Verifica-se, portanto, que as condições de validade discriminante foram satisfeitas.

**Tabela 3.1:** Cargas cruzadas para a modelagem PLS com a amostra teste.

Item	Confiança	Conforto	Economia	Interesse no uso	Infraestrutura	Segurança	Tempos de viagem
CF1	<b>0,695</b>	0,129	0,238	0,432	0,094	0,308	0,192
CF2	<b>0,772</b>	0,381	0,009	0,489	0,378	0,099	0,390
CT1	0,326	<b>0,866</b>	0,119	0,405	0,674	0,172	0,500
CT2	0,343	<b>0,906</b>	0,219	0,477	0,731	0,180	0,489
CT3	0,270	<b>0,865</b>	0,118	0,417	0,573	0,092	0,518
E1	0,205	0,129	<b>0,966</b>	0,218	0,226	0,845	0,316
E2	-0,005	0,238	<b>0,769</b>	0,089	0,333	0,556	0,445
I1	0,551	0,410	-0,016	<b>0,795</b>	0,345	0,151	0,321
I2	0,586	0,417	0,270	<b>0,879</b>	0,455	0,390	0,255
I3	0,358	0,377	0,232	<b>0,752</b>	0,349	0,305	0,283
IF1	0,215	0,448	0,360	0,352	<b>0,768</b>	0,381	0,393
IF2	0,313	0,740	0,114	0,410	<b>0,835</b>	0,133	0,481
S1	0,326	0,156	0,760	0,387	0,265	<b>0,964</b>	0,304
S2	0,072	0,156	0,791	0,178	0,320	<b>0,819</b>	0,290
T1	0,404	0,613	0,395	0,365	0,647	0,348	<b>0,942</b>
T2	0,319	0,391	0,300	0,255	0,293	0,227	<b>0,876</b>

### 3.3.3 Fase 3 para o pré-teste: valoração do modelo estrutural

Na valoração do modelo estrutural, as verificações têm como objetivo examinar se as relações de causalidade entre as variáveis latentes esperadas pelo pesquisador realmente existem, ou seja, se as relações entre os construtos colocadas nos modelos são significativas. Entretanto, o fato de algumas verificações não serem verificadas é, em si próprio, um resultado importante, de modo que não significa que o modelo deve ser descartado. Se, por outro lado nenhuma ou muito poucas relações forem significativas, o modelo fica sem valor.

#### a) Variâncias de variáveis endógenas

As variáveis endógenas são as variáveis latentes dependentes de outras também latentes no modelo, ou seja, no caso deste trabalho apenas o “Interesse de uso” recebe essa classificação. O fator  $R^2$  mede a porcentagem da variância de uma variável endógena que é explicado pelas variáveis latentes ligadas a mesma. Segundo Falk e Miller (1992), valores de  $R^2$  abaixo de 0,1 não são significativos estatisticamente. Como o valor de  $R^2$  encontrado no modelo foi de 0,531 (vide figura 3.6), considera-se que o “Interesse de uso” é significativamente explicado pelas outras variáveis.

## b) Coeficientes de caminho

Os coeficientes de caminho  $\beta$  indicam o grau com cada variável independente explica as variáveis endógenas com as quais tem relação. Seus valores representam os pesos de regressão padronizados. Os  $\beta \geq 0,2$  são considerados significativos, embora idealmente se esperem valores de  $\beta \geq 0,3$  (CHIN, 1998). Assim, conforme verifica-se na figura 3.6, foram encontradas relações significativas ente variáveis latentes, de modo que foi considerado que seria válido aplicar o modelo para a amostra completa da pesquisa. Portanto, as interpretações dos resultados da modelagem serão realizadas apenas com os para a amostra completa.

## c) *Bootstrapping*

O *Bootstrapping* é um tipo diferente de análise que pode ser realizado como comparação com as estimativas oferecidas pela análise PLS (CHIN, 1998). Esta análise fornece os *T-values* para cada relação entre variáveis latentes, que devem ser comparados com o valor de *T-Student* para testar o nível de significância estatística dessas relações. Para o nível de confiança de 95% escolhido, o valor de *T-Student* é de 1,960. A tabela 3.2 apresenta dos valores dos *T-values* encontrados a partir do *Bootstrapping* realizado pelo *Smart PLS* para a amostra teste.

Embora apenas a relações entre a variável “Confiança” e o “Interesse de uso” tenham apresentados valores significativos de acordo com o critério do valor de *T-Student*, outros valores aparecem com relações próximas ao valor esperado e os *T-values* tendem a aumentar com o aumento da amostra, de modo que foi considerado que seria válido aplicar o modelo para a amostra completa da pesquisa.

**Tabela 3.2:** Resultados do *Bootstrapping* para a modelagem PLS com a amostra teste.

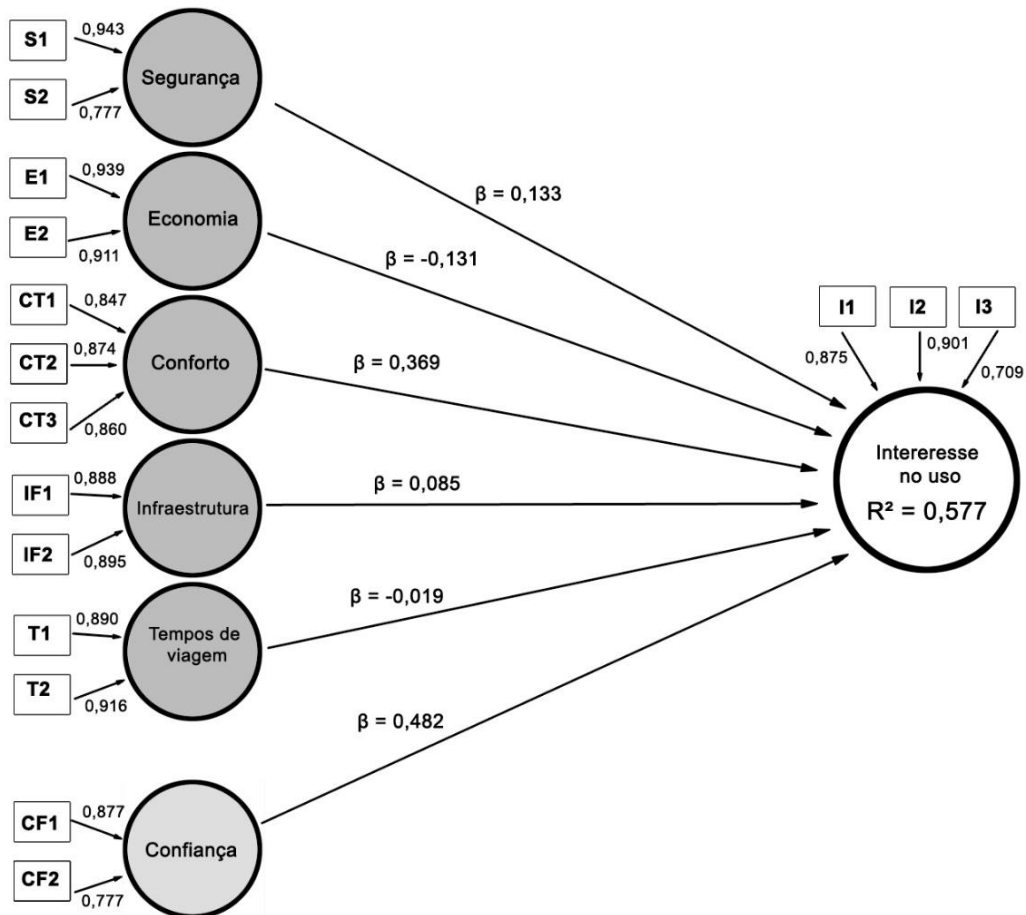
Relação	T-value
Confiança -> Interesse de uso	3,707
Conforto -> Interesse de uso	1,333
Economia -> Interesse de uso	1,306
Infraestrutura -> Interesse de uso	0,716
Segurança -> Interesse de uso	1,871
Tempos de viagem -> Interesse de uso	0,591



### 3.3.4 Fase 2 para amostra completa: validade e confiabilidade do modelo de medição

Com o modelo testado, foi finalizada a coleta de repostas do questionário, alcançado um total de 513 respondentes. Com a amostra completa, o modelo foi aplicado no software *Smart PLS*. O programa realizou o cálculo utilizando seu algoritmo de regressão PLS, gerando os resultados representados na figura 3.5:

Figura 3.5: Resultados da modelagem PLS com amostra completa.



#### a) Confiabilidade individual

Todos os valores de  $\lambda$  encontrados foram superiores aos limites de Falk e Miller (1992) de  $\lambda \geq 0,55$ , e de Carmines e Zeller (1979) de  $\lambda \geq 0,707$ . Assim, os critérios de confiabilidade individual foram considerados satisfeitos, de modo que os indicadores refletem significativamente os construtos.

## b) Validade interna, confiabilidade de construto e validade convergente

A tabela 3.3 apresenta: os valores de VIF para cada variável independente; os valores de CR calculados pelo software para cada variável do modelo; e os valores de AVE para cada variável latente.

**Tabela 3.3:** Indicadores VIF, Confiabilidade Composta e AVE para a modelagem PLS com a amostra completa.

Variável	VIF	Confiabilidade Composta	AVE
Confiança	1,430	0,814	0,687
Conforto	1,680	0,895	0,74
Economia	2,332	0,923	0,856
Infraestrutura	1,949	0,886	0,795
Interesse no uso	-	0,87	0,693
Segurança	2,196	0,853	0,746
Tempos de viagem	2,269	0,898	0,816

A validade interna é verificada descartando problemas de multicolinearidade (quando variáveis independentes possuem relações lineares aproximadamente exatas). Segundo Myers (1990), essa condição está satisfeita quando o fator VIF é inferior a 10. Verifica-se que todos os valores se encontram abaixo do limite estabelecido, de forma que os critérios de validade interna foram satisfeitos.

O coeficiente escolhido para a verificar a validade dos construtos foi a Confiabilidade Composta do construto (CR). Segundo Nunnally (1978), valores superiores a 0,7 são aceitáveis para instrumentos novos ou em etapas iniciais de pesquisa, enquanto para estudos em etapas mais avançadas os valores devem ser superiores a 0,8. Verificou-se que, para o índice CR, todos os valores se encontram superiores a 0,8, de modo que as condições de confiabilidade dos construtos foram consideradas satisfeitas.

O critério utilizado para verificação da validade convergente é o AVE, com Fornell e Larcker (1981) sugerindo que existe validade quando  $AVE \geq 0,5$ . Verifica-se que todos os valores se encontram acima do limite estabelecido, de forma que os critérios de validade convergente foram satisfeitos.

### e) Validade discriminante

A tabela 3.4 representa as cargas cruzadas dos indicadores para cada construto na modelagem da amostra completa, com a carga referente ao construto que os indicadores devem medir em negrito. O critério considerado foi de que a carga cruzada de cada indicador com construto que pretende medir deve ser maior do que sua carga com os outros construtos, indicando que estes estão bem definidos e diferenciados. Verifica-se, portanto, que as condições de validade discriminante foram satisfeitas.

**Tabela 3.4:** Cargas cruzadas para a modelagem PLS com a amostra completa.

Item	Confiança	Conforto	Economia	Interesse no uso	Infraestrutura	Segurança	Tempos de viagem
CF1	<b>0,877</b>	0,281	0,229	0,606	0,177	0,475	0,256
CF2	<b>0,777</b>	0,312	0,297	0,462	0,274	0,33	0,448
CT1	0,316	<b>0,847</b>	0,45	0,488	0,455	0,427	0,459
CT2	0,318	<b>0,874</b>	0,382	0,517	0,507	0,388	0,428
CT3	0,276	<b>0,86</b>	0,364	0,482	0,513	0,333	0,451
E1	0,313	0,437	<b>0,939</b>	0,311	0,485	0,65	0,599
E2	0,257	0,419	<b>0,911</b>	0,26	0,488	0,575	0,584
I1	0,574	0,497	0,245	<b>0,875</b>	0,319	0,381	0,355
I2	0,638	0,528	0,31	<b>0,901</b>	0,359	0,464	0,378
I3	0,384	0,406	0,211	<b>0,709</b>	0,336	0,337	0,28
IF1	0,217	0,532	0,512	0,354	<b>0,888</b>	0,428	0,55
IF2	0,251	0,487	0,424	0,364	<b>0,895</b>	0,388	0,555
S1	0,499	0,402	0,53	0,505	0,398	<b>0,943</b>	0,452
S2	0,322	0,379	0,699	0,267	0,417	<b>0,777</b>	0,523
T1	0,392	0,462	0,565	0,345	0,582	0,489	<b>0,89</b>
T2	0,346	0,474	0,59	0,391	0,541	0,485	<b>0,916</b>

### 3.3.5 Fase 3 para amostra completa: valoração do modelo estrutural

Na valoração do modelo estrutural foram determinadas quais das relações esperadas pelo pesquisador e indicadas na descrição do modelo se concretizaram.

#### a) Variâncias de variáveis endógenas

Segundo Falk e Miller (1992), valores de  $R^2$  abaixo de 0,1 não são significativos estatisticamente. Como o valor de  $R^2$  encontrado no modelo foi de 0,577 (vide figura 3.7), considera-se que o “Interesse de uso” é significativamente explicado pelas outras variáveis.

## b) Coeficientes de caminho

Os coeficientes de caminho  $\beta$  indicam o grau com cada variável independente explica as variáveis endógenas com as quais tem relação. Os  $\beta \geq 0,2$  são considerados significativos, embora idealmente se esperem valores de  $\beta \geq 0,3$  (CHIN, 1998). Assim, conforme verifica-se na figura 3.7, foram encontradas relações significativas entre as variáveis latentes “Conforto” e “Confiança” o “Interesse de Uso”, enquanto as “Segurança” e “Economia” apresentaram relações pouco significativas e “Infraestrutura” e “Tempos de Viagem” apresentaram influências mínimas. Ainda, foi encontrado que a variável “Economia” possui uma relação negativa com o “Interesse de Uso”. A análise destes resultados foi realizada no capítulo 4 deste trabalho.

## c) Bootstrapping

Ainda considerando o nível de confiança de 95% escolhido, o valor de *T-Student* é de 1,960. A tabela 3.5 apresenta dos valores dos *T-values* encontrados a partir do *Bootstrapping* realizado pelo *Smart PLS* para a amostra completa:

**Tabela 3.5:** Resultados do Bootstrapping para a modelagem PLS com a amostra completa.

Relação	T-value
Confiança -> Interesse de uso	11,358
Conforto -> Interesse de uso	7,141
Economia -> Interesse de uso	2,546
Infraestrutura -> Interesse de uso	1,835
Segurança -> Interesse de uso	2,818
Tempos de viagem -> Interesse de uso	0,318

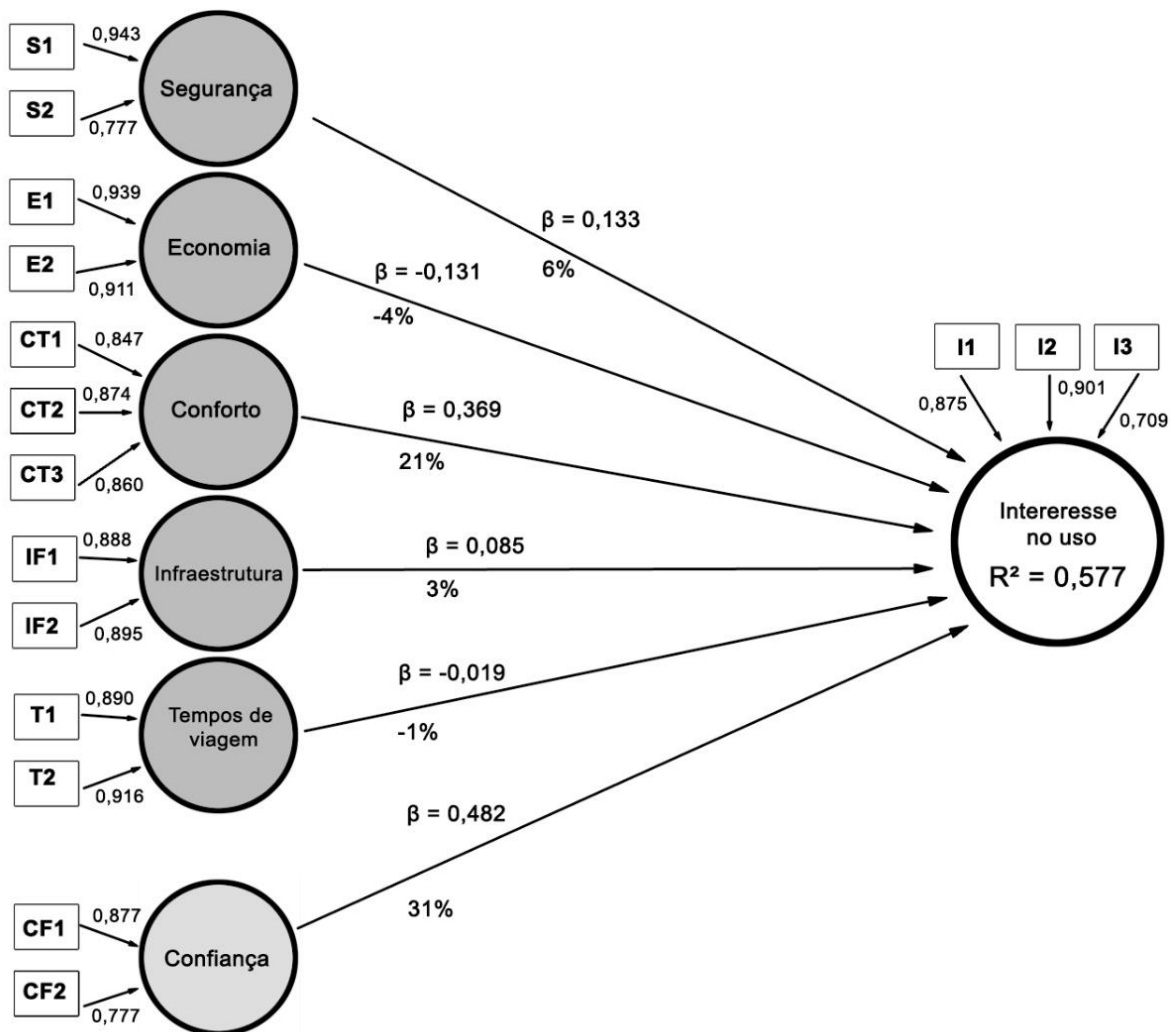
Todas as variáveis exceto “Infraestrutura” e “Tempos de Viagem” apresentaram *T-values* superiores ao valor de 1,960 de *T-Student*. Esses resultados estão em concordância com a modelagem PLS, tendo em vista que as mesmas variáveis não apresentaram relações significativas estatisticamente com o “Interesse de Uso” nas duas análises, e as variáveis com relações consideradas pouco significativas na modelagem PLS apresentaram *T-values* mais próximos ao limite de 1,960.

Com as verificações de confiabilidade e validade realizadas, bem como com a conclusão da valoração do modelo, a próxima etapa foi a análise dos resultados, descrita no capítulo 4 deste trabalho.

### 3.3.6 Modelo final e conversão dos coeficientes $\beta$ em porcentagem

A figura 3.6 apresenta o modelo com a amostra final e as porcentagens P de influência das variáveis:

**Figura 3.6:** Resultados da modelagem PLS com amostra completa e porcentagens P.



Embora os valores de  $\beta$  representem os pesos de regressão padronizados e, portanto, sejam uma medida do grau com que as variáveis independentes explicam as dependentes, compreender a dimensão dessa relação nem sempre é de fácil a partir deles. Para tornar essa medida mais simples e acessível, foram calculadas as porcentagens P da variância de um construto que é explicada por cada uma das variáveis independentes, por meio do processo descrito no final do apêndice A3.

Verifica-se que as somas das porcentagens de influência de cada construto sobre a variável “Interesse de uso” é igual ao valor  $R^2$ , que representa do total de sua variância que é explicado pelas outras variáveis. Portanto, os resultados são coerentes.

### **3.4 Tópicos conclusivos**

Assim, conclui-se o capítulo relativo a metodologia de elaboração e aplicação do questionário e do modelo PLS. Nele, foi possível elaborar um questionário que é um instrumento confiável e válido de pesquisa. A aplicação deste questionário foi bem sucedida, alcançando um número de respondentes superior a amostra mínima necessária para haver boa representatividade da população. Também foi construído um modelo válido e confiável que busca explicar os fatores que influenciam no interesse no uso de VAs. No capítulo 4, a seguir, estão apresentados os resultados e análises do questionário e da modelagem PLS.

## **4 RESULTADOS DA PESQUISA DE OPINIÃO E DA MODELAGEM COM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS**

### **4.1 Apresentação**

Este capítulo trata da apresentação e análise dos dados reunidos por meio do questionário, que foi aplicado entre os dias 3 de outubro e 10 de novembro de 2017 por meio da ferramenta *Google Forms*®. Foram obtidas 526 respostas, das quais 13 foram descartadas por não se tratarem de usuários regulares de carros (identificados através da primeira pergunta). Assim, a amostra final foi de 513 respondentes.

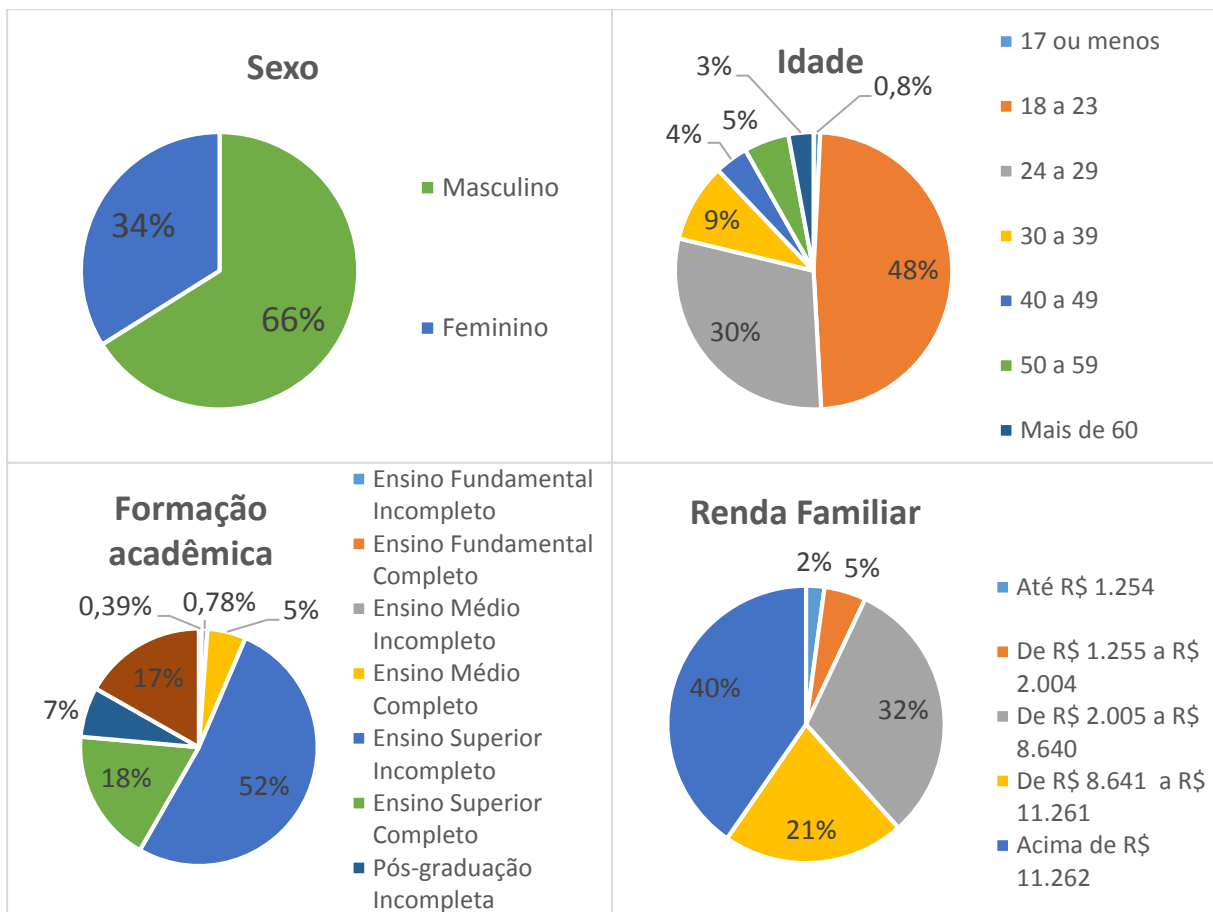
O capítulo está dividido em 7 partes: apresentação, caracterização da amostra; apresentação e análises empíricas dos resultados; análises estatísticas dos resultados; análises cruzadas de resultados; análise dos resultados da modelagem PLS; e conclusões dos resultados e análises.

### **4.2 Caracterização da amostra**

Devido ao tipo de amostragem utilizado na pesquisa (não probabilístico) a caracterização da amostra é de grande importância, tendo em vista que esse tipo de amostragem representa apenas a população de indivíduos semelhantes aos indivíduos incluídos na mesma (VIEIRA, 2009). Portanto, a amostra é composta por usuários de automóveis no Distrito Federal com as características de sexo, idade, grau de escolaridade e renda familiar identificados por meio de questões do questionário. Assim, as características sociodemográficas da amostra estão representadas nos gráficos da figura 4.1.

Verifica-se que a maioria dos respondentes são homens de 18 a 23 anos e estudantes universitários com renda familiar superior a R\$ 11.262. A amostra é, portanto, especialmente representativa destes grupos. Entretanto, houve também uma quantidade representativa de respondentes mulheres, bem como de idade de 24 a 29 anos, de ensino superior completo e também pós-graduação, e de renda entre R\$ 2.005 e R\$ 11.261. Os grupos com pior representação foram: jovens de menos de 18 anos e idosos; de baixo grau de escolaridade; e de baixa renda familiar. A amostragem de conveniência tende a ter problemas de representatividade de alguns grupos, motivo pelo qual a caracterização da amostra é tão importante.

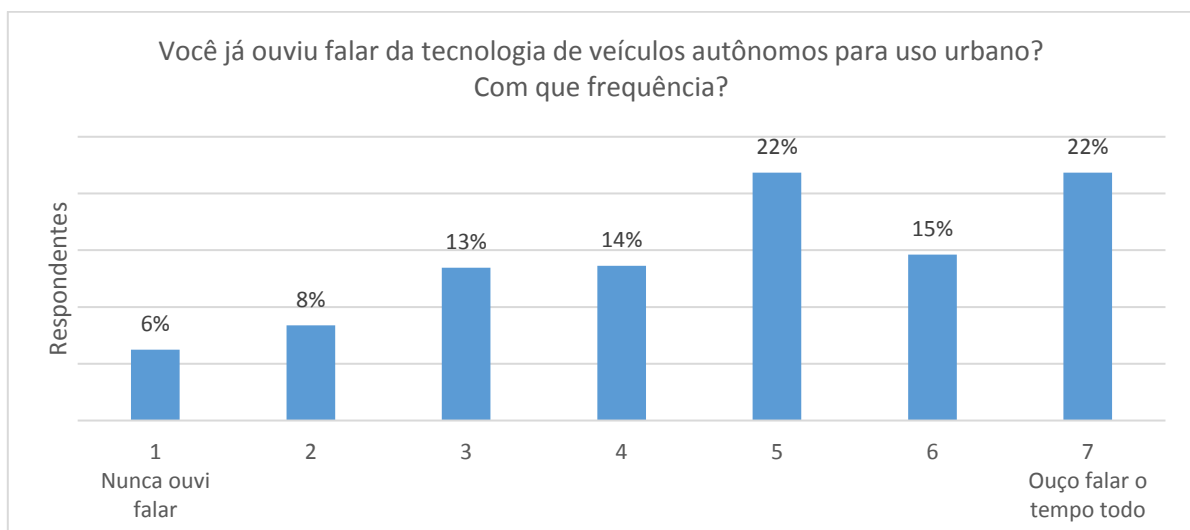
**Figura 4.1:** Características sociodemográficas da amostra final.



### 4.3 Apresentação e análises empíricas dos resultados

As respostas obtidas no questionário estão representadas nas figuras de 4.2 a 4.29 desta seção, no formato de gráficos e em porcentagens do total de 513 respondentes. Seguida das figuras está a análise empírica de seus resultados:

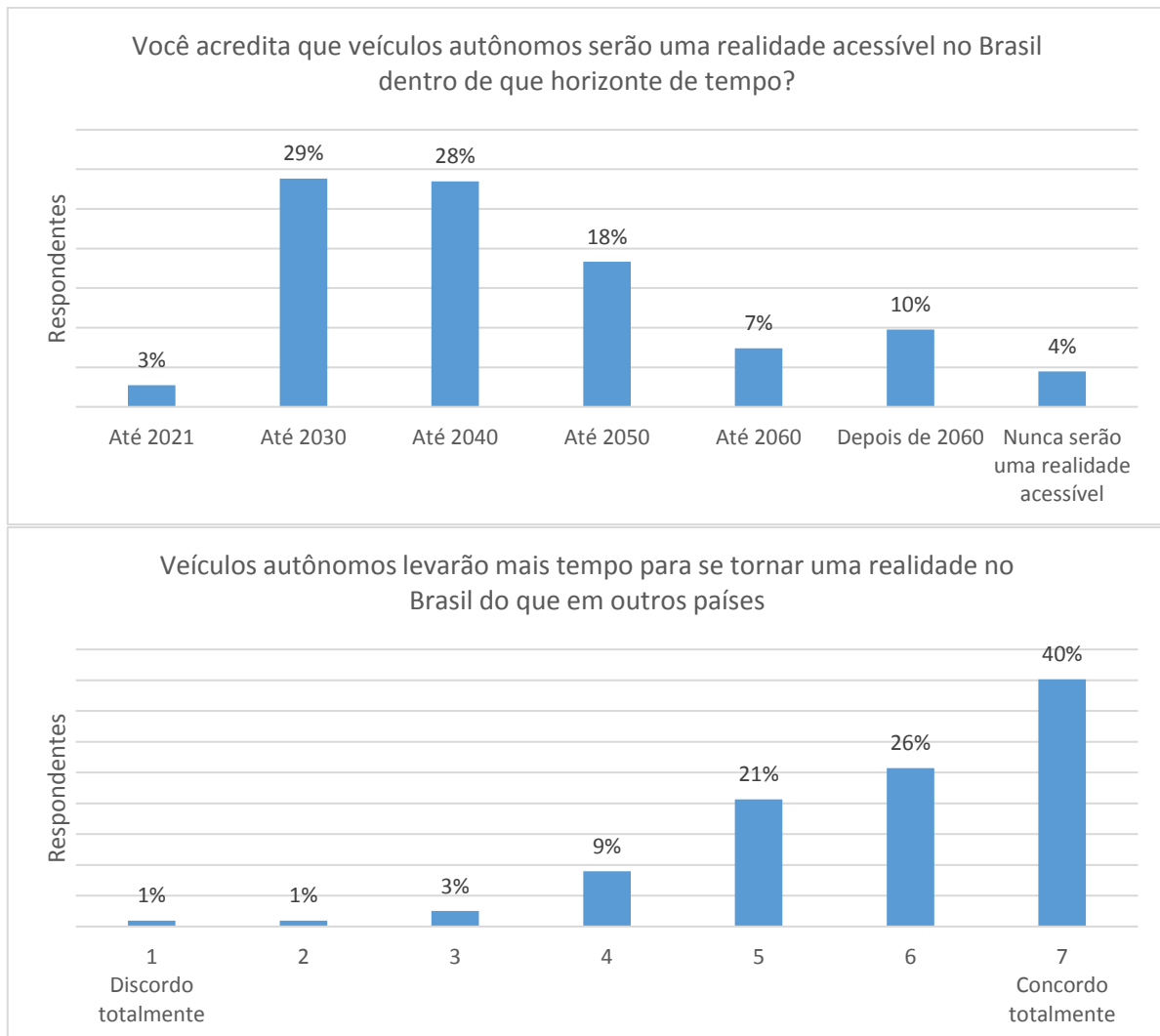
**Figura 4.2** Respostas da questão sobre o nível de conhecimento a respeito de VAs.





Os resultados mostram que as respostas mais escolhidas foram a 5 e a 7, e ainda que 59% dos responderam com opções acima de 4, que seria a opção mais neutra. Isso indica que a amostra tem, em sua maioria, algum conhecimento prévio sobre VAs. Isso pode ser explicado, possivelmente, por dois fatores: o grau de escolaridade dos respondentes e a notoriedade que o tema dos veículos autônomos tem alcançado na mídia recentemente. Por exemplo, a capa da edição 2554 da revista Veja, de novembro de 2017, estampa o título “A revolução dos carros sem motorista”. Além disso, pelo fato da amostra ser composta majoritariamente por estudantes universitários ou pessoas de grau superior de escolaridade, é possível que ela seja mais ligada a temas relacionados a inovações tecnológicas. Se a pesquisa tivesse sido feita com pessoas de menor grau de escolaridade, é possível que os resultados encontrados estivessem mais concentrados na parte esquerda do gráfico.

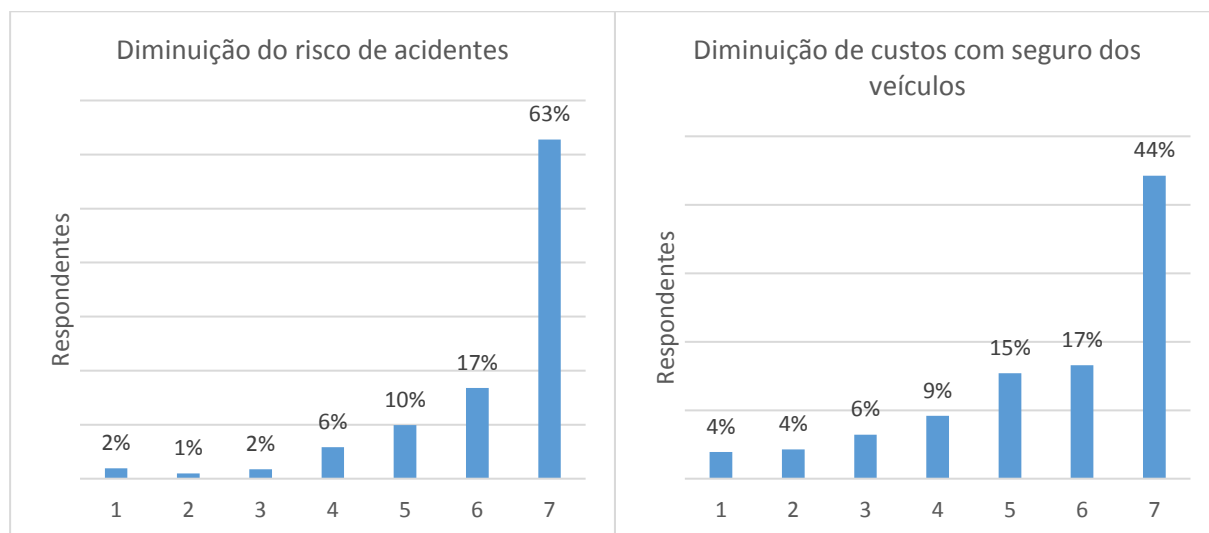
**Figura 4.3** Respostas das questões sobre o horizonte de tempo para os VAs se tornarem uma realidade no Brasil.



Os resultados indicam que apenas uma pequena minoria dos respondentes (3%) acredita que os VAs serão uma verdade acessível no Brasil até o ano de 2021, quando diversas montadoras pretendem lançar veículos com esse tipo de tecnologia. Entretanto, a maioria dos respondentes acredita que a tecnologia será uma realidade acessível no país até o ano de 2040 ou até mesmo 2030 (57%), ou seja, dentro de um horizonte de tempo relativamente curto (cerca de 20 anos). Novamente, isso pode ser explicado pela notoriedade do tema na mídia recentemente, que tende a destacar os avanços e aumentar o otimismo com relação à tecnologia. Entretanto, vale notar também que uma quantidade considerável de pessoas percebe a tecnologia com ainda muito distante, apenas se tornando acessível após o ano de 2060 (10%), embora apenas 4% acreditem que nunca será uma realidade acessível.

Por outro lado, o segundo gráfico indica resultados quase unânimes de que os respondentes acreditam que os VAs levaram mais tempo para chegar ao Brasil que a outros países, com 40% dos respondentes escolhendo a opção 7 e ainda 87% escolhendo opções acima de 4. Isso pode ser explicado pelo próprio histórico de adoção de novas tecnologias no Brasil, que tende a levar mais tempo do que em países europeus ou norte-americanos, bem como com a percepção dos problemas de infraestrutura do país.

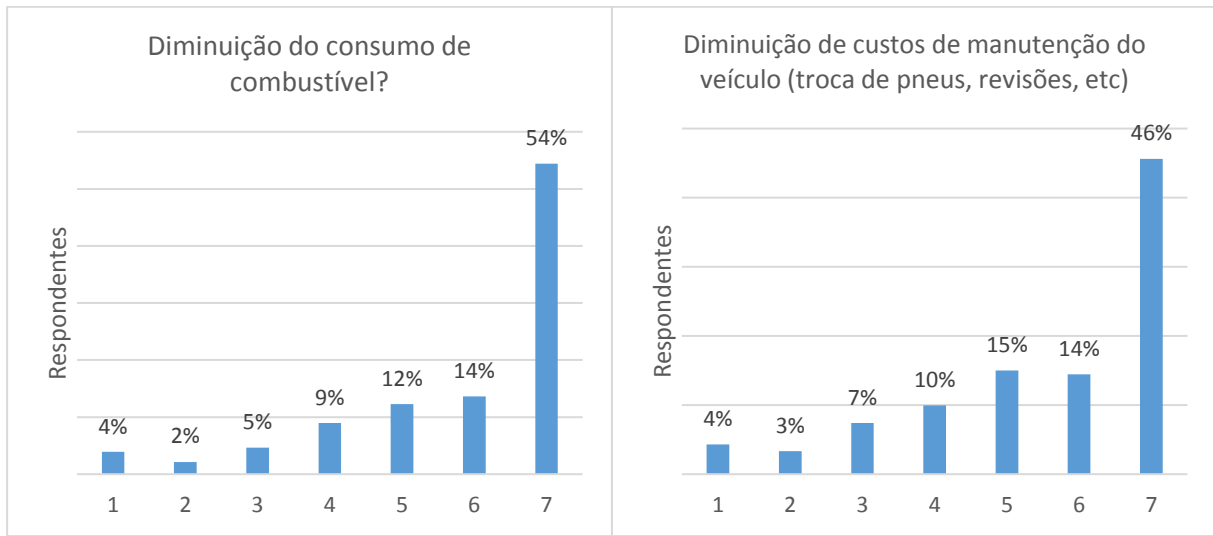
**Figura 4.4** Respostas das questões sobre interesse em melhorias de segurança



Por se tratarem de perguntas com relação ao interesse em benefícios, era esperado que a maioria das respostas estivesse concentrada no lado direito dos gráficos. Entretanto, o grau de concentrações de repostas acima de 4 é um bom indicador do grau de interesse em cada benefício, quando colocado comparativamente com os outros. O benefício da figura 4.8 foi o que obteve maior concentração de respostas na opção 7, indicando que a maioria das pessoas (63%) tem interesse alto no aumento de segurança que os VAs podem gerar, e ainda que esse

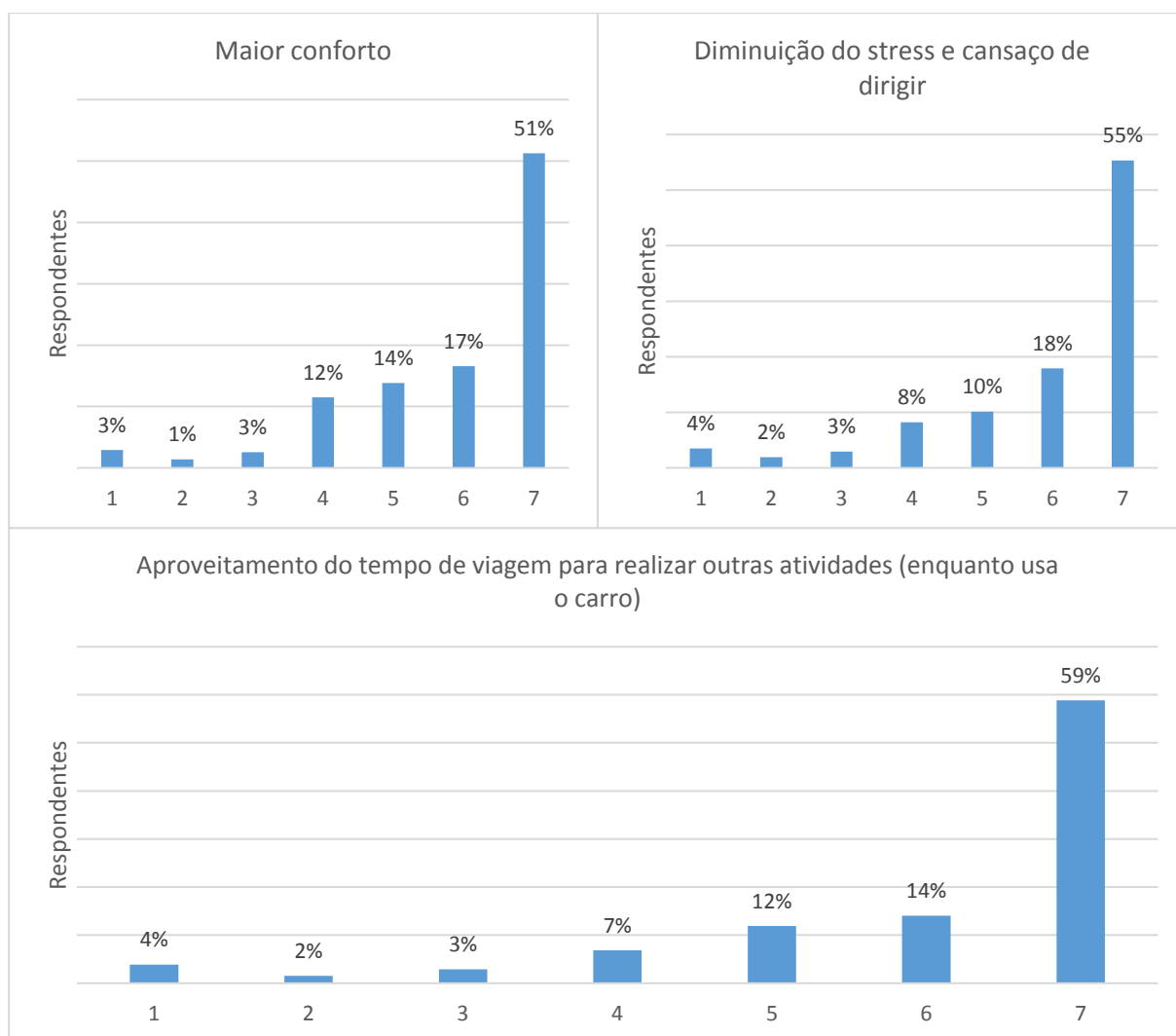
é um benefício potencial que é perceptível como real para o público. Por outro lado, o interesse em reduções de gastos com seguros, apesar de também relacionado com a segurança, obteve grau bem menor de interesse. Possivelmente, isso pode ser explicado por dois motivos: primeiro, que as pessoas valorizam mais a segurança pela questão da integridade física do que pela questão de danos materiais. Segundo, que na percepção das pessoas não haverá queda significativa nos gastos com seguros veiculares com a automação dos mesmos.

**Figura 4.5** Respostas das questões sobre interesse em melhorias de para economia de gastos



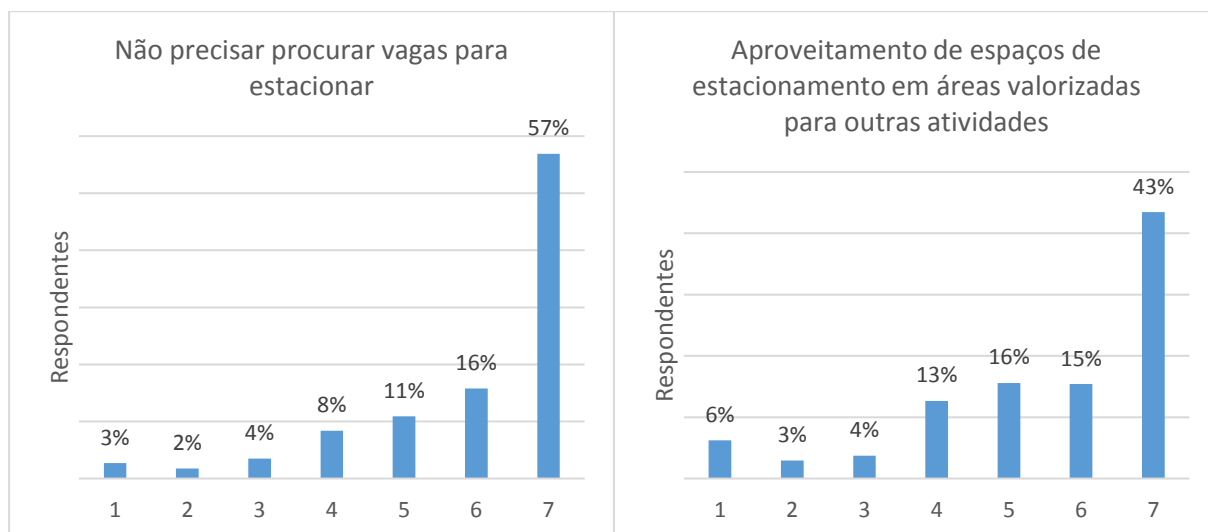
Novamente, foram verificados graus altos de interesse em benefícios relacionados com a economia de gastos relacionada a VAs, embora em um pouco menores do que o interesse me aumento de segurança. Isso pode ser explicado, possivelmente, por esses benefícios serem um pouco menos perceptíveis ao público do que os benefícios de segurança. No caso da questão do segundo gráfico, que mostra um grau de interesse mais baixo que o do primeiro, é possível ainda que na percepção das pessoas os VAs venham a acarretar novos gastos de manutenção específicos dessa tecnologia, de modo que elas não percebam redução tão significativa de gastos com manutenção.

**Figura 4.6** Respostas das questões sobre interesse em aumento de conforto.



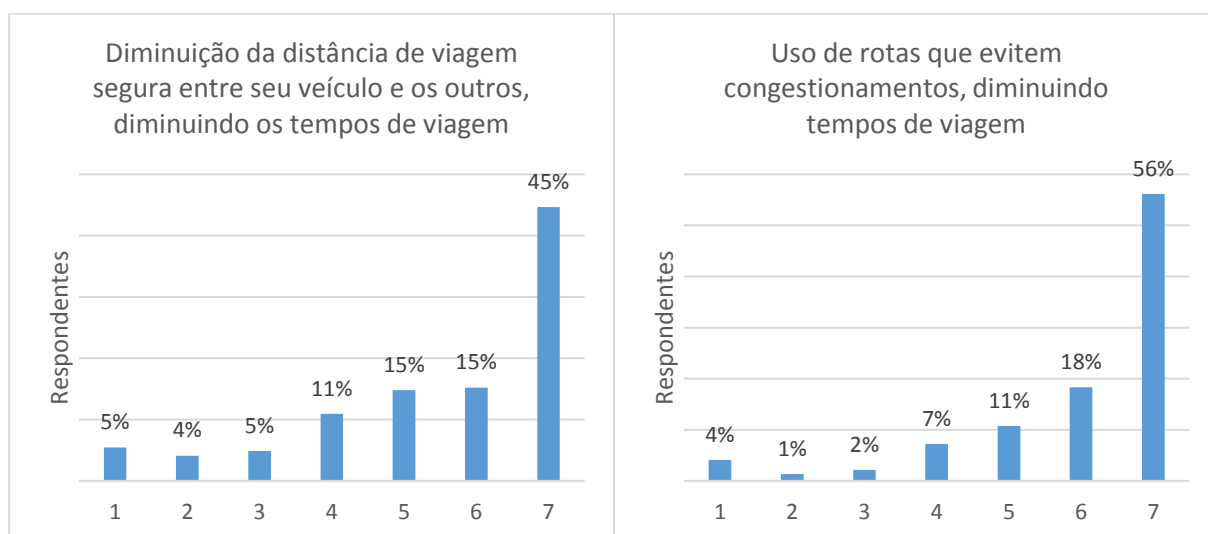
As três questões com relação ao aumento de conforto que os VAs podem possibilitar obtiveram graus altos de interesse, indicando que há um certo grau de unanimidade no interesse por esse tipo de interesse, diferente do interesse demonstrado no aumento de segurança e de redução de gastos, onde houve discrepância maior entre os resultados de cada pergunta. É possível que essas melhorias de conforto sejam os benefícios mais facilmente perceptíveis para o usuário, com a possibilidade de se livrar da obrigação de controlar o veículo como uma mudança significativa na maneira de utilizar o carro. A pergunta do primeiro gráfico obteve um grau um pouco inferior de interesse do que as outras, o que pode ser explicado, possivelmente, pelas melhorias de conforto relacionadas a VAs (por exemplo, mais espaço interno devido a ausência de um volante) serem menos perceptíveis ao público.

**Figura 4.7** Respostas das questões sobre interesse em melhorias com infraestrutura.



Os resultados de interesse em melhorias relacionadas a infraestrutura de estacionamentos obtiveram graus de interesse um pouco menores do que os outros, com a pergunta do segundo gráfico possuindo o menor grau de interesse, em geral. É provável que isso se dê por se tratar de um benefício menos perceptível individualmente e mais comunitariamente. Além disso, por se tratar de uma pesquisa realizada no Distrito Federal, região com relativamente poucos problemas com questões de estacionamento, é possível que o grau de interesse tenha sido reduzido. É possível que se a pesquisa tivesse sido conduzida em cidades com maiores problemas nessa área, como por exemplo São Paulo, o interesse nesses benefícios fosse mais significativo.

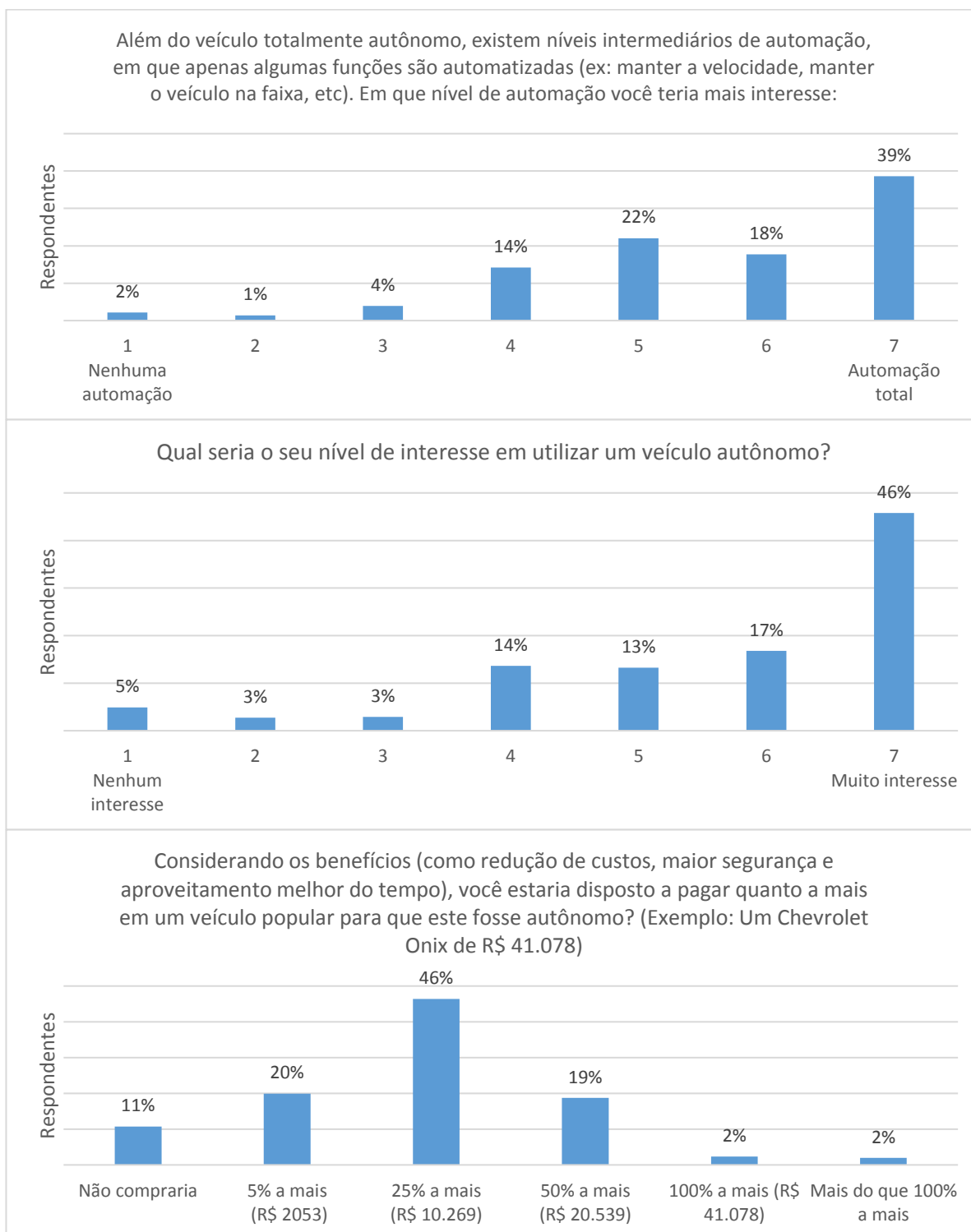
**Figura 4.8** Respostas das questões sobre interesse em redução de tempos de viagem.



Os resultados relacionados ao interesse em redução de tempos de viagem também foram um pouco mais reduzidos com relação aos outros, com a pergunta da figura 4.17

obtendo resultados bem distribuídos entre os graus 4 e 6. É possível que isso tenha ocorrido devido a um desconforto que pode ser causado pela diminuição da distância entre veículos, que diminui o interesse neste benefício. Ainda, é possível que algumas pessoas não vejam a possibilidade de uso de rotas que evitem congestionamentos como algo inerente aos VAs, tendo em vista que já existem tecnologias que existem com esse fim atualmente.

**Figura 4.9** Respostas das questões sobre interesse em uso de VAs.



As respostas da questão do segundo gráfico indicam que, de forma geral, há um alto grau de interesse no uso de veículos autônomos por parte da amostra, com 46% das respostas na opção 7. Há ainda uma taxa baixa de rejeição da tecnologia, com apenas 11% dos respondentes escolhendo respostas abaixo de 4 e com 14% escolhendo a resposta neutra.

Por outro lado, o primeiro gráfico mostra que, apesar do interesse no uso de VAs, ainda há uma tendência de optar por graus intermediários de automação, com apenas 39% dos respondentes com interesse na automação total. Ao mesmo tempo, foi verificado um grau muito baixo de rejeição total a automação, com apenas 2% das respostas. Isso é um possível indicativo de que, para melhorar a aceitação da tecnologia e evitar resistências mais fortes, um processo de automação gradual seja uma boa opção de mercado para as montadoras, oferecendo graus de automação aos poucos com o decorrer dos anos.

Fazendo um paralelo com os graus de automação definidos pela NHTSA (2013), as respostas parecem indicar que há um interesse de cerca de 39% dos respondentes em um grau 4 de automação, enquanto cerca de 54% dos respondentes teriam interesse em graus entre 2 e 3 de automação. Isso pode ser explicado, em parte, por uma dificuldade das pessoas em abrir mão do controle total do automóvel, mesmo que tenham interesse nos benefícios da automação.

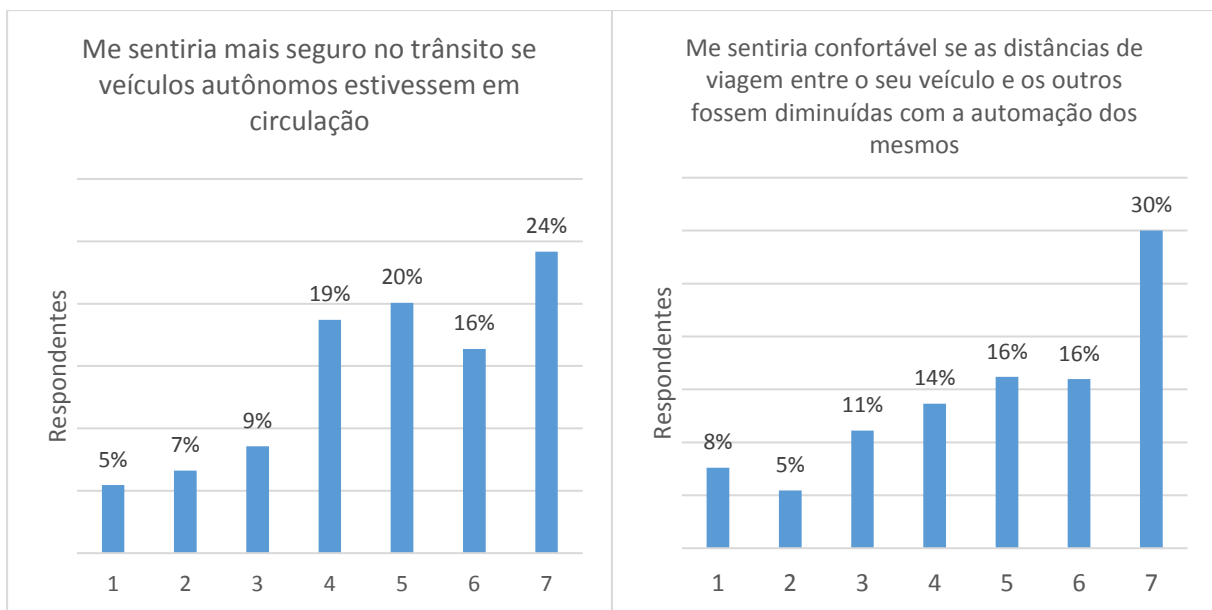
Por fim, o terceiro gráfico oferece um parâmetro econômico para medir o interesse de compra de VAs. O resultado de maior concentração de respostas foi a opção de pagar até 25% a mais pela automação, cerca de 10 mil reais, de acordo com o exemplo fornecido como parâmetro. Ainda, há concentrações consideráveis de respostas nas opções de 5% a mais (cerca de 2 mil reais) e 50% a mais (cerca de 20 mil). Essas faixas de preço parecem ser dificilmente alcançáveis para essas tecnologias dentro de um futuro próximo, tendo em vista que atualmente veículos autônomos custam cerca de 100 mil dólares a mais do que seus modelos comuns (FAGNANT e KOCKELMAN, 2015).

Mesmo assim, se existe perspectiva de barateamento de VAs, e se os benefícios econômicos de redução de gastos que são esperados se concretizarem e forem perceptíveis aos usuários, é possível que as pessoas se disponham a pagar mais pela tecnologia. Como visto anteriormente, Fagnant e Kockelman (2015) estimam que, para preços de até 10 mil dólares a mais para VAs, é possível obter um retorno econômico de até 68% em um período de uso de 15 anos de um carro. Ainda, é interessante verificar que 11% dos respondentes não se

mostram dispostos a comprar um veículo autônomo, exatamente a porcentagem de respondentes que afirmou ter interesse abaixo de 4 no seu uso.

É possível também que algumas pessoas que responderam ter interesse no uso de VAs tenham assinalado esta opção, pois apenas usariam essa tecnologia se fosse em serviços de transporte particular ou de compartilhamento de veículos, não tendo interesse em adquirir um VA próprio.

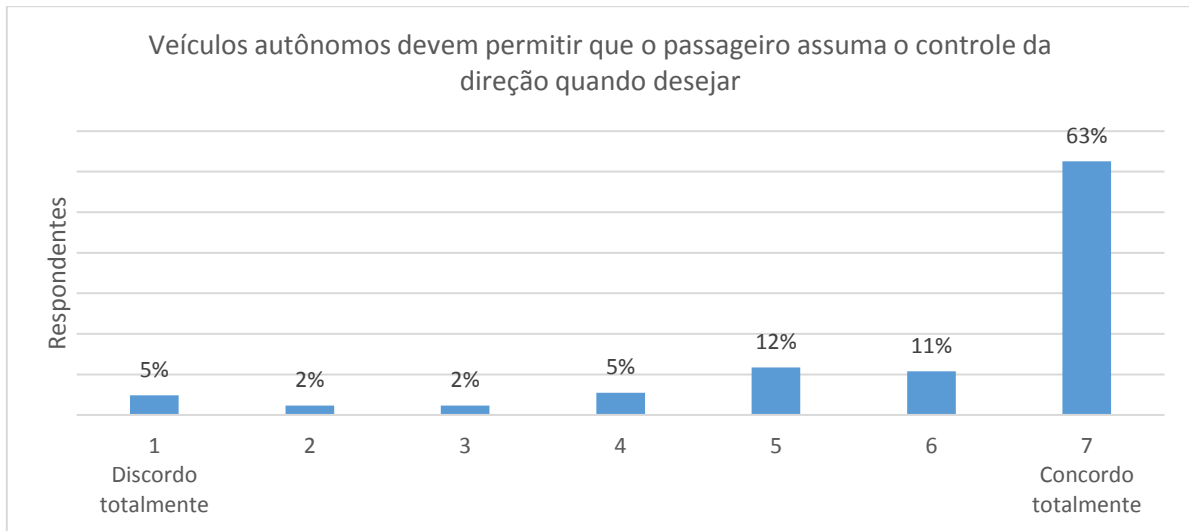
**Figura 4.10** Respostas das questões sobre confiança na tecnologia dos VAs (escala de concordância).



As respostas das questões relacionadas ao nível de confiança na tecnologia foram as que apresentaram distribuição mais uniforme entre as opções escolhidas, embora a concentração maior de respostas ainda esteja para o lado direito dos gráficos, indicando certo nível de confiança. Mesmo assim, destaca-se que, no primeiro gráfico, cerca de 21% dos respondentes escolheram opções abaixo de 4 e 19% escolheram a resposta intermediária, indicando um nível de quase 50% de insegurança ou incerteza com relação a segurança da tecnologia dos VAs. Ainda, verificou-se no segundo gráfico que embora o uma quantidade de pessoas relativamente confortáveis com a diminuição das distâncias entre os veículos seja alta, quantidades consideráveis também são inseguras ou incertas neste aspecto.

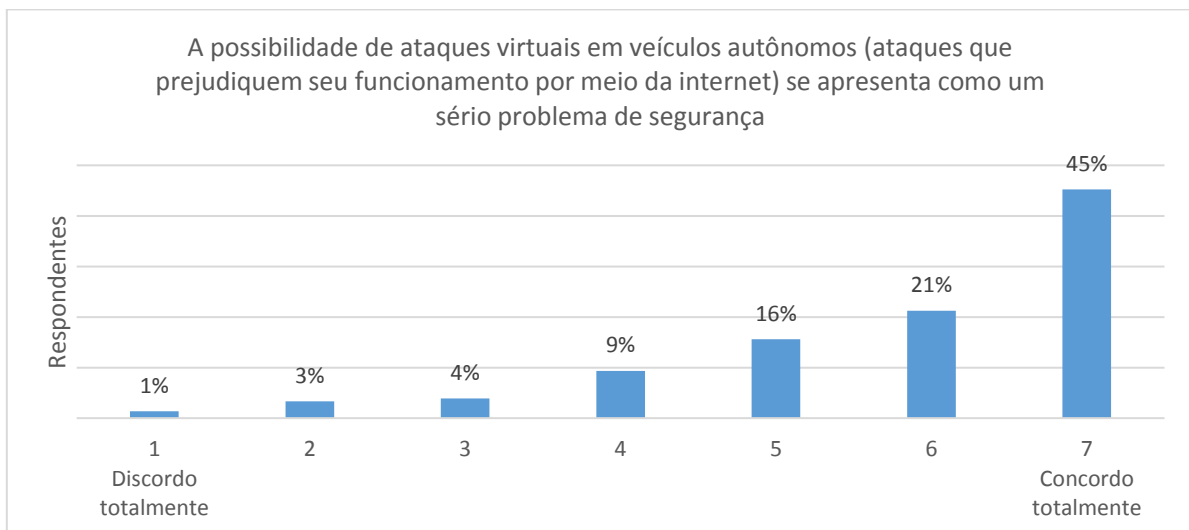


**Figura 4.11** Respostas da questão sobre a possibilidade de reassumir o controle de um VA.



As respostas da questão da figura 4.11 foram de natureza quase unânime, com 86% dos respondentes escolhendo opções superiores a 4 e 63% escolhendo a opção 7. Isso ilustra a relutância em ceder o controle absoluto para o veículo em todos os momentos, mesmo com os graus de confiança na tecnologia medidos nas perguntas anteriores tendo sido relativamente altos, e ainda ajuda a explicar a quantidade de respondentes que preferiu escolher níveis intermediários de automação em detrimento da automação total.

**Figura 4.12** Respostas da questão sobre ataques virtuais.

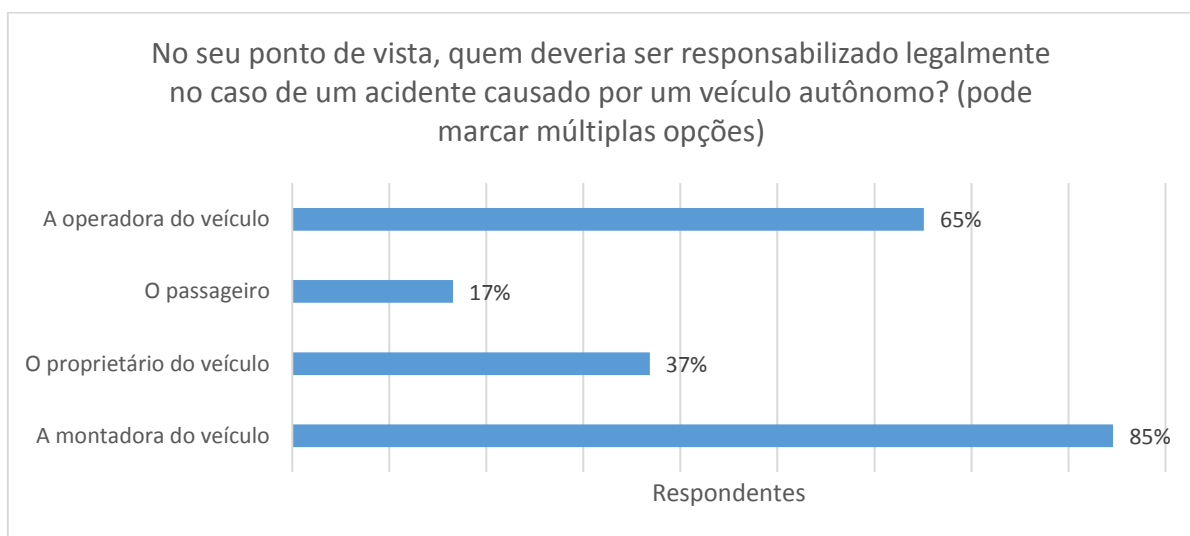


Enquanto alguns pesquisadores reconhecem que a ameaça de ataques cibernéticos a VAs é real embora ataques de grande magnitude e alto dano sejam improváveis, prevalecendo o risco de ataques de menor gravidade e com o objetivo de espionagem (ANDERSON et al., 2014 e FAGNANT; KOCKELMAN, 2015), a visão geral do público parece indicar que existe uma grande preocupação com este tipo de ameaça. Cerca de 45% escolheram a opção 7 da

questão, enquanto apenas cerca de 8% escolheram opções inferiores a 4, indicando que poucas pessoas não tem uma preocupação real com este tipo de risco.

Para minimizar a resistência aos VAs que pode advir desse medo de ataques virtuais, é importante que a sua segurança neste sentido seja de altíssima qualidade para evitar qualquer tipo de ameaça desta natureza, especialmente nos anos iniciais da tecnologia. Uma alternativa para ajudar a garantir o padrão de segurança seria a regulação do governo nesta área, exigindo um grau alto de confiança dos sistemas de segurança e até promovendo testes para garantir sua eficácia.

**Figura 4.13** Respostas da questão sobre a responsabilização legal no caso de acidentes.



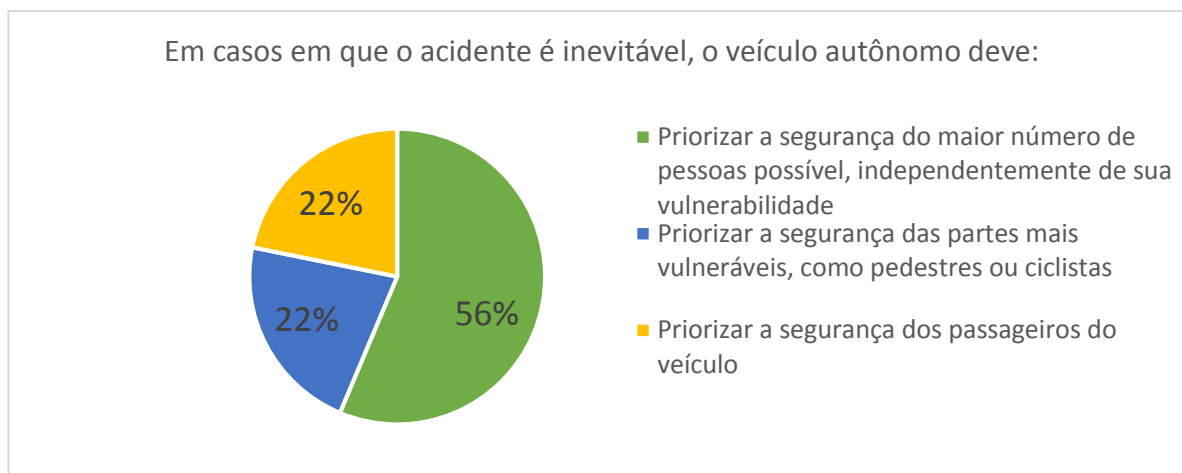
Os resultados da questão da figura 4.13 indicam que a grande maioria dos respondentes espera que a responsabilidade legal sobre acidentes seja das montadoras de veículos, seguida das operadoras de serviços de VAs. Por outro lado, menos da metade acreditam que o passageiro e o proprietário do veículo devem ser responsabilizados nesses casos.

Esse cenário se apresenta como um sério problema para as montadoras e operadoras de VAs, que certamente apresentarão grande relutância em arcar com a responsabilidade total sobre esse tipo de incidente. Isso pode resultar em um atraso de tecnologias de automação total, já que quando a automação é apenas parcial é mais provável que a responsabilidade do acidente seja apenas do motorista ou ao menos dividida com a montadora. Ainda, caso a legislação defina que a responsabilidade será da montadora ou da operadora, é possível que esse novo tipo de risco seja convertido em seguros por parte das mesmas, que teriam seus custos provavelmente repassados para o consumidor, aumentando ainda mais o preço dos

VAs (ANDERSON et al., 2014) e agravando o desafio de levar a tecnologia a um patamar acessível de mercado.

De toda a forma, os resultados indicam é de grande importância que seja levantado um debate da sociedade civil, do legislativo e das companhias interessadas nessa tecnologia, de forma a determinar como será a responsabilização por acidentes neste tipo de situação.

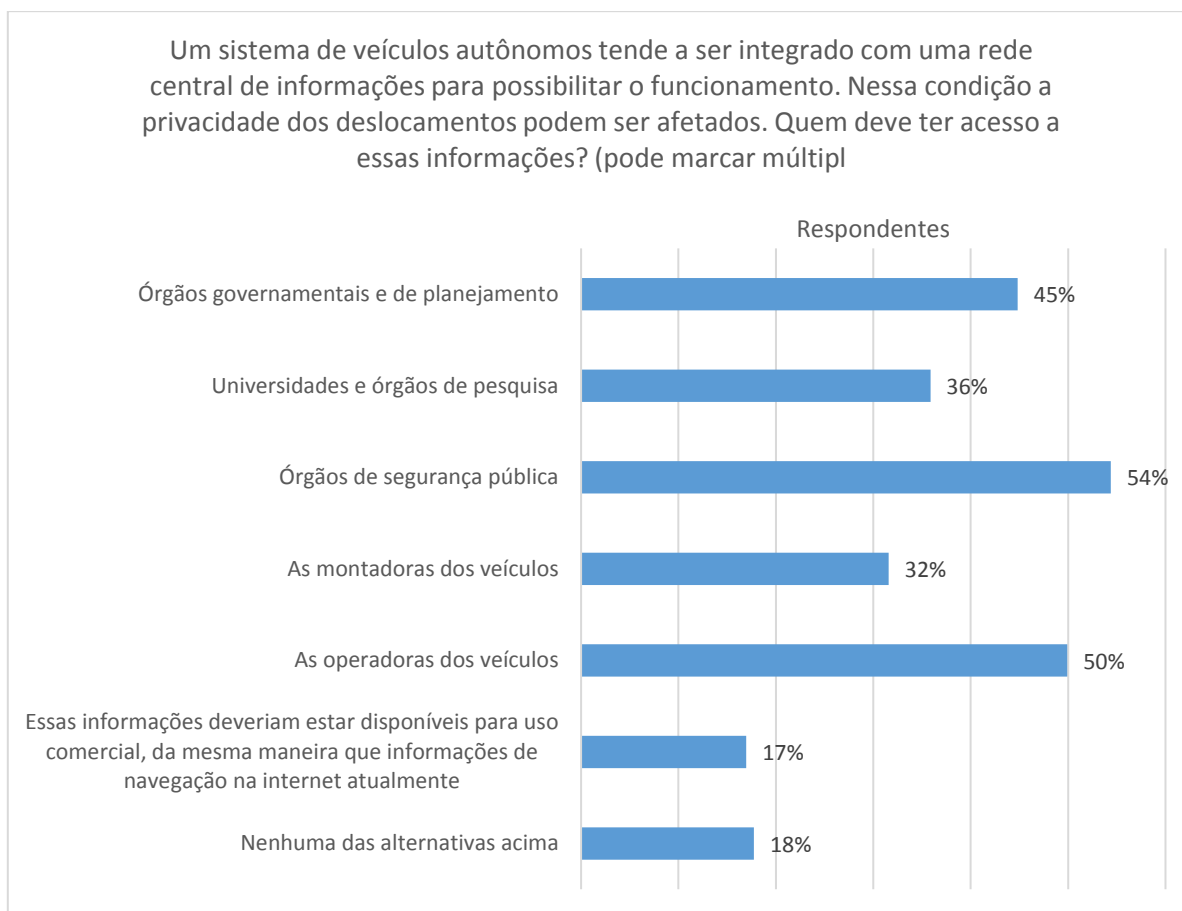
**Figura 4.14** Respostas da questão sobre ética robótica.



Os resultados da questão na figura 4.27 mostra uma tendência utilitarista nos respondentes, ou seja, de que o mais moral é priorizar a segurança do maior número de pessoas possível, independente se são passageiros ou pedestres. As duas outras opções, de priorizar as partes mais vulneráveis como pedestres ou de priorizar os passageiros, aparecem empatadas. Um detalhe é importante neste caso: na redação da pergunta, não é especificado a posição que o respondente ocuparia neste possível acidente. É possível que diferentes respostas fossem obtidas caso fosse estipulado que o respondente fosse um pedestre ou o passageiro do veículo em caso de acidente.

Além disso, mesmo com a maioria das pessoas concordando que o VA deve priorizar a segurança do maior número de pessoas, é possível que muitos dos que escolheram esta resposta se sentissem pouco confortáveis utilizar ou comprar um veículo que colocaria a sua segurança em risco para salvar outras pessoas. Os resultados da pesquisa, portanto, mostram que este complexo dilema de ética robótica ainda aparece como um desafio a ser resolvido, longe de apresentar resultados unânimes.

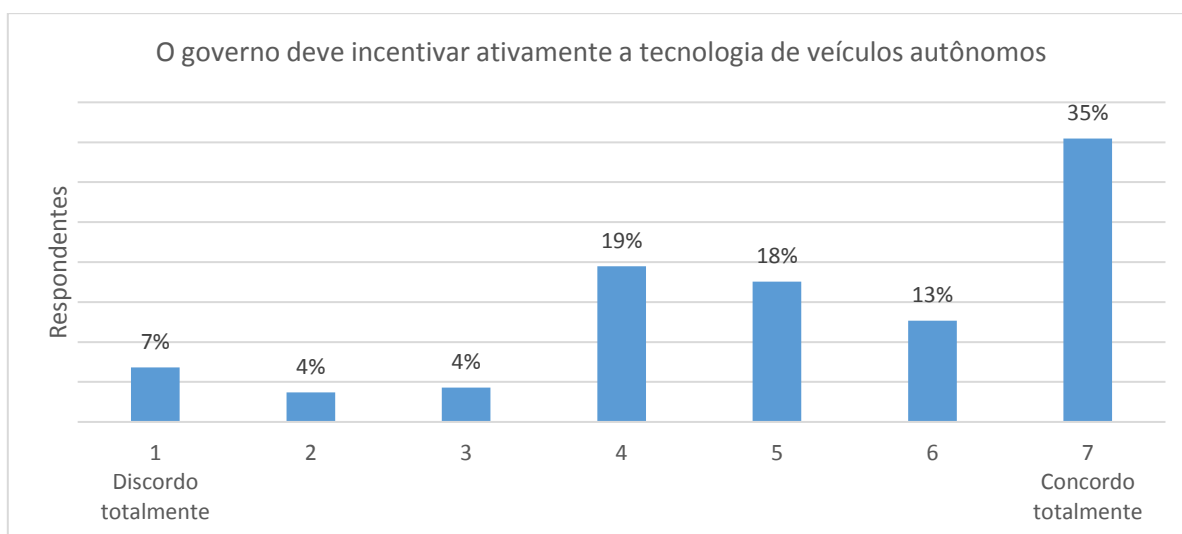
**Figura 4.15** Respostas da questão sobre privacidade.



Os resultados da questão da figura 4.28 indicam que há uma grande variedade de opiniões quanto a quem deve ter acesso aos dados privados dos usuários de VAs. Enquanto os órgãos de segurança pública aparecem com maior aceitação, este índice é de apenas 54%, longe de ser unânime. Por outro lado, apenas uma pequena minoria dos respondentes acredita que os dados devem estar disponíveis para uso comercial, embora certamente diversas empresas teriam grande interesse em adquirir essas informações. Além disso, diversos benefícios para a mobilidade urbana poderiam ser obtidos se essas informações fossem disponibilizadas para órgãos de planejamento e universidades e centros de pesquisa, porém apenas 45% e 36% dos respondentes mostraram-se favoráveis a isso, respectivamente. Ao mesmo tempo, apenas uma parcela relativamente menos significativa dos respondentes se posicionou contra a disponibilização deste tipo de informação para qualquer um (18%).

O nível de divergência nessas questões de privacidade, bem como a resistência que elas podem causar ao uso de VAs, indicam que é de grande importância que sejam realizadas discussões entre a sociedade civil e órgãos legisladores para definir limites legais claros e em acordo com a opinião pública par ao acesso dessas informações.

**Figura 4.16** Respostas da questão sobre incentivos governamentais.



Os resultados da questão da figura 4.29 indicam que uma parcela considerável dos respondentes escolheu opções acima de 4 (66%), indicando que a maioria apoia que o governo incentive ativamente a tecnologia dos VAs em algum grau. Essa informação é importante por indicar que o governo possivelmente receberia apoio popular para implantar medidas e reformas que podem ser cruciais para o desenvolvimento de VAs no Brasil. Vale ressaltar, entretanto, que quase 20% dos respondentes se encontram incerto com relação a postura que o governo deve ter com relação aos VAs, e ainda que cerca de 15% se mostram contrários ao apoio governamental a essa tecnologia.

#### **4.4 Análises estatísticas dos resultados**

Além das análises empíricas dos resultados, foram calculados alguns parâmetros estatísticos que podem ajudar a entender melhor o comportamento dos resultados: média, mediana, desvio padrão, excesso de curtose e assimetria. Para facilitar a apresentação dos resultados, foram atribuídos códigos para cada questão, representados no quadro 4.1. Os parâmetros foram calculados apenas para as questões cujas respostas permitiam esse tipo de análise.

**Quadro 4.1:** Códigos de referência para cada questão.

Questão	Código
Você já ouviu falar da tecnologia de veículos autônomos para uso urbano? Com que frequência?	C
Veículos autônomos levarão mais tempo para se tornar uma realidade no Brasil do que em outros países	B
Diminuição do risco de acidentes	S1
Diminuição de custos com seguro dos veículos	S2
Diminuição do consumo de combustível?	E1
Diminuição de custos de manutenção do veículo (troca de pneus, revisões, etc)	E2
Maior conforto	CT1
Aproveitamento do tempo de viagem para realizar outras atividades (enquanto usa o carro)	CT2
Diminuição do stress e cansaço de dirigir	CT3
Não precisar procurar vagas para estacionar	IF1
Aproveitamento de espaços de estacionamento em áreas valorizadas para outras atividades	IF2
Diminuição da distância de viagem segura entre seu veículo e os outros, diminuindo os tempos de viagem	T1
Uso de rotas que evitem congestionamentos, diminuindo tempos de viagem	T2
Além do veículo totalmente autônomo, existem níveis intermediários de automação, em que apenas algumas funções são automatizadas (ex: manter a velocidade, manter o veículo na faixa, etc). Em que nível de automação você teria mais interesse:	I1
Qual seria o seu nível de interesse em utilizar um veículo autônomo?	I2
Considerando os benefícios (como redução de custos, maior segurança e aproveitamento melhor do tempo), você estaria disposto a pagar quanto a mais em um veículo popular para que este fosse autônomo? (Exemplo: Um Chevrolet Onix de R\$ 41.078)	I3
Me sentiria mais seguro no trânsito se veículos autônomos estivessem em circulação	CF1
Me sentiria confortável se as distâncias de viagem entre o seu veículo e os outros fossem diminuídas com a automação dos mesmos	CF2
Veículos autônomos devem permitir que o passageiro assumo o controle da direção quando desejar	CF3
A possibilidade de ataques virtuais em veículos autônomos (ataques que prejudiquem seu funcionamento por meio da internet) se apresenta como um sério problema de segurança	H
O governo deve incentivar ativamente a tecnologia de veículos autônomos	G

A tabela 4.1 apresenta os parâmetros calculados para as questões. Para calcular a média dos valores da questão I3, cujo os resultados são apresentados em porcentagem, foi considerado que a opção de pagar “mais de 100% a mais” corresponde a um valor de 150% a mais. Como apenas 10 respondentes escolheram essa opção, essa aproximação não deve ter impactos significativos no resultado final.

A média é uma medida que reflete o grau geral das respostas, enquanto a mediana indica os resultados mais centrais na distribuição das respostas. O desvio padrão mede o grau de dispersão dos resultados, o mostra pouca concordância entre os respondentes para a questão. O excesso de curtose, por sua vez, é uma medida que determina o grau de normalidade da distribuição dos dados, de forma que quanto mais distante seu valor for de 0 (negativo ou positivo) mais longe da distribuição da curva normal é seu comportamento dos dados. Por fim, a assimetria é uma medida da concentração de dados em um dos lados da

curva, onde uma assimetria negativa indica dados concentrados ao lado direito do gráfico, enquanto a positiva indica concentração do lado direito.

**Tabela 4.1:** Média, mediana, desvio padrão, excesso de curtose e assimetria das respostas do questionário.

Questão	Média	Mediana	Desvio padrão	Excesso de Curtose	Assimetria
C	4,68	5	1,83	-0,88	-0,38
B	5,85	6	1,26	1,51	-1,19
S1	<b>6,22</b>	7	1,31	4,34	-2,07
S2	5,55	6	1,73	0,20	-1,09
E1	5,82	7	1,65	1,13	-1,41
E2	5,54	6	1,75	0,12	-1,06
CT1	5,87	7	1,51	1,58	-1,42
CT2	5,99	7	1,57	2,32	-1,72
CT3	5,95	7	1,56	2,09	-1,65
IF1	5,98	7	1,52	1,97	-1,61
IF2	<b>5,49</b>	6	1,79	0,34	-1,11
T1	5,50	6	1,80	0,18	-1,09
T2	5,99	7	1,55	2,68	-1,79
I1	5,60	6	1,46	0,60	-0,97
I2	5,61	6	1,71	0,66	-1,21
I3	27%	25%	<b>0,26</b>	<b>7,96</b>	2,35
CF1	4,87	5	1,77	-0,61	-0,52
CF2	5,99	7	<b>1,91</b>	2,23	-1,76
CF3	4,93	5	1,66	-0,77	-0,59
H	5,79	6	1,47	0,96	-1,25
G	5,17	5	1,82	-0,27	-0,77

Analisando a tabela 4.1 verifica-se que, dentre as potências benefícios dos VAs, o aumento de segurança foi o que obteve a maior média de interesse, mostrando-se como o mais desejado pela maioria dos respondentes. Ao mesmo tempo, a possibilidade de utilizar espaços de estacionamentos para outras atividades obteve a menor média de interesse, provavelmente por se tratar de um benefício menos perceptível pessoalmente e mais comunitário. O construto que obteve a maior média, considerando todas as perguntas que o compõe, foi o interesse no aumento de conforto. A maioria das medianas dos resultados se concentrou entre 6 e 7, indicando opiniões bem definidas na maioria das questões. Enquanto isso, o a mediana das respostas da pergunta relacionada com o preço se aproxima da média, indicando grande consideração de respostas por volta do valor de 25% a mais.

A questão com maior desvio padrão foi a relacionada com a diminuição das distâncias entre veículos com a automação, indicando que há alto grau de discordância entre

respondentes quanto ao nível de conforto e confiança na tecnologia que esse tipo de comportamento de VAs geraria. Ainda, destaca-se os altos desvios nas perguntas com relação ao apoio governamental aos VAs e ao nível de conhecimento da tecnologia, indicando que há uma variação considerável dessas características e opiniões dentro da amostra. O menor desvio foi o das respostas da pergunta relacionada com o preço, indicando alto grau de concordância entre os respondentes.

Analisando o excesso de curtose, verificou-se que, embora muitas das respostas apresentem distribuição próxima a normal, algumas questões apresentaram resultados com comportamentos acentuadamente não normais, como a I3. Esses comportamentos ajudam a justificar a escolha da abordagem PLS para a modelagem dos dados, tendo em vista que ela se destaca sobre outras técnicas justamente por funcionar bem com distribuições não normais. Por fim, uma análise da assimetria mostra que todas as questões apresentaram concentração de respostas maior no lado direito dos gráficos, com exceção das respostas da pergunta relacionada com o preço, o que demonstra que os respondentes não têm disposição para pagar valores muito altos pela automação.

#### **4.5 Análises cruzadas de resultados**

Por último, foram realizadas também análises cruzadas entre resultados, com o objetivo de identificar padrões entre relações entre diferentes respostas que não foram abordados na modelagem PLS.

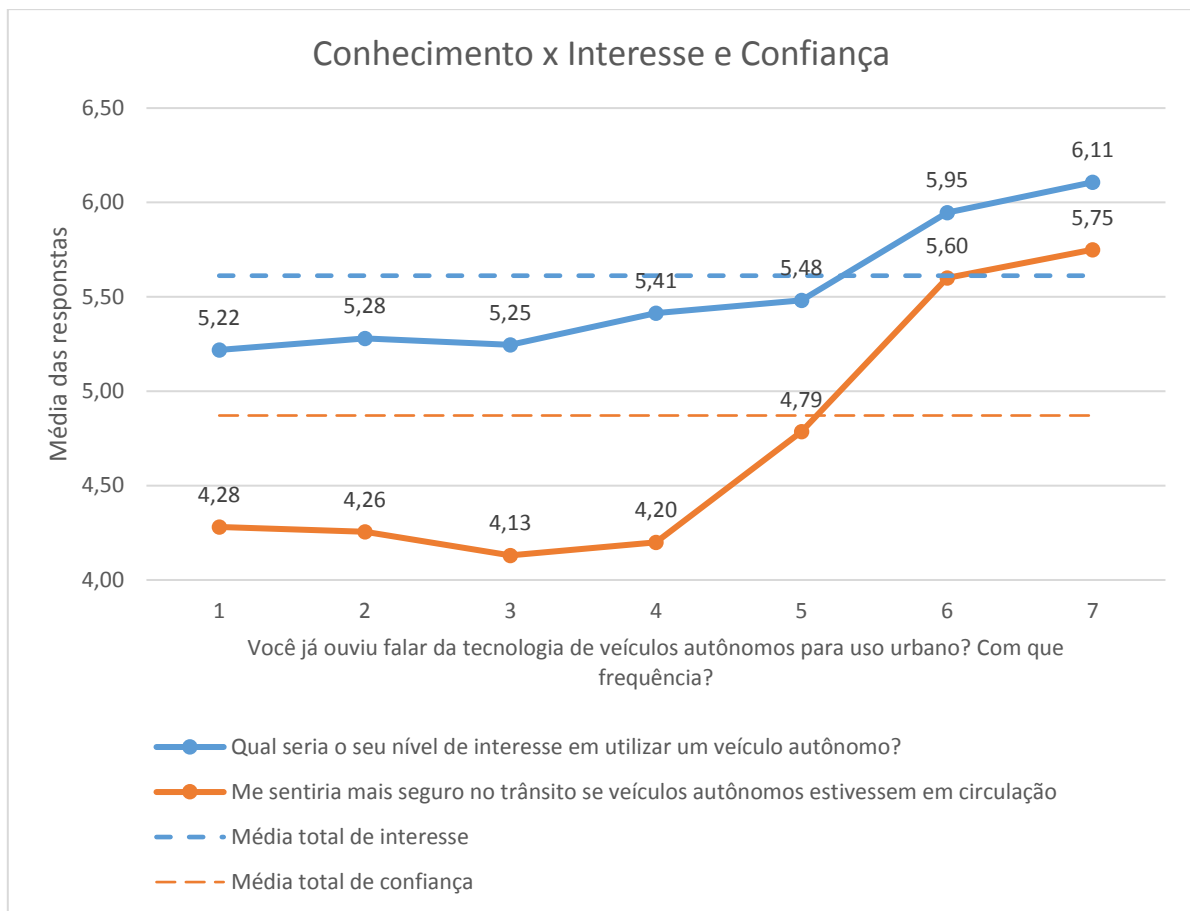
##### **4.5.1 *Conhecimento sobre VAs X Interesse no uso e Confiança***

Foi construída a hipótese de que o nível de conhecimento de uma pessoa em veículos autônomos tem relação com seu nível de interesse no uso e confiança nessa tecnologia. Para verificar essa hipótese, foram escolhidas três questões. A pergunta “Você já ouviu falar da tecnologia de veículos autônomos para uso urbano? Com que frequência?” (ou C) foi escolhida para medir o nível de conhecimento a respeito da VAs. A pergunta “Qual seria o seu nível de interesse em utilizar um veículo autônomo?” (ou I2) foi escolhida para medir o interesse em utilizar VAs, tendo em vista que nos resultados da modelagem PLS ela foi o indicador que melhor representou a variável “Interesse no uso” (vide figura 3.7). A questão “Me sentiria mais seguro no trânsito se veículos autônomos estivessem em circulação “ (ou CF1) foi escolhida para medir o nível de confiança na tecnologia dos VAs, tendo em vista que nos resultados da modelagem PLS ela foi o indicador que melhor representou a variável “Confiança” (vide figura 3.7).



Assim, foi construído um gráfico de comparação de conhecimento sobre VAs com a média das respostas que medem o interesse no uso e confiança na tecnologia, representado na figura 4.17:

**Figura 4.17** Gráfico de Conhecimento sobre VAs X Interesse no uso e Confiança.



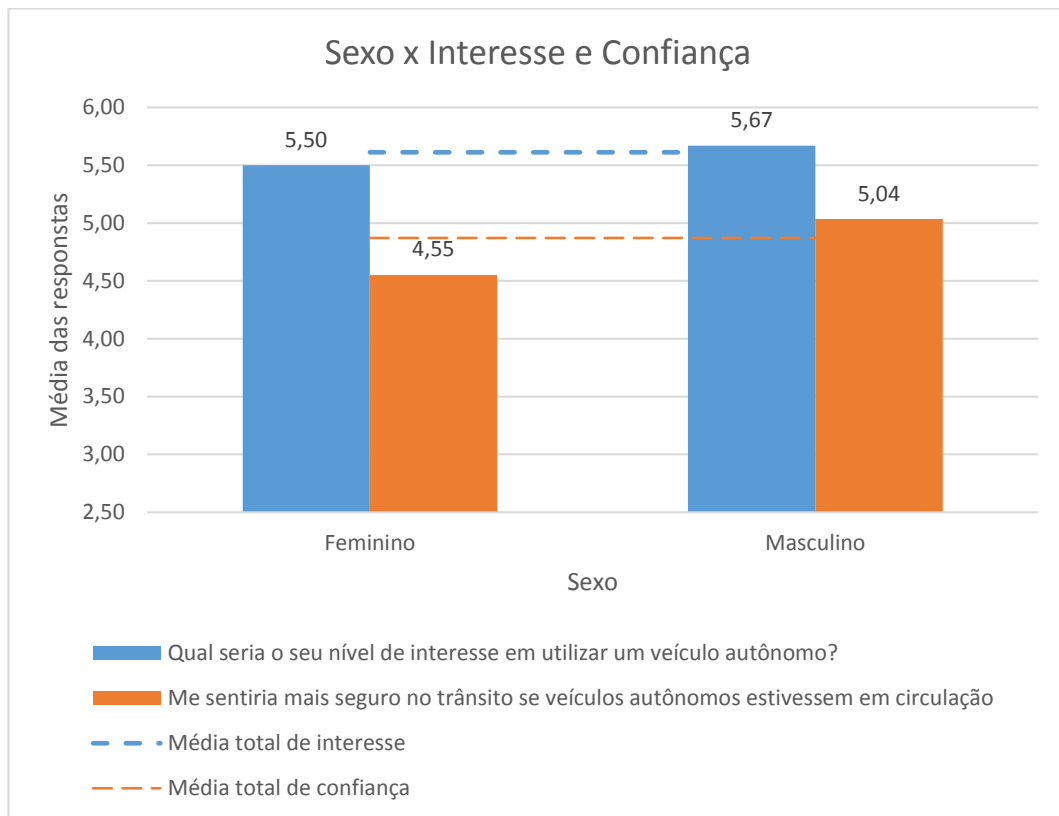
Analisando o gráfico, verifica-se que parece haver uma relação média entre o nível de conhecimento em VAs e o interesse em seu uso, enquanto parece haver uma relação acentuada entre o conhecimento e a confiança na tecnologia. Esse resultado é de grande significância, pois indica que uma possível maneira de aumentar tanto o interesse no uso quanto a confiança na tecnologia seja a difusão de informações sobre VAs, aumentando o nível de conhecimento da população sobre o assunto. Portanto, os resultados parecem confirmar a hipótese de que o nível de conhecimento de uma pessoa em veículos autônomos tem relação com seu nível de interesse no uso e confiança nessa tecnologia.

#### 4.5.2 Sexo X Interesse no uso e Confiança

Foi construída a hipótese de que o sexo de uma pessoa tem relação com seu nível de interesse no uso e confiança em VAs. Para verificar essa hipótese, foram utilizadas as mesmas

questões da seção “a” para medir o interesse no uso e confiança. Assim, foi construído um gráfico relacionando o sexo do respondente com a média das respostas que medem o seu interesse no uso e confiança na tecnologia, representado na figura 4.18:

**Figura 4.18** Gráfico de Sexo X Interesse no uso e Confiança.



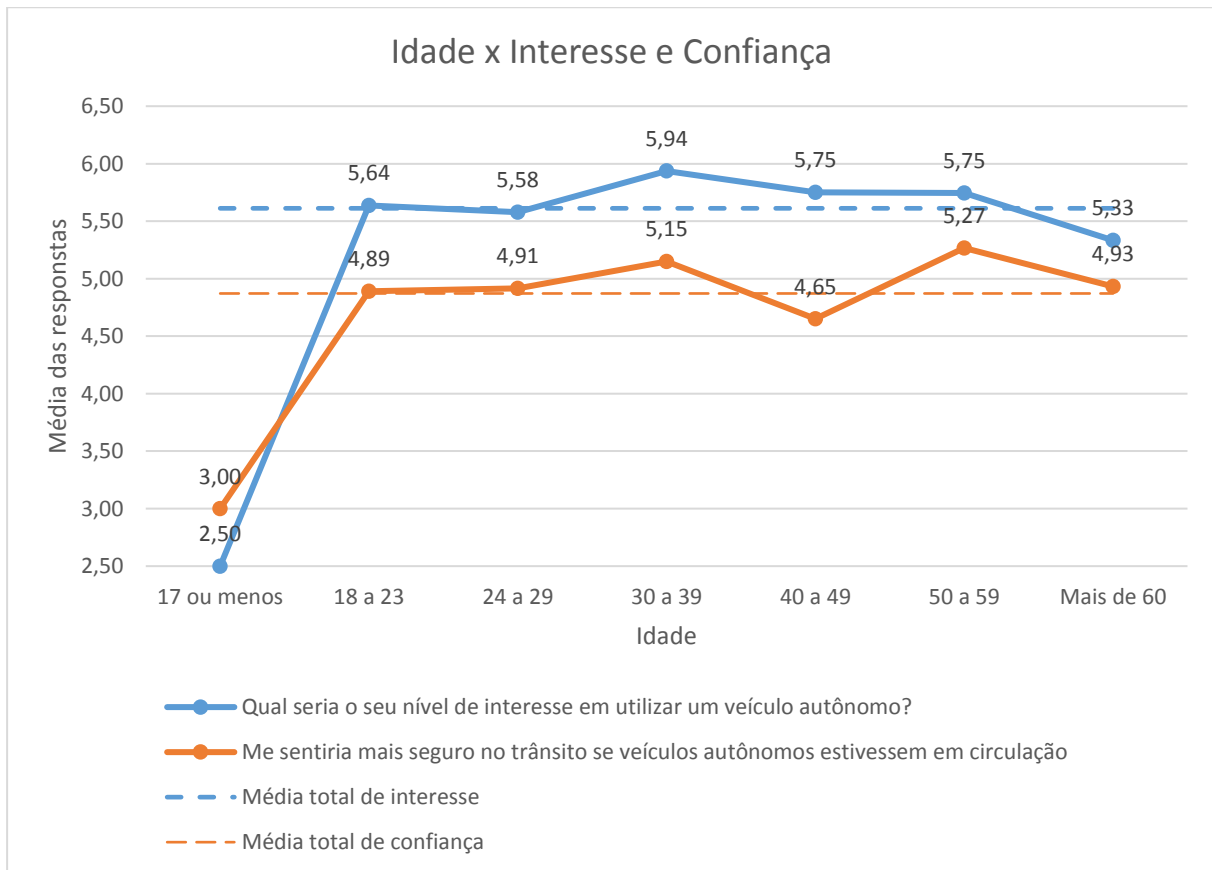
Analisando o gráfico, verifica-se que parece haver uma relação entre o sexo e o interesse no uso e confiança em VAs, com as respondentes do sexo feminino possuíam médias de confiança e interesse relativamente menores do que os homens. Entretanto, não foram encontrados os motivos para tais diferenças, que podem ser atribuídas em parte a diferenças no tamanho das amostras. Para confirmar a hipótese de que o sexo tem uma relação direta com essas variáveis são necessários mais estudos sobre o tema, procurando diferenças mais significativas ou outras variáveis não consideradas que podem ser relevantes para essa relação, estando relacionadas tanto com o sexo quanto com o interesse e confiança.

#### 4.5.3 Idade X Interesse no uso e Confiança

Foi construída a hipótese de que a idade de uma pessoa tem relação com seu nível de interesse no uso e confiança em VAs. Para verificar essa hipótese, foram utilizadas as mesmas questões da seção “a” para medir o interesse no uso e confiança. Assim, foi construído um

gráfico relacionando a idade do respondente com a média das respostas que medem o seu interesse no uso e confiança na tecnologia, representado na figura 4.32:

**Figura 4.19** Gráfico de Idade X Interesse no uso e Confiança.



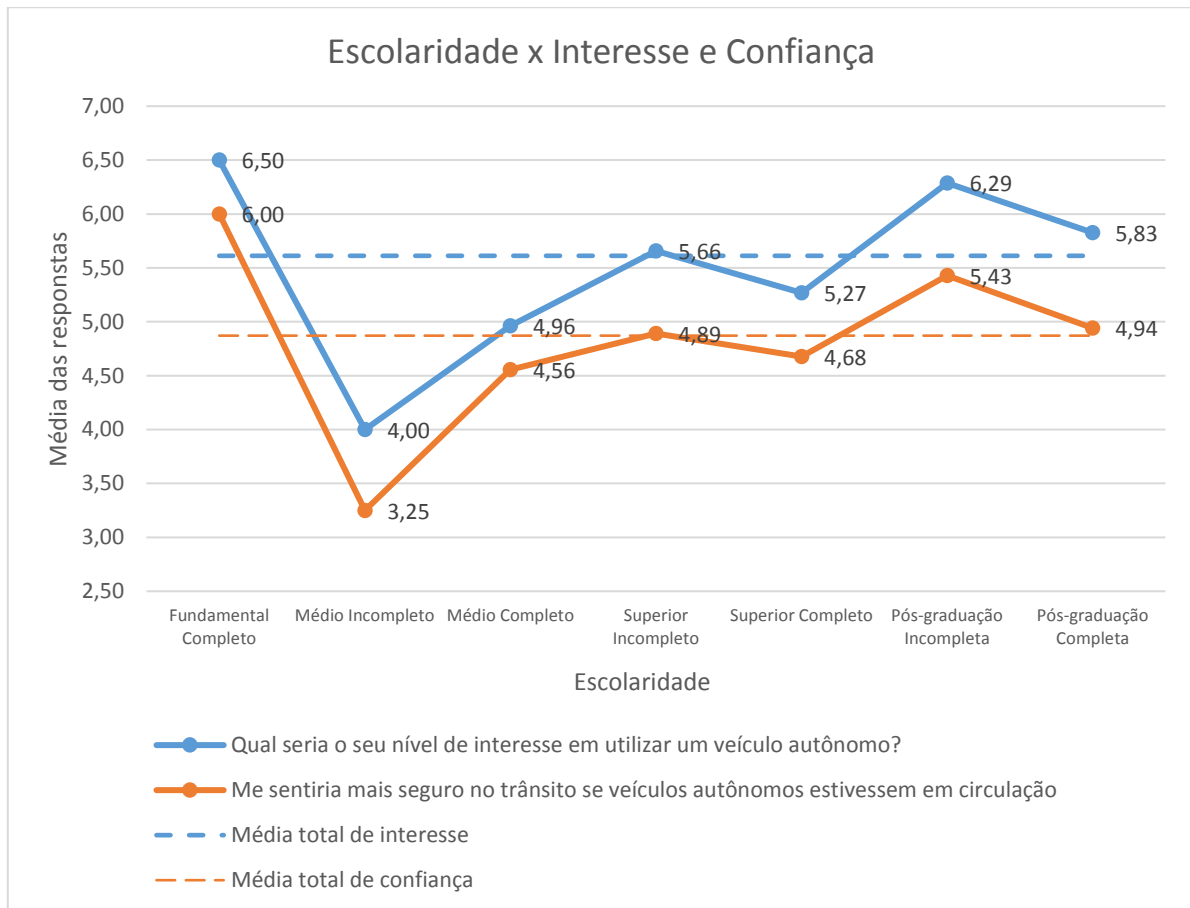
Analisando o gráfico, verifica-se que não parece haver uma relação significativa entre a idade e o interesse no uso e confiança em VAs. A tendência do grupo de 17 anos ou menos devem ser descartadas, pois amostra dentro desta faixa de idade foi demasiadamente pequena para ser estatisticamente significativa (apenas 4 respondentes). É possível que haja uma leve queda no interesse e confiança em usuários com mais de 60 anos, mas a amostra nesta faixa não é grande o suficiente para confirmar isto. Assim, foi rejeitada a hipótese de que a idade tem influência significativa sobre o interesse no uso e confiança em VAs.

#### 4.5.4 Escolaridade X Interesse no uso e Confiança

Foi construída a hipótese de que o grau de escolaridade de uma pessoa tem relação com seu nível de interesse no uso e confiança em VAs. Para verificar essa hipótese, foram utilizadas as mesmas questões da seção “a” para medir o interesse no uso e confiança. Assim, foi construído um gráfico relacionando o grau de escolaridade do respondente com a média

das respostas que medem o seu interesse no uso e confiança na tecnologia, representado na figura 4.20:

**Figura 4.20** Gráfico de Escolaridade X Interesse no uso e Confiança.

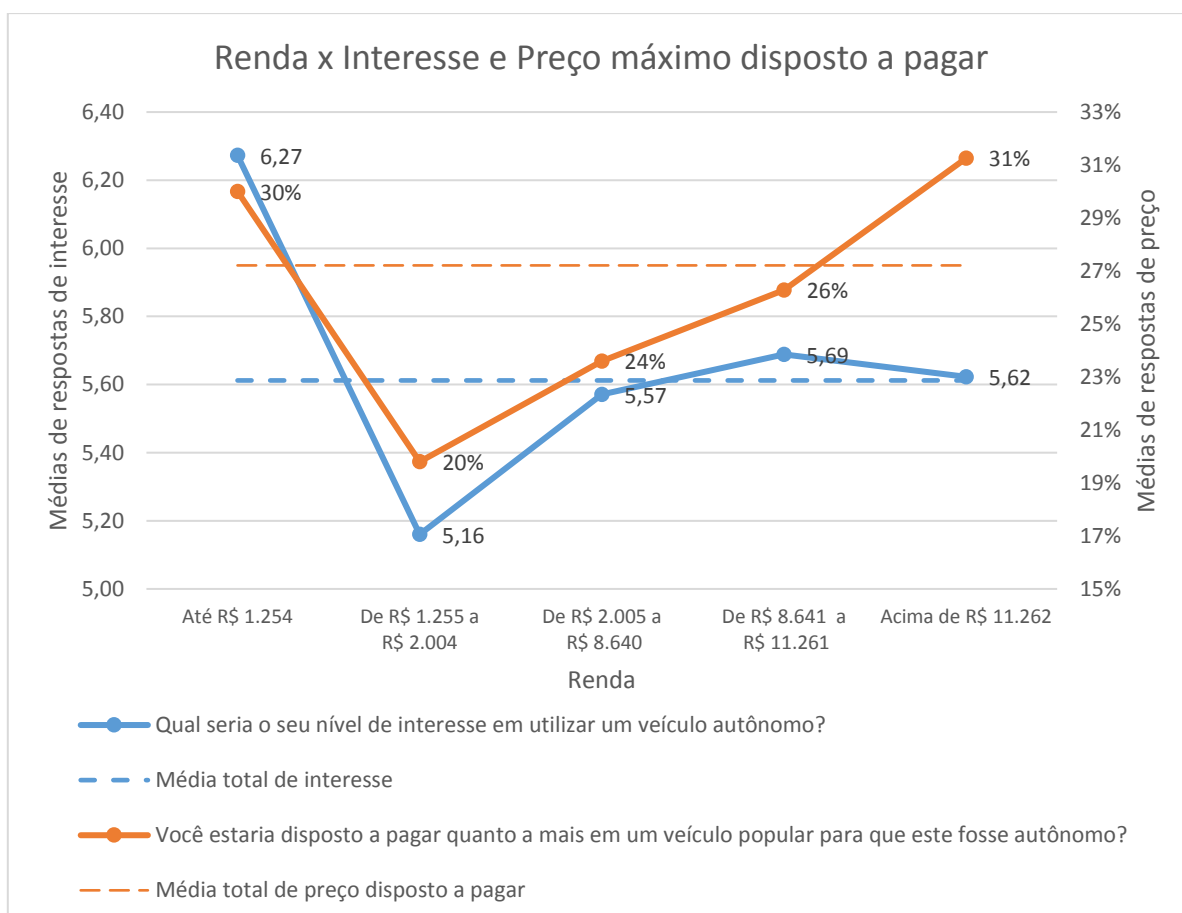


Analisando o gráfico, verifica-se que parece haver uma leve relação entre o grau de escolarizada e o interesse no uso e confiança em VAs. Entretanto, as amostras dos grupos de ensino fundamental completo e ensino médio incompleto foram muito pequenas para serem estatisticamente significantes (com apenas 2 e 4 respondentes). Assim, embora não tenha sido possível confirmar a hipótese da relação, recomenda-se que mais estudos sejam conduzidos mais estudos sobre o tema, tendo em vista que uma leve relação parece existir. Ainda, o grau de escolaridade provavelmente tem relação com o nível de conhecimento sobre VAs, que se mostrou como uma variável determinante para o interesse no uso e a confiança em VAs na seção 4.5.1. Recomenda-se, em especial, que seja realizada uma pesquisa que inclua também pessoas com grau de escolaridade mais baixo.

#### 4.5.5 Renda X Interesse no uso e Preço máximo disposto a pagar

Foi construída a hipótese de que a renda familiar de uma pessoa tem relação com seu nível de interesse no uso e preço máximo disposto a pagar em VAs. Para verificar essa hipótese, foi utilizada a mesma questão da seção “a” para medir o interesse no uso e a questão “Você estaria disposto a pagar quanto a mais em um veículo popular para que este fosse autônomo?” (ou I3) para medir o preço máximo que o respondente se dispõe a pagar por um VA. Assim, foi construído um gráfico relacionando a renda familiar do respondente com a média das respostas que medem o seu interesse no uso e o preço máximo disposto a pagar, representado na figura 4.21:

**Figura 4.21** Renda X Interesse no uso e Preço máximo disposto a pagar.



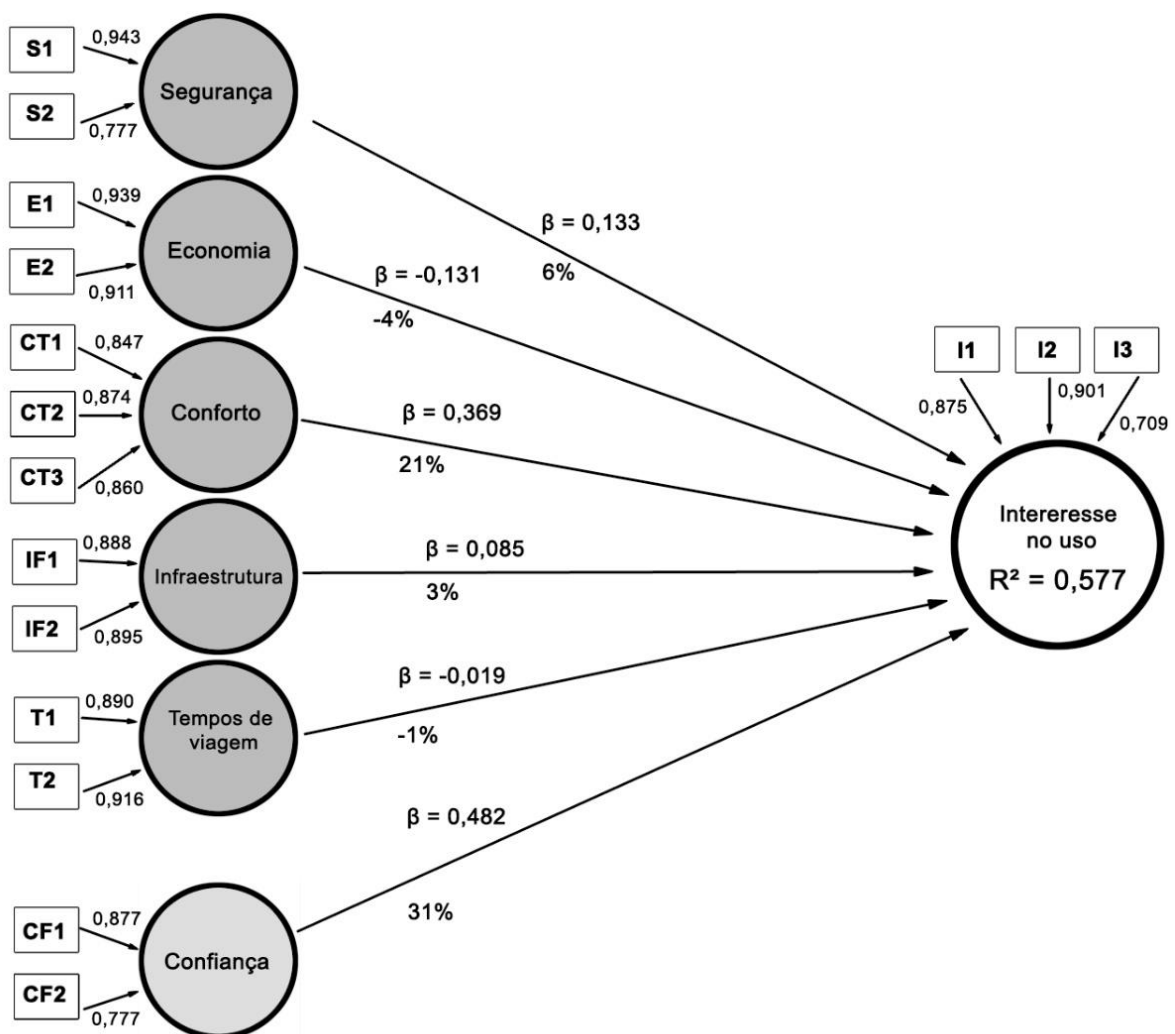
Analisando o gráfico, verifica-se que haver uma relação significativa entre a idade e o nível de interesse no uso e preço máximo disposto a pagar em VAs. A amostra do grupo de até R\$ 1.254 de renda foi demasiadamente pequena para ser estatisticamente significativa (apenas 11 respondentes). Aparentemente, para o interesse no uso há uma relação nas faixas iniciais de renda, mas a partir dos R\$ 2.005 de renda essa relação desaparece. É possível que essa diferença esteja relacionada com um mais tamanho reduzido na amostra desse grupo. Por

outro lado, parece haver uma relação clara e direta entre o preço máximo disposto a pagar e a renda, conforme é esperado para a maioria dos produtos. Assim, considera-se que a hipótese de que a renda familiar de uma pessoa tem relação com seu nível de interesse no uso e preço máximo disposto a pagar em VAs foi parcialmente confirmada, recomendando-se mais estudos na área, especialmente incluindo classes sociais de renda mais baixa na amostra.

#### 4.6 Análise dos resultados da modelagem PLS

Esta seção se refere a análise dos resultados da modelagem em equações estruturais com PLS, representados na figura 3.6 ao final do capítulo 3. Os mesmos resultados estão reproduzida novamente na figura 4.22 a seguir, tendo em vista que a análise da modelagem será feita a partir da mesma.

figura 3.6: Resultados da modelagem PLS com amostra completa e porcentagens P.



Em primeiro lugar, verifica-se que o valor de  $R^2 = 0,577$  indica que cerca de 57,7% da variável “Interesse de Uso” pode ser explicada pelas outras variáveis do modelo, um valor

significativo. Assim, o modelo obteve um bom grau de sucesso em seu objetivo, que era explicar os fatores que influenciam no interesse de uso de um veículo autônomo. A seguir, encontra-se a análise dos resultados encontrados para cada variável independente do modelo.

#### **4.6.1 Interesse em aumento de segurança**

O interesse em aumento de segurança, representado pelo círculo com a palavra “Segurança” no modelo, obteve valores de  $\beta = 0,133$  e  $P = 6\%$ . Conforme visto na seção 3.3.5 e no apêndice A3, valores de  $\beta$  inferiores a 0,2 são considerados de baixa significância estatística. Adicionalmente, mesmo que a relação entre esta variável e o interesse de uso fosse considerada, ela seria de apenas cerca de 6%. Assim, conclui-se que o interesse em aumento de segurança não tem influência muito significativa sobre o interesse no uso de VAs.

A princípio, este resultado pode parecer contraditório com os resultados do questionário, que indicaram que a maioria dos respondentes apresentou interesse alto no potencial aumento de segurança que os VAs podem proporcionar. Em especial, nos resultados da questão “Diminuição do risco de acidentes”, representados na figura 4.8, 63% dos respondentes escolheram a opção 7 que representa interesse máximo. Ainda, esta questão foi a que obteve a maior média das respostas na escala de interesse entre os potenciais benefícios, com um valor 6,22. Entretanto, é importante diferenciar os resultados: os resultados do questionário indicam que a maioria dos respondentes tem interesse em um potencial aumento de segurança proveniente dos VAs, porém os resultados do modelo indicam que esse interesse não é decisivo na determinação do interesse no uso do veículo autônomo em si.

Assim, concluiu-se que embora o nível de interesse em aumento de segurança de uma pessoa explique em certo grau o seu interesse em utilizar um veículo autônomo, ele não é um fator decisivo na sua decisão de utilizá-lo ou não. Duas hipóteses foram construídas para tentar explicar esse fenômeno. A primeira é de que, apesar de possuírem interesse em um aumento de segurança, as pessoas não acreditam suficientemente que esse benefício será realizado com a automação para gerar interesse no uso de VAs. Uma importante evidência em favor dessa hipótese está nos resultados da questão “Me sentiria mais seguro no trânsito se veículos autônomos estivessem em circulação”, representada na figura 4.22, que mostram que quase 50% dos respondentes ainda demonstram insegurança ou incerteza com relação a segurança da tecnologia dos VAs.

A segunda hipótese é de que, apesar da maioria dos respondentes ter respondido que tem grande interesse no aumento de segurança, o seu interesse real é menos significativo do

que o que suas respostas indicaram e, portanto, não foi suficiente para gerar um interesse significativo no uso dos veículos autônomos. Entretanto, essa hipótese parece mais improvável que a primeira.

Caso se confirme a primeira hipótese, isso indicaria que um possível caminho para aumentar o interesse no uso de VAs seria buscar aumentar a fé das pessoas na superioridade de sua segurança com relação a veículos comuns. Para isso, é importante que as montadoras desenvolvam VAs com altos níveis de segurança antes de colocá-los no mercado, e ainda que busquem difundir ao máximo informações que comprovem essa segurança. Além disso, é importante que o governo desenvolva altos padrões mínimos de confiabilidade para que fosse permitida a venda deste tipo de tecnologia, o que pode ajudar a aumentar a fé das pessoas em sua segurança. Por outro lado, se a segunda hipótese for a verdadeira isso indicaria que a segurança realmente não é um fator significativo para interesse de uso de VAs.

#### **4.6.2 Interesse em economia de gastos**

Para a variável do interesse economia de gastos, representada pelo círculo com a palavra “Economia” no modelo, foram encontrados valores inesperados, com  $\beta = -0,131$  e  $P = -4\%$ . Esses valores são inesperados pois, apesar de não serem especialmente significativos estatisticamente devido ao  $\beta$  inferior a 0,2, parecem apresentar uma tendência de influência negativa. Isso indicaria que quanto maior o interesse de uma pessoa na redução de gastos veiculares que poderia advir da automação, menor seu interesse em utilizar um VA, o que parece contraditório.

Entretanto, é possível que a tendência negativa dos resultados seja explicada porque as pessoas que indicaram maior interesse em redução de gastos sejam as que estariam dispostas a pagar menos por um veículo autônomo, o que era um dos indicadores de interesse no seu uso (questão I3). Sendo esse o caso, o problema reside no fato que as pessoas não percebem um bom custo benefício na compra de veículos autônomos, esperando que a redução de gastos veiculares não seja suficiente para compensar os preços de aquisição mais elevados. Portanto, a interpretação correta dos resultados neste caso seria que quanto mais a pessoa valoriza a dimensão econômica, menor o seu interesse em veículos autônomos, tendo em vista que estes são percebidos como um “mal negócio”. Para verificar se este é realmente o motivo desta tendência negativa, recomenda-se que em pesquisas futuras seja construído um modelo incluindo uma nova variável chamada “Preço”, buscando avaliar exatamente qual seria a seu



grau de influência sobre o interesse de uso, bem como sua relação com a variável “Economia” deste modelo.

De todo modo, assim como com a variável “Segurança”, concluiu-se que embora o nível de interesse em economia de gastos de uma pessoa explique em certo grau o seu interesse em utilizar um veículo autônomo (de forma negativa), ele não é um fator decisivo na sua decisão de utilizá-lo ou não. De maneira semelhante, duas hipóteses foram construídas para tentar explicar esse fenômeno. A primeira é de que, apesar de possuírem interesse em uma economia de gastos veiculares, as pessoas não acreditam suficientemente que esse benefício será realizado com a automação para gerar interesse no uso de VAs, considerando ainda que essa redução de gastos não seria suficiente para compensar o preço de aquisição maior. Essa hipótese é sustentada pela natureza negativa dos resultados, que não é tão bem explicada pela segunda hipótese.

A segunda hipótese é de que, apesar da maioria dos respondentes ter respondido que tem interesse na economia de gastos, o seu interesse real é menos significativo do que o que suas respostas indicaram e, portanto, não foi suficiente para gerar um interesse significativo no uso dos veículos autônomos. Entretanto, essa hipótese parece mais improvável que a primeira.

Caso se confirme a primeira hipótese, isso indicaria que um possível caminho para aumentar o interesse no uso de VAs seria buscar aumentar a percepção de que as reduções de gastos ocasionadas pela automação seriam suficientes para compensar o preço de aquisição maior. Inicialmente, é natural que as pessoas resistam em pagar a mais por um produto que não tem certeza da eficiência. Porém, se os graus de redução de gastos veiculares esperados dos VAs forem alcançados e os preços de venda caírem para patamares mais aceitáveis, é natural que o interesse no uso aumente. Por outro lado, se a segunda hipótese for a verdadeira isso indicaria que os gastos veiculares realmente não é um fator significativo para interesse de uso de VAs, porém essa hipótese não explica a relação negativa encontrada.

#### **4.6.3** *Interesse em melhorias de conforto*

Para o interesse em melhorias de conforto, representado pelo círculo com a palavra “Conforto” no modelo, obteve valores de  $\beta = 0,369$  e  $P = 21\%$ , desta vez significativos estatisticamente. Portanto, o modelo indica que cerca de 21% do interesse no uso de veículos autônomos é explicado pelo interesse em melhorias em conforto. Esse resultado é importante pois sinaliza para as montadoras que um investimento em aumentar o conforto dos

deslocamentos através da automação geraria um interesse significativo no uso, e, conseqüentemente, na compra de VAs. Dentro do conceito de “melhorias de conforto” medido, encontra-se: conforto físico e ergonômico do passageiro, possibilidade de realizar outras atividades por não precisar operar o veículo e diminuição do stress e cansaço de dirigir. Assim, estes são fatores decisivos sobre o interesse no uso de VAs.

#### **4.6.4 Interesse em melhorias com infraestrutura**

O interesse em melhorias com infraestrutura, representado pelo círculo com a palavra “Infraestrutura” no modelo, obteve valores de  $\beta = 0,085$  e  $P = 3\%$ , de modo que sua significância estatística é quase nula. Assim, conclui-se que o interesse em melhorias com infraestrutura não tem influência significativa sobre o interesse no uso de VAs. As “melhorias com infraestrutura” se referem principalmente a melhorias com relação a estacionamentos, como o fim da necessidade de procurar vagas ou o aproveitamento dos espaços de estacionamento para outras atividades. Da mesma forma que com as variáveis “Segurança” e “Economia”, foram construídas duas hipóteses para tentar explicar esse fenômeno.

A primeira é de que, apesar de possuírem interesse em melhorias com infraestrutura, as pessoas não acreditam suficientemente que esse benefício será realizado com a automação para gerar interesse no uso de VAs. Enquanto é possível que seja esse o caso, para esta variável foram encontradas evidências mais significativas para a segunda hipótese.

A segunda hipótese é de que o interesse real dos respondentes em melhorias com infraestrutura é menos significativo do que o que suas respostas indicaram e, portanto, não foi suficiente para gerar um interesse significativo no uso dos veículos autônomos. Esta hipótese é sustentada por dois fatos: primeiro, a média de interesse alcançada na questão “Aproveitamento de espaços de estacionamento em áreas valorizadas para outras atividades” foi de 5,49, a menor dentre os potenciais benefícios, o que parece indicar que realmente essas melhorias são menos valorizadas que outros benefícios. O segundo é de que benefícios relacionados a infraestrutura nem sempre são perceptíveis individualmente com facilidade, de modo que o interesse neles tende a ser menor.

Enquanto os resultados parecem indicar que o interesse em melhorias com infraestrutura realmente não possui grande influência sobre o interesse no uso de VAs, é possível que com o tempo a realidade da tecnologia deixe estes benefícios mais evidentes e assim mais relevantes.

#### **4.6.5 Interesse em redução de tempos de viagem**

O interesse em redução de tempos de viagem, representado pelo círculo com as palavras “Tempos de Viagem” no modelo, obteve valores de  $\beta = -0,019$  e  $P = -1\%$ , de modo que sua significância estatística é quase nula. Assim, conclui-se que o interesse em redução de tempos de viagem não tem influência significativa sobre o interesse no uso de VAs. Foram construídas três hipóteses para tentar explicar esse fenômeno.

A primeira é de que na questão “Diminuição da distância de viagem segura entre seu veículo e os outros, diminuindo os tempos de viagem”, um dos indicadores da variável “Tempos de Viagem”, tenha ocorrido um desconforto em parte dos respondentes pelo fato das distâncias de viagem serem diminuídas, levando-os a responder que tem pouco interesse neste benefício. Isso poderia diminuir a influência dessa variável no modelo, embora não indique que realmente não há interesse na redução de tempos de viagem. Esta hipótese é sustentada pela média baixa de interesse apresentada nas respostas desta pergunta, de 5,50, bem como pelas respostas da questão “Me sentiria confortável se as distâncias de viagem entre o seu veículo e os outros fossem diminuídas com a automação dos mesmos”, que indicam que uma parte considerável dos respondentes não se sentiria confortável neste cenário.

A segunda é de que, apesar de possuírem interesse em redução de tempos de viagem, as pessoas não acreditam suficientemente que esse benefício será realizado com a automação para gerar interesse no uso de VAs. É provável que os resultados encontrados sejam fruto de uma combinação da primeira e segunda hipótese.

A segunda hipótese é de que o interesse real dos respondentes em redução de tempos de viagem é menos significativo do que o que suas respostas indicaram e, portanto, não foi suficiente para gerar um interesse significativo no uso dos veículos autônomos.

Enquanto os resultados parecem indicar que o interesse em redução de tempos de viagem realmente não possui grande influência sobre o interesse no uso de VAs, é possível que com o tempo a realidade da tecnologia deixe estes benefícios mais evidentes e assim mais relevantes, especialmente caso a primeira e segunda hipóteses sejam verdadeiras.

#### **4.6.6 Confiança na tecnologia**

Os resultados da variável referente a “confiança na tecnologia”, representada pelo círculo com a palavra “Confiança” no modelo, obteve valores de  $\beta = 0,482$  e  $P = 31\%$ , demonstrando assim a relação mais significativa estatisticamente. Portanto, o modelo indica

que cerca de 31% do interesse no uso de veículos autônomos é explicado pelo nível de confiança na tecnologia, tornando este o fator mais decisivo do modelo. Esse resultado é importante pois permite concluir que para aumentar o interesse no uso de veículos autônomos de um indivíduo é essencial tentar aumentar o seu nível de confiança na tecnologia.

Para buscar aumentar a confiança das pessoas na segurança oferecida pelos VAs, é importante que as montadoras desenvolvam altos níveis de segurança para a tecnologia antes de colocá-los no mercado, e ainda que busquem difundir ao máximo informações que comprovem essa segurança. Além disso, o governo deve buscar desenvolver altos padrões mínimos de confiabilidade para que seja permitida a venda de VAs, o que pode ajudar a aumentar a fé das pessoas em sua segurança. Com o tempo, caso os veículos autônomos apresentem altos baixos índices de acidentes, a tendência é que o nível de confiança das pessoas suba e conseqüentemente o seu interesse no seu uso. Ao mesmo tempo, se ocorrem muitos acidentes envolvendo VAs, especialmente nas fases mais iniciais de adoção da tecnologia, é possível que o nível de confiança das pessoas caia ao ponto que elas passem a rejeitar a tecnologia veementemente.

#### **4.7 Tópicos conclusivos**

Os resultados da pesquisa de opinião revelaram que existem demandas por melhorias em diversas áreas do transporte que podem ser atendidas pelos VAs, e interesse significativo em todos os seus potenciais benefícios. Os resultados da modelagem PLS indicaram apenas dois fatores, dentre os medidos no questionário, decisivos no interesse do uso de VAs: a confiança na tecnologia e o interesse no aumento de conforto. Foi constatado os outros potenciais benefícios não foram decisivos no interesse. Existem duas principais possíveis explicações para este resultado: que os respondentes não acreditam que esses benefícios serão realizados ou que não os valorizam o suficiente a ponto que eles influenciem consideravelmente em seu interesse de uso de VAs. Mesmo assim, verificou-se que há um real interesse da população no uso da tecnologia de VAs, de modo que sua popularização no Brasil se apresenta como uma possibilidade viável e até provável.

Também foram revelados também obstáculos importantes relacionados a inseguranças e incertezas quanto a segurança da tecnologia, aliadas ao medo de ataques e virtuais e especialmente a disparidades entre os possíveis preços de VAs e os valores que o público se dispõe a pagar. Devido a esses fatores, existe ainda algum nível de incerteza quanto a popularização de veículos autônomos no Brasil.

Por fim, foi identificada também uma relação significativa entre o nível de conhecimento sobre a tecnologia de veículos autônomos e os níveis de confiança e interesse em seu uso, que pode indicar que preocupações relacionadas à segurança da tecnologia de VAs tendem a desaparecer conforme a pessoa é mais informada sobre a mesma.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos conhecimentos reunidos com a revisão bibliográfica e dos resultados e análises da pesquisa de opinião e modelagem PLS, este capítulo busca sintetizar as conclusões alcançadas com este estudo, a partir das quais são feitas recomendações tanto a órgãos governamentais quanto ao mercado automobilístico, bem como a pesquisadores com relação a futuras áreas de estudo dentro do tema de veículos autônomos.

### 5.1 Conclusões

Neste trabalho, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura a respeito do tema de veículos autônomos particulares com o enfoque em mobilidade urbana, um método replicável e científico para encontrar estudos relevantes dentro de uma área. Também foi realizada uma pesquisa de opinião com 513 usuários de automóveis particulares no Distrito Federal, a partir da qual foi construído um modelo para tentar explicar os fatores que influenciam o interesse em utilizar veículos autônomo.

Conforme o objetivo geral definido, foi possível identificar os principais fatores que influenciam no interesse de uso de veículos autônomos particulares e não coletivos no contexto brasileiro. Além disso, conforme os objetivos específicos do trabalho, também foi possível:

- a) Oferecer um panorama geral dos potenciais benefícios e desafios dos veículos autônomos para a mobilidade urbana.
- b) Identificar os principais obstáculos para adoção segura e eficiente de um sistema de veículos autônomos no contexto brasileiro.
- c) Verificar a possível popularização do uso de veículos autônomos no contexto brasileiro, incluindo aspectos relacionados à percepção do público sobre a tecnologia.

#### 5.1.1 *Potenciais benefícios*

Conforme o objetivo específico “a”, foi possível identificar os principais benefícios potenciais dos VAs para a mobilidade urbana, sendo os mais relevantes encontrados na literatura foram dentro das seguintes áreas: mobilidade urbana; infraestrutura; redução de congestionamentos e tempos de viagem; logística e transporte de cargas; economia e redução de gastos; e aumento da segurança.

Com relação à mobilidade urbana, são esperados mais impactos positivos do que negativos com a adoção de VAs. Em primeiro lugar, a automação total ou mesmo parcial

pode permitir que pessoas incapacitadas de dirigir tenham um aumento significativo no acesso ao transporte, melhorando sua mobilidade. Idosos, crianças e portadores de deficiências muitas vezes tem dificuldades de utilizar transportes públicos, ao mesmo tempo que não podem operar veículos sozinhos. Um dos fundamentos da Política Nacional de Mobilidade Urbana do Brasil (2012) é a acessibilidade universal ao transporte e os veículos autônomos se apresentam como uma alternativa promissora para tentar alcançar este objetivo.

Ainda, é importante considerar a dimensão da qualidade dos deslocamentos, já que outro fundamento da Política Nacional é a mitigação dos custos sociais dos deslocamentos. O aumento do conforto e a possibilidade de realizar outras atividades ao invés de operar o veículo se apresentam como um significativo aumento na qualidade dos deslocamentos. Na pesquisa de opinião, um dos resultados encontrados foi de que o interesse em um aumento de conforto é responsável por cerca de 21% do interesse no uso de veículos autônomos, obtendo ainda a maior média de interesse se consideradas todas as perguntas que medem esse construto. Isso indica que existe uma demanda forte por um aumento do conforto nos deslocamentos, que poderia ser atendida com os VAs.

Com relação à infraestrutura, as principais melhorias que poderiam advir dos VAs seriam relacionadas com estacionamentos. A possibilidade de o veículo deixar o passageiro em seu destino e estacionar sem motorista permitiria que os estacionamentos fossem alocados mais distantes dos destinos. Isso permitiria que áreas de alto valor que atualmente são utilizadas como estacionamentos fossem melhor aproveitadas, gerando benefícios econômicos e sociais e potencialmente reconfigurando o ambiente urbano. Além disso, o fato de não precisar procurar vagas para estacionar se apresenta como uma melhoria de mobilidade por si próprio, com cerca de 73% dos respondentes da pesquisa de opinião classificando com o nível 6 ou 7 (em uma escala de 7) seu interesse nesse benefício. Ainda, a redução do tempo procurando vagas representa uma redução significativa nos tempos totais de viagem.

Quanto a redução de congestionamentos e tempos de viagem, os VAs têm o potencial de gerar benefícios importantes, embora ainda não esteja claro se os impactos positivos vão superar os negativos. A diminuição dos acidentes de trânsito, que são responsáveis por uma parcela considerável dos congestionamentos, tem por si só o potencial de reduzir os tempos de viagem. A conectividade dos veículos com um controle central e com a infraestrutura que provavelmente acompanhará a adoção de VAs oferece um vasto leque de possibilidades de redução de congestionamentos: o uso de rotas mais inteligentes que evitem a concentração de

carros; sistemas de taxas sobre congestionamento como forma de controle de demanda; otimização de interseções diminuindo o gasto de tempo nas mesmas; e maior facilidade do planejamento urbano e viário a partir dos dados de deslocamentos veiculares em grande escala.

Ainda, a possibilidade de os veículos viajarem em “pelotões” diminuindo os espaços entre si, especialmente em rodovias, causaria um aumento considerável na capacidade das vias e possivelmente uma melhoria no fluxo veicular. Entretanto, todas essas melhorias dependem principalmente do grau de adoção de VAs com relação à frota total de veículos, de modo que os mesmos não serão de grande impacto em estados iniciais da tecnologia, mas possivelmente a longo prazo.

No Brasil, houve um aumento acentuado da frota de veículos particulares urbanos nos últimos anos, acentuando um quadro caracterizado por altos tempos de viagem e baixa mobilidade urbana. Os VAs se apresentam como uma possível alternativa para ajudar a reverter esse cenário que aparecem em profunda discordância com as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade que incluem o aumento da eficiência, eficácia e efetividade dos transportes, bem como a mitigação de seus custos sociais.

O transporte de cargas será possivelmente um dos primeiros a sofrer a automação, devido ao forte interesse econômico em reduzir os custos com motoristas, ao aumento de desempenho acarretando redução de gastos com manutenção, seguros e combustíveis, à maior uniformidade na tecnologia de veículos de transporte de carga e principalmente à natureza de grande parte dos deslocamentos deste tipo, que ocorrem em ambientes rodoviários não urbanos, e, portanto, consideravelmente mais simples. Este benefício também estaria de acordo com as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade, que busca mitigar os custos econômicos, sociais e ambientais também do transporte de cargas.

Existem diversos potenciais impactos dos VAs sobre a economia e os custos de transporte. A possível redução dos congestionamentos e dos acidentes de trânsito tem o potencial de reduzir significativamente gastos relacionados ao transporte. Os acidentes, por si só, geram um custo próximo a 5% do PIB em diversos países. O possível aumento do desempenho ocasionaria a redução dos gastos com combustíveis e manutenção, bem como com seguros. Por outro lado, é possível que os VAs apresentem custos adicionais próprios da tecnologia, o que pode ocasionar em custos de deslocamento até maiores do que o de veículos



convencionais. Custos com estacionamentos seriam reduzidos, e possíveis mudanças na configuração urbana poderiam ter impactos econômicos benéficos.

Além dos benefícios econômicos globais, existem também possíveis benefícios individuais dos VAs. Caso as reduções com gastos com combustível, seguros, estacionamentos e manutenção sejam maiores do que possíveis gastos adicionais com manutenção dos sistemas de automação, os custos individuais para o uso do transporte serão reduzidos, de modo que essa tecnologia se tornaria mais atrativa para compra. Ainda, essas reduções aliadas a extinção de custos com motorista poderiam diminuir consideravelmente os custos de serviços de transporte, aumentando o seu acesso em concordância com as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade. Além disso, se for considerado que o custo do tempo utilizado dirigindo, que poderia ser usado para outras atividades, as reduções de gastos provenientes do uso de VAs ficam ainda mais significativas.

Por fim, os benefícios mais significativos dos VAs são os relacionados a segurança. Estatísticas mostram que por volta de 90% dos acidentes são causados por causas humanas, os quais poderiam ser evitados com a automação. Mesmo que os VAs apresentem defeitos que possam ser análogos aos erros humanos, apenas a eliminação de acidentes com causa principal do álcool, drogas, distração, fadiga e infrações intencionais de trânsito já poderiam representar uma redução de acidentes entre 20% e 40%. Essas reduções representariam um grande número de vidas salvas e ferimentos evitados, bem como uma melhoria significativa para o objetivo de garantir a segurança nos deslocamentos das pessoas, colocado pela Política Nacional de Mobilidade. Além disso, o Brasil é um país com alguns dos maiores índices de mortes no trânsito anualmente, de forma que o aumento da segurança tem especial importância no contexto nacional.

A magnitude da redução de acidentes depende principalmente do nível de automação e do grau de adoção de VAs com relação à frota total de veículos. Mesmo assim, estudos indicam que mesmo a adoção de níveis de automação mais baixos já tem o potencial de causar reduções substanciais. Ao mesmo tempo, a demanda por maior segurança nos deslocamentos fica evidente pelos resultados da pesquisa de opinião, que mostram o aumento de segurança como o potencial benefício com a maior média de interesse entre os respondentes, com cerca de 80% o classificando com o nível 6 ou 7 (em uma escala de 7) de interesse.

Assim, a revisão da literatura verificou diversos potenciais benefícios para a adoção de VAs, que seriam de grande valia para ajudar a atender os objetivos da Política Nacional de Mobilidade. Ainda, a pesquisa de opinião verificou que existe grande demanda por parte dos usuários de transporte com relação a muitos dos potenciais benefícios encontrados na literatura. Todos esses benefícios tem o potencial de serem especialmente significativos no contexto brasileiro, tendo em vista grande parcela da matriz de transportes do país composta por modal rodoviário, de cerca de 58%.

### **5.1.2 Potenciais desafios**

Conforme o objetivo específico “b”, foi possível identificar os principais desafios para a implantação dos VAs de forma segura, eficiente e acessível no Brasil. Os principais obstáculos encontrados estão relacionados com as seguintes esferas: incertezas sobre os efeitos sobre os congestionamentos; tecnologia; preços dos veículos e risco de falha no mercado; regulação, licenciamento e padrões de qualidade; questões legais, de responsabilidade e de seguros; infraestrutura; ética robótica; segurança cibernética; privacidade; percepção pública; e extinção de empregos.

Embora muitos especialistas defendam que a tecnologia dos VAs vai melhorar o panorama dos congestionamentos no ambiente urbano, outros divergem desta opinião acreditando que podem causar uma piora do quadro. Isso ocorre devido à incerteza do efeito que os VAs terão sobre o total de quilômetros viajados por veículo e sobre a posse de veículos particulares. É possível que ocorra um aumento causado pela nova demanda de pessoas previamente incapacitadas de utilizar carros por não poderem operá-los. Ainda, existe a possibilidade de que a maior qualidade e conforto dos deslocamentos leve usuários do transporte coletivo e não motorizado a migrarem para o uso de VAs particulares, o que estaria em desacordo com a Política Nacional de Mobilidade. Entretanto, se a automação fosse aplicada também ao transporte público é possível que o mesmo também sofra melhoras substanciais. De todo modo, mais estudos são necessários para buscar determinar se esses potenciais impactos negativos dos VAs não seriam compensados pelos positivos.

Mesmo com o avanço substancial das tecnologias de automação nos últimos anos, diversos obstáculos ainda se apresentam nessa área para que a automação total seja uma realidade. O custo da tecnologia ainda é muito alto, e ainda existem muitas dificuldades para que ela funcione em todo tipo de condição com segurança, além de desafios relacionados a inteligência artificial. Por fim, é possível que tecnologias de comunicação V2V e V2I sejam

essenciais para o bom funcionamento dos VAs, sendo um desafio significativo implantar esse tipo de tecnologia na infraestrutura de múltiplas cidades e em toda a frota de veículos, incluindo os convencionais. Além disso, os polos de desenvolvimento de VAs estão todos em outros países, de modo que é possível que essa tecnologia demore mais para chegar ao Brasil. Na pesquisa de opinião, verificou-se que cerca de 87% dos respondentes concordam que os VAs levarão mais tempo para chegar ao Brasil que em outros países.

Um importante desafio está relacionado aos preços da tecnologia de veículos autônomos. Enquanto aplicações de automação chegavam a trazer um custo adicional de até 100 mil dólares em 2013, a pesquisa de opinião indicou que a grande maioria dos respondentes só estaria disposta a pagar cerca de 10 mil reais a mais por essa tecnologia. Embora os custos da tecnologia tenham apresentado queda acentuada com o seu desenvolvimento e seja possível que, com a realização dos potenciais benefícios esperados, as pessoas se disponham a pagar preços maiores do que os indicados na pesquisa pela automação, ainda assim é quase certo que os primeiros VAs sejam itens de luxo e sejam necessários anos até que se torne uma tecnologia acessível.

Com relação à regulação e licenciamento, o Brasil encontra-se atrasado quando em comparação com à Europa e aos EUA, onde muitos locais já possuem leis e padrões de qualidade específicos elaborados ou em processo de elaboração, enquanto não há nenhuma discussão nesta linha no Brasil. Um processo de regulação com padrões elevados de qualidade e segurança é essencial não apenas para garantir que os primeiros VAs funcionem bem, mas para aumentar a confiança dos usuários na tecnologia. Os resultados da pesquisa de opinião indicaram que o fator mais relevante para determinar o interesse no uso de veículos autônomos é o nível confiança na tecnologia, explicando-o em 31%. Se os carros autônomos em estágios iniciais causarem acidentes devido à falta de uma regulação que garanta sua segurança é possível que a confiança das pessoas na tecnologia fique abalada seriamente, causando rejeição a mesma.

Embora muitos países já estejam relativamente avançados em questões de regulação e legislação para VAs, algumas questões relacionadas com a responsabilidade em caso de acidentes ainda se encontram sem solução nesta área, tendo em vista que a automação pode causar uma migração da responsabilidade do motorista para terceiros. Segundo os resultados da pesquisa de opinião, cerca de 85% dos respondentes acredita que a montadora deve ser responsabilizada em casos de acidente com VAs, 65% que a operadora, 37% que o

proprietário e 17% que o passageiro. Isso se apresenta como um problema especialmente para as montadoras e operadoras, que apresentarão grande relutância em arcar com a responsabilidade total sobre esse tipo de incidente. As questões podem se tornar ainda mais complexas em casos onde não há motorista ou onde um VA causa um acidente para evitar um outro mais grave.

Caso a legislação defina que a responsabilidade será da montadora ou da operadora, como a opinião pública parece indicar, é possível que esse novo tipo de risco seja convertido em seguros por parte das mesmas, que teriam seus custos provavelmente repassados para o consumidor, aumentando ainda mais o preço dos VAs e agravando o desafio de levar a tecnologia a um patamar acessível de mercado.

Existem questões de ética robótica que emergem com os VAs, tendo em vista que os mesmos podem vir a precisar tomar decisões que impliquem vidas humanas. Segundo os resultados da pesquisa de opinião, uma maioria de 56% dos respondentes acredita que os VAs devem sempre priorizar a segurança do máximo de pessoas possível, enquanto o resto ficou igualmente dividido entre priorizar os passageiros do veículo e as partes mais vulneráveis de um acidente, como pedestres. Definir diretrizes claras é, portanto, um assunto delicado que causa muito debate, mas precisa ser tratado. Ainda, no caso dos VAs priorizarem a segurança de terceiros em detrimento dos passageiros, é possível que as pessoas se recusem a usá-los por medo, mesmo que concordem com a ética de suas decisões.

Existem diversos desafios importantes a serem vencidos na área de infraestrutura para possibilitar a adoção de VAs. É possível que essa tecnologia necessite de comunicação V2I e V2V, para funcionar adequadamente, o que demandaria tanto a construção de novas instalações para V2I (como semáforos especiais, entre outras) quanto a implantação de tecnologias de comunicação veicular em todos os veículos, autônomos ou convencionais. Existe ainda a necessidade de uma infraestrutura virtual segura e capaz de administrar o grande volume de dados que seriam enviados a ela por VAs. Os custos e as dificuldades de implantação e operação dessas infraestruturas se apresentam como desafios importantes. Ainda, para possibilitar a navegação de VAs em “pelotões” pode ser necessária a construção de novas faixas e até vias exclusivas, tendo em vista a impossibilidade de ultrapassagem dessas formações em vias de mão dupla e a sua concentração de peso, no caso do transporte de cargas.

Além disso, problemas na infraestrutura atual podem se apresentar como obstáculos sérios para o bom funcionamento dos VAs em vias atuais, tendo em vista que os mesmos utilizam elementos como faixas de trânsito e sinalização para se orientar e não lidam bem com elementos imprevisíveis como defeitos na via. No contexto brasileiro este desafio é especialmente significativo, tendo em vista que o país enfrenta graves problemas de qualidade das vias e sinalização que podem até mesmo inviabilizar o uso da tecnologia dos VAs.

Existem, ainda, questões relacionadas a ataques cibernéticos a veículos autônomos. Enquanto alguns pesquisadores reconhecem que a ameaça de ataques cibernéticos a VAs é real embora ataques de grande magnitude e alto dano sejam improváveis, prevalecendo o risco de ataques de menor gravidade e com o objetivo de espionagem, os resultados da pesquisa de opinião indicam que existe uma grande preocupação com este tipo de ameaça, com cerca de 82% dos respondentes concordando que ataques virtuais se apresentam como um problema sério de segurança.

Devido à conectividade esperada dos VAs, uma quantidade enorme de dados sobre seus usuários será adquirida. Enquanto a coleta desses dados pode ser usada para melhorar o planejamento urbano de transportes, também há grande interesse por parte de empresas e agências de segurança pública, de modo que questões de privacidade precisam ser levantadas. A pesquisa de opinião revelou diversos posicionamentos pouco unânimes. O posicionamento mais adotado, de que órgãos de segurança pública deveriam ter acesso a estes dados, foi de apenas cerca de metade dos respondentes, enquanto quase 20% rejeitaram que esses dados fossem disponibilizados para qualquer uma das opções. Isso indica que é necessária uma legislação para definir as diretrizes de privacidade a respeito do tema.

Apesar dos resultados da pesquisa de opinião indicarem que existe interesse e relativa aceitação da tecnologia de VAs, também revelou que quase metade dos respondentes demonstraram algum nível de insegurança ou ao menos incerteza com relação à segurança dos VAs no trânsito. Como foi dito, a modelagem PLS revelou que cerca de 31% do interesse no uso de VAs depende da confiança na tecnologia. Assim, se ocorrerem muitos acidentes envolvendo automação, mesmo que estágios iniciais da tecnologia, é possível que a percepção pública passe a ser de desconfiança, o que certamente diminuiria significativamente o interesse em seu uso.

Além disso, a modelagem PLS apresentou resultados que podem indicar que os respondentes não acreditam que muitos dos potenciais benefícios dos VAs não se tornaram

realidade, como o aumento de segurança a diminuição de gastos e congestionamentos. A descrença nas vantagens do uso de VAs pode se apresentar como mais uma dificuldade a ser vencida para viabilizar sua aceitação.

Por fim, a automação de nível 4 tem a capacidade de substituir completamente o motorista, o que causaria a extinção de praticamente todos os empregos de motorista tendo em vista o corte de gastos e aumento da eficiência. Apesar da diminuição de gastos totais, o desemprego gerado por esse fenômeno seria uma consequência negativa. Além disso, isso provavelmente levaria grupos de motoristas e taxistas oferecer forte resistência as tecnologias dos VAs, fazendo inclusive pressão sobre políticos para a sua proibição.

### **5.1.3 Popularização de VAs no Brasil**

Conforme o objetivo específico “c”, os resultados da pesquisa de opinião revelaram que existem demandas por melhorias em diversas áreas do transporte que podem ser atendidas pelos VAs, e interesse significativo em todos os seus potenciais benefícios. Por outro lado, conforme o objetivo geral, os resultados da modelagem PLS indicaram apenas dois fatores, dentre os medidos no questionário, decisivos no interesse do uso de VAs: a confiança na tecnologia e o interesse no aumento de conforto. Foi constatado que o interesse no aumento de segurança, economia de gastos, melhorias de infraestrutura e redução de tempos de viagem não são fatores decisivos no interesse do uso de VAs. Existem duas principais possíveis explicações para este resultado: que os respondentes não acreditam que esses benefícios serão realizados ou que não os valorizam o suficiente a ponto que eles influenciem consideravelmente em seu interesse de uso de VAs.

Enquanto cerca de 76% dos respondentes concordaram ter algum interesse no uso de VAs, com 46% declarando ter muito interesse, as preferências com relação ao nível de automação apresentaram mais variações. Os níveis de rejeição total a automação foram muito baixos, cerca de 39% dos respondentes demonstraram interesse em automação total e por volta de 54% em automação parcial, que poderia ser classificada com níveis entre 2 e 3 de acordo com a classificação da NHTSA. Esses resultados indicam que há um real interesse da população no uso da tecnologia de VAs, de modo que sua popularização no Brasil se apresenta como uma possibilidade viável e até provável.

Entretanto, conforme já foi discutido na seção 5.1.3, foram revelados também obstáculos importantes relacionados a inseguranças e incertezas quanto a segurança da tecnologia, aliadas ao medo de ataques e virtuais e especialmente a disparidades entre os

possíveis preços de VAs e os valores que o público se dispõe a pagar. Devido a esses fatores, existe ainda algum nível de incerteza quanto a popularização de veículos autônomos no Brasil.

Ainda, foi identificada uma relação significativa entre o nível de conhecimento sobre a tecnologia de veículos autônomos e os níveis de confiança e interesse em seu uso, que pode indicar que preocupações relacionadas à segurança da tecnologia de VAs tendem a desaparecer conforme a pessoa é mais informada sobre a mesma.

## **5.2 Recomendações e limitações**

Mediante as conclusões apresentadas se seção 5.1, esta seção indica recomendações para ajudar a maximizar os benefícios e superar os desafios relacionados à implantação de VAs no contexto Brasileiro. As recomendações são dirigidas a órgãos governamentais, ao mercado automobilístico e a pesquisadores, indicando ainda as limitações deste estudo.

### **5.2.1 Recomendações a órgãos governamentais**

A pesquisa de opinião indicou que 66% dos respondentes concordam em algum nível que o governo deve incentivar tecnologias de VAs, com ainda 19% de indecisos sobre o assunto. Isso indica que órgãos governamentais possivelmente obteriam apoio popular para implantar medidas importantes para viabilizar a popularização de VAs no Brasil.

A medida mais importante que deve ser adotada pela administração pública é a melhoria da infraestrutura viária brasileira, que, nas condições atuais, possivelmente impossibilitaria a implantação de VAs no país. É essencial que defeitos graves no pavimento, na sinalização e especialmente na pintura das faixas de trânsito sejam minimizados e levados a patamares mais aceitáveis, tanto no ambiente urbano quanto rodoviário. Além da importância disto para viabilizar a implantação de VAs, essas medidas certamente melhorariam a segurança viária também para veículos convencionais. Para realizar essas melhorias, o autor deste trabalho sugere que seja elaborado um plano nacional de revitalização de vias, onde o governo federal trabalhasse em conjunto com os municipais no âmbito urbano e estaduais no âmbito rodoviário, realizando ainda concessões de rodovias quando possível. Além disso, é necessário aumentar a fiscalização do transporte de cargas em rodovias, que muitas vezes excede os limites determinados por projeto e danificam o pavimento.

Uma medida relativamente mais simples que pode ser implantada imediatamente é o início do processo de regulação de VAs no país. Para isso, o autor sugere que sejam

convocadas discussões entre a sociedade civil, a iniciativa privada e o legislativo para definir questões relacionadas a responsabilização em caso de acidentes envolvendo VAs e problemas de privacidade. Além disso, sugere-se que comecem a ser definidos os padrões de qualidade e até normas técnicas obrigatórios para o licenciamento de veículos com tecnologias de automação, com o auxílio de especialistas e robótica, engenharia automotiva e segurança viária.

Por fim, recomenda-se que o governo aumente o incentivo à pesquisa na área de veículos autônomos, tendo em vista que existem ainda questões que necessitam de maior aprofundamento para determinar a viabilidade e o alcance dos impactos desta tecnologia. Além disso, apesar dos polos de desenvolvimento das tecnologias de automação estarem no exterior, protótipos importantes de VAs já foram desenvolvidos no país, como o primeiro caminhão autônomo da América Latina, desenvolvido na Universidade de São Paulo (JORNAL NACIONAL, 2015). Portanto, com o devido incentivo é possível que o Brasil se apresente como um polo de produção de tecnologia também.

### **5.2.2** *Recomendações ao mercado automobilístico*

Os resultados indicaram que existe interesse significativo no uso de tecnologias de automação no Brasil, mesmo que em graus inferiores à automação total. Portanto, essas tecnologias têm um bom potencial de vendas. Entretanto, também foi constatada uma disparidade entre os preços atuais das tecnologias de automação e os preços que o consumidor estaria disposto a pagar pelas mesmas. Assim, é importante que os preços atinjam patamares mais aceitáveis de mercado para viabilizar o seu comércio. Ao mesmo tempo, foi constatado que existe uma possível descrença na realização de vários dos potenciais benefícios dos VAs, de modo que se os mesmos se realizarem e forem perceptíveis ao usuário, é possível que os consumidores se disponham a pagar mais pelos produtos.

Foi identificado que o fator de maior importância na determinação do interesse no uso de VAs foi a confiança na tecnologia. Isso indica que é essencial que os VAs possuam altos padrões de segurança que produzam níveis baixos de acidentes e ainda que sejam difundidas informações que fortaleçam a percepção de que a tecnologia é mais segura do que a direção humana. Além disso, foi constatada uma relação entre o nível de conhecimento na tecnologia e a confiança e interesse na mesma, de modo que uma estratégia viável pode ser a difusão do máximo de informações sobre VAs para aumentar a confiança do público na tecnologia.



Outra constatação foi de que a grande maioria dos usuários teria grande resistência em utilizar um veículo que não lhes permitisse reassumir o controle sempre que desejado.

O segundo fator de maior influência no interesse de uso de VAs identificado foi o interesse em melhorias de conforto. Isso indica que o consumidor tem grande interesse em tecnologias que o permitam realizar outras atividades enquanto se desloca, que aliviem o stress e cansaço de dirigir e que o deixem mais confortável de maneira geral em seu veículo. Estas devem ser algumas das prioridades das tecnologias de automação total ou parcial para que elas tenham sucesso comercial.

Por fim, recomenda-se que filiais nacionais de montadoras invistam em pesquisa para aplicar tecnologias de automação no Brasil, tendo em vista que há certo atraso na área com relação a outros países, ao mesmo tempo que existe demanda delas por parte do consumidor.

### **5.2.3** *Recomendações a pesquisadores e limitações da pesquisa*

Recomenda-se a pesquisadores da área de transportes algumas linhas de estudo relacionadas a veículos autônomos que não foram abordadas de forma aprofundada. As principais limitações deste trabalho foram o foco em veículos particulares e as limitações com relação a representatividade da amostra da pesquisa.

Um campo de pesquisa vasto que não foi abordado de modo aprofundado neste trabalho foi o da aplicação da automação ao compartilhamento de veículos e serviços de transporte particular, e aplicações de VAs ao transporte público. Conforme foi discutido neste trabalho, é possível que a automação facilite o compartilhamento de veículos e diminua o preço de serviços de transporte particular (como Uber em taxis) de maneira muito significativa, o que pode levar as pessoas a deixarem de ter veículos particulares a adotarem o uso de veículos compartilhados ou serviços de transporte, diminuindo o total de carros nas ruas.

Além disso, aplicações de automação no transporte público tem o potencial de diminuir seus custos e aumentar sua eficiência e qualidade de maneira a incentivar mais pessoas a abandonarem o uso de veículos particulares. Outra área promissora para o aprofundamento de estudos é a das mudanças no ambiente urbano que podem vir a acontecer devido a diminuição da necessidade de estacionamentos em áreas centrais, viabilizando o uso de áreas valorizadas para outras atividades de maior benefício social e econômico.

Quanto as limitações da pesquisa de opinião, apesar da amostra conseguida possuir boa representatividade em vários aspectos, três grupos de interesse não foram bem representados: a população de baixa renda, população de baixa escolaridade e a população idosa. Seria interessante que, em pesquisas futuras desta natureza, amostras mais representativas destes grupos fossem conseguidas. Isso permitiria uma avaliação melhor a influência da baixa renda, baixa escolaridade e idade avançada sobre fatores como o interesse no uso de VAs, a confiança nas tecnologias de automação e o preço a mais que se pagaria por elas. Recomenda-se também que em uma pesquisa futura utilizando modelagem PLS seja inserida uma variável referente ao preço, com mais perguntas específicas para medir este construto no questionário. Por fim, recomenda-se que pesquisas semelhantes sejam conduzidas em diferentes cidades, possibilitando uma comparação de resultados, a identificação de diferenças importantes entre populações e uma maior representatividade dos resultados encontrados.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, A. M. M.; LIMA, J. M. B.; MATOS, L. N.; PILLON, S. C. (2010). Uso de álcool em vítimas de acidentes de trânsito: estudo do nível de alcoolemia. *Rev. Latino-Am. Enfermagem*, Ribeirão Preto, v. 18, n. spe, p. 513-520, 2010.
- ACKERMAN, E. (2016). Cheap Lidar: The Key to Making Self-Driving Cars Affordable. *IEEE Spectrum*, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. (2009). Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres - AETT/2009. *Ministério dos Transportes*, 2009.
- ANDERSON, J. M.; KALRA, N.; STANLEY, K. D.; SORENSEN, P.; SAMARAS, C.;
- OLUWATOLA O. A. (2014). Autonomous Vehicle Technology - A Guide for Policymakers. *Rand*. Disponível em: [http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research\\_reports/RR400/RR443-2/RAND\\_RR443-2.pdf](http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR400/RR443-2/RAND_RR443-2.pdf) Acesso em: 11 de maio de 2017.
- BAGLOEE, S. A.; TAVANA, M.; ASADI, M.; OLIVER, T. (2016). Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of Modern Transportation*, v. 24, n. 4, p. 284-303, 2016.
- BEHERE, S.; TÖRNGREN, M. (2015). A functional architecture for autonomous driving. *Proceedings of the first international workshop on automotive software architecture, ACM*, p. 3-10, 2015.
- BEIMBORN, E.; HOROWITZ, A.; VIJAYAN, S.; BORDEWIN M. (1999). An Overview: Land Use and Economic Development In Statewide Transportation Planning. *Federal Highway Administration*. Milwaukee, 1999.
- BHUIYAN, J. (2017). Uber's autonomous cars drove 20,354 miles and had to be taken over at every mile, according to documents. *Recode*, 2017. Disponível em: <https://www.recode.net/2017/3/16/14938116/uber-travis-kalanick-self-driving-internal-metrics-slow-progress>. Acesso em: 04 de maio de 2017.
- BRASIL. Lei nº 12.587. (2012). Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial da União de 04/01/2012*, Brasília, p. 1, 2012.
- BULLIS, K. (2011). How Vehicle Automation Will Cut Fuel Consumption. *MIT's Technology Review*, 2011. Disponível em: <https://www.technologyreview.com/s/425850/how-vehicle-automation-will-cut-fuel-consumption/> Acesso em: 23 de maio de 2017.
- CARMINES, E.; ZELLER, R. (1979) Reliability and Validity Assessment. 1. ed., Beverly Hills: Sage Publications, 1979.
- CHIN, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. G. A. Marcoulides (Ed.) *Modern Methods for Business Research*, London, p. 295-336., 1998.

COCHRAN, W. G. (1977), *Sampling Techniques*, Third Edition, New York: John Wiley & Sons, 1977.

COLAVITE, A. S.; KONISHI, F. (2017). A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 2015. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf> Acesso em: 13 de maio de 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. (2017). Relatório Gerencial da Pesquisa CNT de Rodovias 2016. *Confederação Nacional Do Transporte*, 2017. Disponível em: [http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2016\)%20-%20LOW.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br//Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2016)%20-%20LOW.pdf) Acesso em: 13 de maio de 2017.

COUTO, R. Automóvel brasileiro é defasado, dizem especialistas. (2012). *Automotive Business*. 2012. Disponível em: <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/14083/automovel-brasileiro-e-defasado-dizem-especialistas> Acesso em: 13 de maio de 2017.

DARPA URBAN CHALLENGE 1. Victorville, California. Resumo do Evento, 2007. Disponível em: <http://archive.darpa.mil/grandchallenge/>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

DATASUS. Mortalidade proporcional por grupos de causas. *IDB Brasil 2013*, 2014. Disponível em: <http://tabnet2.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?idb2013/c04.def> Acesso em: 25 de maio de 2017.

DAVIES, A. (2016). Google's Self-Driving Car Caused Its First Crash. *Wired*, 2016. Disponível em: <https://www.wired.com/2016/02/googles-self-driving-car-may-caused-first-crash/>. Acesso em: 04 de maio de 2017.

DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO, M. C.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R. (2011). Revisão sistemática: noções gerais. *Rev. esc. enferm. USP*, São Paulo, v. 45, n. 5, p. 1260-1266, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. Frota de veículos – 2016. *Ministério das Cidades*, 2017. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/261-frota-2016> Acesso em: 25 de maio de 2017.

DRESNER, K.; STONE, P. (2008). A multiagent approach to autonomous intersection management. *Journal of Artificial Intelligence Research*, v. 31, p. 591–656, 2008.

FAGNANT, D. J.; KOCKELMAN, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 77, p. 167-181, 2015.

FALK, R. F.; MILLER, N. B. (1992) A primer for soft modeling. Akron, OH: University of Akron Press. *Open Journal of Business and Management*, v. 2, Abril, p. 103, 1992.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA. (2005). Traffic Congestion and Reliability: Linking Solutions to Problems. *Federal Highway Administration*, Washington,

- D.C., 2005. Disponível em: [https://ops.fhwa.dot.gov/congestion\\_report\\_04/executive\\_summary.htm#figES\\_4](https://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report_04/executive_summary.htm#figES_4) Acesso em: 22 de maio de 2017.
- FENDER, K. J.; PIERCE, D. A. (2016). An Analysis of the Operational Costs of Trucking: 2016 Update. *American Transportation Research Institute*, 2016.
- FERNANDES, P.; NUNES, U. (2012). Platooning with IVC-enabled autonomous vehicles: Strategies to mitigate communication delays, improve safety and traffic flow. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 13(1), p. 91–106, 2012.
- FORNELL, C.; LARCKER, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, v. 18, n. 1, pp. 39-50, 1981.
- FORREST, A.; KONCA, M. (2007). Autonomous Cars and Society. *Department of Social Science and Policy Studies, Worcester Polytechnic Institute*, 2007.
- FROUFE, C. (2017). Empresas e hospitais sofrem ataque cibernético em massa. *Estadão*, 2017. Disponível em: <http://link.estadao.com.br/noticias/empresas,empresas-e-hospitais-sofrem-ataque-cibernetico-em-massa-na-europa,70001776946> Acesso em: 25 de maio de 2017.
- GIBBS, S. (2016). Google's self-driving car in broadside collision after other car jumps red light. *The Guardian*, 2016. Disponível em: <https://www.theguardian.com/technology/2016/sep/26/google-self-driving-car-in-broadside-collision-after-other-car-jumps-red-light-lexus-suv>. Acesso em: 04 de maio de 2017.
- GREENHALGH, T. (1997). Papers that summarise other papers (systematic review and meta-analyses). *British Medical Journal*, v. 13(315), p. 672-675, 1997.
- HAIR JR, J. F.; SARSTEDT, M.; HOPKINS, L.; G. KUPPELWIESER, V. (2014a). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). *European Business Review*, v. 26, n. 2, p. 106–121, 2014.
- HAIR JR., J. F.; HULT, G. T. M.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. (2014b). A primer on partial least squares structural equation modeling (PLSSEM). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- HAYES, B. (2011). Leave the driving to it. *American Scientist*, v. 99, p. 362–366, 2011.
- HDR. (2009). Assessing the Full Costs of Congestion on Surface Transportation Systems and Reducing Them through Pricing. *Office of Economic and Strategic Analysis, U.S. Department of Transportation*, 2009. Disponível em: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/Costs%20of%20Surface%20Transportation%20Congestion.pdf> Acesso em: 8 de junho de 2017.
- HUSTON, C. (2016). Uber drivers go to war against self-driving cars. *Market Watch*, 2016. Disponível em: <http://www.marketwatch.com/story/uber-drivers-wont-accept-autonomous-cars-without-a-fight-2016-09-15> Acesso em: 24 de maio de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Portal Cidades, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>

INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. (2015). Data-Driven Transport Policy. *International Transport Forum*, 2015.

J.D. POWER AND ASSOCIATES. (2012). Autonomous Driving Technology Piques Interest of Premium Vehicle Owners. *Press Release*, 2012. Disponível em: <http://autos.jdpower.com/sites/default/files/2012049-uset.pdf> Acesso em: 24 de maio de 2017.

JORNAL NACIONAL. (2015). Pesquisadores apresentam caminhão que não precisa de motorista. *Portal G1*, 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2015/07/pesquisadores-apresentam-caminhao-que-nao-precisa-de-motorista.html>

KAYAL, P.; SINGH, R.; KUMAR, M. (2014). Defining sustainable urban mobility. *The Energy and Resources Institute*. New Delhi, 2014.

KUNZE, R.; RAMAKERS, R.; HENNING, K.; JESCHKE, S. (2012). Organization of electronically coupled truck platoons on German motorways. *Intelligent Robotics and Applications: Second International Conference*, v. 5928, p. 135–146, 2009.

LAMAS, J. (2012). Segurança nos carros: o Brasil ainda está na rabeira. *Revista Veja*, 2012. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/esporte/seguranca-nos-carros-o-brasil-ainda-esta-na-rabeira/> Acesso em: 13 de maio de 2017.

LE FAUCONNIER, A.; GANTELET, E. (2006). The time looking for a parking space: strategies, associated nuisances and stakes of parking management in France. *Proceedings of the European Transport Conference (ETC) 2006*. Strasbourg, França, 2006.

LEE, E.; GERLA, M.; PAU, G.; LEE, U.; LIM, J. (2016). Internet of Vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular fogs. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 12(9), 2016.

LIMA, D.; MACHADO, V. (2014). Tempo de deslocamento nas regiões metropolitanas. *O Globo*, 2014. Disponível em: <http://infograficos.oglobo.globo.com/economia/tempo-de-deslocamento-nas-regioes-metropolitanas.html> Acesso em: 25 de maio de 2017.

LITMAN, T. (2017). Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning. *Transportation Research Board Annual Meeting*, v. 42, p. 36–42., 2017.

LUTZ, W.; SANDERSON, W.; SCHERBOV, S. (2008). The coming acceleration of global population ageing. *Nature* 451, p. 716-719, 2008.

LYBERG, L., BIEMER, P., COLLINS, M., DE LEEUW, E., DIPPO, C., SCHWARZ, N., & TREWIN, D. (1997). Survey measurement and process quality. New York: Wiley.

MARTIN E. W., SHAHEEN S. (2011). Greenhouse gas emission impacts of carsharing in North America. *IEEE Trans Intell Transp Syst* 12, p. 1074–1086, 2011.

MOBILIZE – MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL. Estatísticas. Disponível em: <http://www.mobilize.org.br/estatisticas/> Acesso em: 25 de maio de 2017.

MODELLI, M. E. S.; PRATESI, R.; TAUIL, P. L. (2008). Blood Alcohol Concentration in Fatal Traffic Accidents in the Federal District, Brazil, *Revista de Saúde Pública*, v. 42 (2), p. 350-2, 2008.

MOEDAS, C. (2017). Discurso na 1st European Conference on Connected and Automated Driving. Bruxelas, 3 de Abril de 2017. Disponível em: [https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/moedas/announcements/european-conference-connected-and-automated-driving-together-shaping-future\\_en](https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/moedas/announcements/european-conference-connected-and-automated-driving-together-shaping-future_en) Acesso em: 03 de maio de 2017.

MUOIO, D. (2017). These 19 companies are racing to build self-driving cars in the next 5 years. *Business Insider*. 2017. Disponível em: <http://www.businessinsider.com/companies-making-driverless-cars-by-2020-2017-1/#tesla-recently-made-a-big-move-to-meet-its-goal-of-having-a-fully-self-driving-car-ready-by-2018-1>. Acesso em: 04 de maio de 2017.

MYERS, R.M. (1990). *Classical and Modern Regression with Applications*. 2. ed., Boston: Duxbury Press, 1990.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA. (2008). National Motor Vehicle Crash Causation Survey. *U.S. Department of Transportation*, 2008.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA. (2012a). Final Regulatory Impact Analysis: Corporate Average Fuel Economy for MY 2017-MY 2025 Passenger Cars and Light Trucks. *U.S. Department of Transportation*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2012a.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA. (2012b). Fatal Analysis Reporting System. *U.S. Department of Transportation*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2012b.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA. (2013). Automated Vehicles Policy. . *U.S. Department of Transportation*, 2013. Disponível em: [https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/automated\\_vehicles\\_policy.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/automated_vehicles_policy.pdf). Acesso em: 04 de maio de 2017.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA. (2015). The Economic and Societal Impact of Motor Vehicle Crashes. *U.S. Department of Transportation*, 2015.

NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - NHTSA. U.S. (2014). Department of Transportation Announces Decision to Move Forward with Vehicle-to-Vehicle Communication Technology for Light Vehicles. Washington, D.C, 2014. Disponível em: <https://www.nhtsa.gov/press-releases/us-department-transportation-announces-decision-move-forward-vehicle-vehicle> Acesso em 22 de maio de 2017.

- NAUGHTON, K.; BERGEN, M. (2017). Alphabet's Waymo Cuts Cost of Key Self-Driving Sensor by 90%. *Bloomberg Technology*, 2017. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-01-08/alphabet-s-waymo-cuts-cost-of-key-self-driving-sensor-by-90> Acesso em: 24 de maio de 2017.
- NEWCOMB, D. (2012). Road-Train Test Keeps Cars in Line. *Wired*, 2012. Disponível em: <https://www.wired.com/2012/05/sartre-road-train-spain/> Acesso em: 23 de maio de 2017.
- NUNNALLY, J. (1978). *Psychometric Theory*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1978.
- PATRASÇU A.; SIMION E. (2014). Cyber security evaluation of critical infrastructures systems. *Nova Science Publishers, Inc*, p. 185–205, 2014.
- PETERSON, R. A., KIM, Y. (2013). On the Relationship between Coefficient Alpha and Composite Reliability. *Journal of Applied Psychology*, v. 98 (1), p. 194-198, 2013.
- PLOEG, J.; SERRARENS, A. F. A.; HEIJENK, G. J. (2011). Connect & Drive: design and evaluation of cooperative adaptive cruise control for congestion reduction. *Journal of Modern Transportation*, v. 19(3), p. 207–213, 2011.
- POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. Acidentes de trânsito em rodovias de 2014 a 2016. *Dados Abertos*, 2017. Disponível em: <https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes> Acesso em: 25 de maio de 2017.
- PONCE, J. C. (2009). Álcool em Vítimas Fatais de Acidentes de Trânsito no Município de São Paulo, ano 2005. *Dissertação de mestrado*. São Paulo, FM-USP, 2009.
- PORTAL ÍRIS. Custos dos Acidentes no Brasil. *Observatório Nacional de Segurança Viária*, 2017. Disponível em: <http://iris.onsv.org.br/iris-beta/#/stats/profiles/0/cost> Acesso em: 25 de maio de 2017.
- RAMÍREZ-CORREA, P. E.; MELO MARIANO, A.; SALAZAR, E. A. (2014). Propuesta Metodológica para aplicar modelos de ecuaciones estructurales con PLS : El caso del uso de las bases de datos. *Revista ADMpg Gestao Estrategica*, v. 7, n. 2, p. 133–139, 2014.
- RIO TINTO. (2014). Rio Tinto Improves Productivity Through the World's Largest Fleet of Owned and Operated Autonomous Trucks, 2014. Disponível em: [http://www.riotinto.com/media/media-releases-237\\_10603.aspx](http://www.riotinto.com/media/media-releases-237_10603.aspx) Acesso em: 23 de maio de 2017.
- RODRIGUES, J. M. (2012). Crescimento da frota de automóveis e motocicletas nas metrópoles brasileiras 2001/2011. *INCT Observatório das Metrópoles*, 2012.
- SALOMON, I.; MOKHTARIAN, P. L. (1998). What Happens When Mobility-Inclined Market Segments Face Accessibility-Enhancing Policies? *Transportation Research Part D*, v. 3(3), p. 129-140, 1998.
- SANTOS, L. S.; LOUREIRO, S. A.; LIMA, O. F. J.; BERTONCINI, B. V.; BEZERRA, O. B. (2014). Análise Da Literatura De Geografia Do Tempo Aplicada Ao Transporte Urbano De Cargas. *XXVIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*. Curitiba, 2014.



- SEGURO DPVAT. Boletim Estatístico do Seguro DPVAT 2013. *SEGURADORA LIDER*, v. 4, 2014. Disponível em: <https://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/Boletim-Estatistico-Ano-03-Volume-04.pdf> Acesso em: 25 de maio de 2017.
- SHLADOVER, S.; SU, D.; LU, X. (2012). Impacts of cooperative adaptive cruise control on freeway traffic flow. *Proceedings of the 91st Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C, 2012.
- SILVA, E. F. (2010). Automóveis, preços e tributos: Brasil e outros países. *Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados*, 2010. Disponível em: [http://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/3863/automoveis\\_tributos\\_silva.pdf?sequence=1](http://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/3863/automoveis_tributos_silva.pdf?sequence=1) Acesso em: 13 de maio de 2017.
- SIMONITE, T. (2016). Prepare to be Underwhelmed by 2021's Autonomous Cars. *MIT Technology Review*, 2016. Disponível em: [www.technologyreview.com/s/602210/prepare-to-be-underwhelmed-by-2021s-autonomous-cars/amp/](http://www.technologyreview.com/s/602210/prepare-to-be-underwhelmed-by-2021s-autonomous-cars/amp/). Acesso em: 04 de maio de 2017.
- SIVAK, M.; SCHOETTLE, B. (2015) Influence of current nondrivers on the amount of travel and trip patterns with self-driving vehicles. University of Michigan Transportation Research Institute, Technical Report No. UMTRI-2015-39, 2015.
- TACHET, R.; SANTI, P.; SOBOLEVSKY, S.; REYES-CASTRO, L. I.; FRAZZOLI, E.; HELBING, D.; RATTI, C. (2016). Revisiting Street Intersections Using Slot-Based Systems. *PLoS ONE*, v. 11(3), p. 1–9, 2016.
- TRANFIELD, D; DENYER, D.; SMART, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, v. 14, p. 207–222, 2003.
- UK DEPARTMENT FOR TRANSPORT. (2016). Reported Road Casualties Great Britain: 2015 Annual Report. *National Statistics*, 2016. Disponível em: [https://www.gov.uk/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=hlBd3J-5mvJ-mP\\_BFDSWLQduLxhJnqd2LlKlfCe3No,&dl](https://www.gov.uk/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=hlBd3J-5mvJ-mP_BFDSWLQduLxhJnqd2LlKlfCe3No,&dl) Acesso em: 23 de maio de 2017.
- UNITED STATES CENSUS BUREAU. American FactFinder. 2016. Disponível em: <https://factfinder.census.gov/faces/nav/jsf/pages/index.xhtml> Acesso em: 25 de maio de 2017.
- VIEIRA, S. (2009). Como elaborar questionários. Editora Atlas, v. 1, p. 159, 2009.
- WADUD, Z.; MACKENZIE, D.; LEIBY, P. (2016). Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. *Transportation Research Part A*, v. 86, p. 1–18, 2016.
- WAYMO. Dados sobre testes com carros autônomos. *Waymo*, 2017. Disponível em <https://waymo.com> Acesso em: 04 de maio de 2017.
- WEBER, M. (2014). Where to? A history of autonomous vehicles. *Computer History Museum*, 2014. Disponível em: <http://www.computerhistory.org/atcm/where-to-a-history-of-autonomous-vehicles/>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

WEISBROD, G.; VARY, D.; TREYZ, G. (2003). Measuring economic costs of urban traffic congestion to business. *Transportation Finance, Economics and Economic Development 2003: Planning and Administration*, p. 98–106, 2003.

WOOD, J. (2002). Aging, driving and vision. *Clinical and Experimental Optometry*, v. 85, p. 214-220, 2002.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2016). Global status report on road safety 2015. Disponível em: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/) Acesso em: 13 de maio de 2017.

YAMANE, T. (1967). *Statistics: An Introductory Analysis*, Ed. 2, New York: Harper and Row, 1967.

ZHENG, K.Ç; ZHENG, Q.; YANG, H.; ZHAO, L.; HOU, L.; CHATZIMISIOS, P. (2015). Reliable and efficient autonomous driving: The need for heterogeneous vehicular networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 53(12), p. 72–79, 2015.

ZIMMER, L. (2006). Qualitative meta-synthesis: a question of dialoging with texts. *Journal of Advanced Nursing*, v. 53(3), p. 311-318, 2006.

## APÊNDICE A1: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

De acordo com De la Torre-Ugarte-Guanilo et al., a Revisão Sistemática da Literatura é uma metodologia com o objetivo de obter subsídios para a Prática Baseada na Evidência, um movimento que surge da necessidade de sintetizar grande volume de informação científica sobre um tema com a finalidade de fundamentar propostas de aprimoramento e melhoria do ensino (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO et al., 2011). Enquanto trata-se de uma metodologia originária e usualmente aplicada principalmente na área da saúde, o movimento da Prática Baseada na Evidência já migrou para outras áreas. Ainda, a Revisão Sistemática difere das revisões tradicionais é por ser um método replicável, transparente e científico. Isso não apenas facilita o processo de pesquisa, mas evita que haja parcialidade por parte do autor no mesmo e ainda possibilita que outros pesquisadores repitam seu processo passo a passo (TRANFIELD et al., 2003).

Tranfield et al. especifica três estágios e um total de dez fases que considera importante na condução de uma Revisão Sistemática, listados abaixo:

**Quadro A1.1:** Estágios e passos de uma Revisão Sistemática da Literatura, segundo Tranfield et al. (2003).

Estágio 1 - Planejamento da Revisão	Passo 0: Identificação da necessidade de uma revisão de literatura.
	Passo 1: Preparação de uma proposta de revisão.
	Passo 2: Desenvolvimento de um protocolo de revisão.
Estágio 2 – Condução da Revisão	Passo 3: Identificação das pesquisas.
	Passo 4: Seleção dos estudos.
	Passo 5: Avaliação da qualidade dos estudos.
	Passo 6: Extração da informação.
Estágio 3 – Relatório e disseminação	Passo 7: Síntese da informação.
	Passo 8: Relatório e recomendações.
	Passo 9: Uso das evidências coletadas na prática.

Santos et al. (2014) sugere que sua aplicação seja realizada em seis passos:

**Quadro A1.2:** Passos de uma Revisão Sistemática da Literatura, segundo Santos et al. (2014).

Passo 1:	Definição do problema de pesquisa claro, objetivo e conciso.
Passo 2:	Definição da estratégia de pesquisa, mediante a escolha das bases de dados, do período de pesquisa e dos termos de busca.
Passo 3:	Definição de critérios para inclusão ou exclusão de trabalhos.
Passo 4:	Seleção dos artigos, conforme a estratégia de pesquisa (Passo 2) e critérios de inclusão e exclusão (Passo 3).
Passo 5:	Análise dos artigos selecionados, mediante a revisão profunda dos mesmos, considerando apenas as obras relacionados ao problema de pesquisa (Passo 1).
Passo 6:	Apresentação dos resultados - com destaque para as revistas e para os autores que mais contribuem com o tema de pesquisa, apresentando lacunas e pesquisas em futuras oportunidades.

Os critérios de qualidade para avaliação e seleção dos estudos no passo 4 devem ser definidos *a priori* pelo pesquisador.

Os métodos de síntese das evidências ou informações coletadas devem ser definidos de acordo com a natureza da revisão, que pode ser quantitativa ou qualitativa ou de ambas as naturezas. (DE-LA-TORRE-UGARTE-GUANILO et al., 2011).

## APÊNDICE A2: ELABORAÇÃO DE UM QUESTIONÁRIO

Segundo Vieira (2009), um questionário é um instrumento de pesquisa constituído por uma série de questões sobre determinado tema. As repostas dos respondentes são transformadas em estatísticas. Embora essa ferramenta possa produzir informações valiosas, é importante que o seu processo de elaboração e aplicação seja feito com diversos cuidados para garantir sua eficiência.

Primeiramente, o pesquisador deve definir: os objetivos do questionário; a população-alvo; a natureza (qualitativa ou quantitativa); temas das questões (sobre fatos, opiniões, preferências, etc); as formas e ferramentas de aplicação (auto aplicação, por telefone, face a face); e o planejamento da aplicação do questionário.

A definição de objetivos claros para o questionário é de vital importância para garantir que o mesmo apresente resultados condizentes com os objetivos de pesquisa, evitando perguntas desnecessárias e desperdício de recursos. Devem ser definidos de maneira mais específica possível as informações que se deseja obter a partir do questionário. Igualmente importante é a definição da população e dos respondentes, tendo em vista que suas características e quantidade são importantes para escolher o tipo de pergunta, de aplicação e o vocabulário a ser usado no questionário. Questionários de natureza qualitativa são mais adequadas para o estudo de realidades pouco conhecidas, enquanto em casos onde há conhecimento acumulado sobre o assunto é recomendável uma pesquisa quantitativa. Os temas das questões são definidos de acordo com os construtos e variáveis a serem avaliados, que por sua vez são definidos a partir dos objetivos do questionário. As formas e ferramentas de aplicação são definidos levando em consideração principalmente os recursos necessários para obter o número de respondentes desejado com cada método, bem como suas vantagens e desvantagens específicas para cada tipo de população-alvo e objetivo de pesquisa

Com essas diretrizes iniciais, a próxima etapa é redigir as perguntas e respostas em si. Existem diferentes tipos de questão em diferentes aspectos: (podendo as segundas serem binárias, de múltipla escolha ou escalonadas). Em perguntas fechadas escalonadas existem ainda diversos tipos de escala que podem ser utilizados, como escalas semânticas, diferenciais semânticas, visuais analógicas ou com figuras. É importante ressaltar que perguntas quantitativas são aquelas com respostas numéricas e qualitativas com respostas em palavras, e não necessariamente tem relação com um teor quantitativo ou qualitativo do questionário em si. Questionários quantitativos podem ter perguntas qualitativas.

Devido a dificuldade do pesquisador em controlar a veracidade, a memória e o entendimento dos respondentes, é importante que um cuidado especial seja dedicado ao processo de redação das questões. Questões inadequadas, não formuladas ou com opções inadequadas de resposta tornam um questionário sem valor. No processo de construção das questões, Vieira (2009) recomenda que: perguntas sejam feitas uma de cada vez; sejam feitas apenas perguntas que o respondente tem condições de responder; sejam feitas perguntas que produzam respostas variadas; as alternativas de resposta sejam condizentes com a pergunta; sejam evitadas perguntas diretas demais; sejam evitadas frases negativas; sejam evitadas palavras vagas e com duplo significado; sejam evitadas perguntas indefinidas; evite-se pedir ao respondente que ordene uma série longa por importância; e evite-se abreviações e palavras desconhecidas.

Além destes cuidados, é importante tentar evitar viés nas respostas. Algumas causas para que isso ocorra são: exibicionismo do respondente; sugestões de resposta contidas na pergunta; pressupostos falsos na pergunta; maneira em que é feita a pergunta; identificação de uma fonte na pergunta; constrangimento do respondente; e características do entrevistador.

Nota-se que algumas das causas de viés podem ser evitadas por meio do uso do anonimato e de ferramentas de coleta que não envolvam contato direto com o entrevistador, enquanto outras podem ser evitadas com uma boa redação das perguntas e respostas. Por isso é importante realizar uma validação semântica após a elaboração do questionário.

Em muitos casos é de interesse do pesquisador entender conceitos complexos que não podem ser medidos de maneira direta. Para isso, são utilizados indicadores objetivos que ajudam a medir os conceitos, embora não o definam perfeitamente. Escalas são ferramentas valiosas para medir esses indicadores e em alguns casos até conceitos, tendo em vista que são instrumentos de medição validados. As escalas quantitativas mais utilizadas para medir conceitos são: escala Bogardus, escala Gutman, escala Thurstone e escala Likert, sendo a última a mais difundida. Ela é composta por diversos itens de Likert, que são itens em que é colocada uma afirmação e o respondente classifica em que medida concorda ou discorda com a mesma (normalmente são utilizadas 4 ou 6 opções quando o entrevistador quer um posicionamento claro e 5 ou 7 quando deseja permitir neutralidade). A escala Likert é a soma dos escores conferidos aos vários itens Likert que formam um conceito.

Para construir uma escala Likert, o primeiro passo é escrever uma série de itens que, para o pesquisador, podem medir o conceito. Em seguida deve-se avaliar a capacidade de cada item para medir o conceito, convidando pessoas que não participaram do processo de elaboração dos itens para fazê-lo. Depois, são definidos quantos itens vão ser aplicados no questionário para avaliar o conceito, bem como quantas opções de resposta serão dadas em cada uma e um escore numérico correspondente a cada resposta. Depois da aplicação do questionário é feita a soma dos escores das respostas dos itens referentes a cada conceito.

Com o questionário montado, é necessário testá-lo aplicá-lo na população-alvo. O objetivo dessa etapa é verificar se o questionário é compreensível para todos e os respondentes e se será capaz de atender os objetivos da pesquisa. A validação semântica com especialistas e colegas do pesquisador é uma maneira de melhorar o questionário, mas o método mais eficiente é um pré-teste com uma pequena amostra. Os respondentes do pré-teste devem ser semelhantes ao da população alvo. A diferença é que nessa etapa não é necessário ter todos os cuidados obrigatórios da amostra definitiva. O pesquisador pode conversar informalmente com os respondentes, procurando identificar perguntas de difícil entendimento, ambiguidade ou incômodo.

O pré-teste de coleta de dados serve para verificar se a disposição dos elementos no questionário permite que todas as respostas sejam registradas com facilidade e clareza. O pré-teste de delineamento é feito com pessoas que estão dentro dos grupos que serão submetidos ao questionário final, com o objetivo de identificar possíveis dificuldades com relação a aplicação da pesquisa na amostra escolhida.

Um dos pré-testes mais importantes é o de análise estatística. É feita a análise de um conjunto de respostas pequeno, buscando identificar: perguntas sem respostas (podem identificar perguntas de difícil resposta ou constrangedoras); perguntas com respostas muito semelhantes (podem identificar falta de alternativas ou alternativas mal elaboradas); opções nunca escolhidas em respostas (podem indicar alternativas muito enfáticas ou absolutas); e verificar a frequência de respostas com a categoria “outros”. Também é recomendável fazer análises de confiabilidade e validade dos resultados nessa fase.

Com o questionário pronto, deve ser feita a escolha dos respondentes. O censo é a maneira mais precisa de levantar dados, pois é feito com toda a população-alvo. Porém, com populações grandes o seu custo é muito alto, de maneira que é mais recomendável realizar um levantamento amostral. Este, por sua vez, possui os erros de amostragem, que são expressos

pela margem de erro e intervalo de confiança. A margem de erro indica a amplitude do intervalo dentro do qual se espera que o valor seja verdadeiro, e o intervalo de confiabilidade dá a probabilidade de isso acontecer, dada uma amostra tomada da mesma forma, no mesmo período e na mesma população.

Enquanto os erros de amostragem são inevitáveis, existem outros tipos de erro que podem ser evitados, causados por: substituir pessoas que não são facilmente encontradas por outras; escolher uma amostra só de voluntários; escolher deliberadamente uma amostra que se julga representativa; usar uma amostra com características associadas à variável de interesse, mesmo que essa associação seja desconhecida do pesquisador; não obter resposta de todas as unidades amostrais; e subcobertura.

Existem amostras de três principais tipos: aleatória ou probabilística; semiprobabilística; e não probabilística ou de conveniência. A amostra probabilística é composta por um número de unidades retiradas ao acaso da população. Para fazer esse tipo de amostragem, é necessário que a população seja conhecida e cada unidade seja identificada por nome ou número. A amostra semiprobabilística é feita por um procedimento parcialmente aleatório, podendo ser feita de forma sistemática, por conglomerados ou por quotas. A amostra não probabilística é constituída por unidades que reunidas simplesmente porque o são de fácil acesso ao pesquisador. Enquanto métodos probabilísticos são preferíveis, o uso de não probabilísticos não invalida uma pesquisa, desde que a amostra esteja muito bem descrita, pois representa apenas a população de indivíduos semelhantes aos indivíduos incluídos na mesma.

A última etapa é a verificação de confiabilidade e validade do questionário. Confiabilidade é o grau em que um instrumento quando faz medições de forma consistente, enquanto a validade determina se o instrumento faz a medida da grandeza ou conceito que pretende medir. É possível que um instrumento seja confiável e não válido, ou seja, que apresente medições consistentes de algo diferente do que pretendia medir originalmente. Ambas as verificações são essenciais para que os resultados da pesquisa tenham algum valor.

Um questionário é considerado confiável quando os escores conferidos as declarações que medem a mesma dimensão têm consistência. É medida estatisticamente por coeficientes de correlação, variando de 0 (sem correlação) a 1 (correlação perfeita). Existe uma vasta gama de métodos para medir a confiabilidade, mas um dos mais usuais é o Alfa de Cronbach, que calcula a média de todas as correlações que se obtém quando se divide o questionário em metades de todas as formas possíveis. É uma medida de consistência interna, e para ser usada as respostas devem estar escalonadas. Quando o valor desse coeficiente é superior a 0,7 o instrumento é considerado confiável.

A validade questionário é medida de diversas maneiras. A validade de face é o grau que o instrumento aparentemente mede o que pretende medir, e é avaliada tanto por meio de especialistas como de amostras de respondentes. A validade do conteúdo é o grau que a medida abrange toda a gama de significados e dimensões dentro do conceito. Ambas estão relacionadas com a validade semântica, que é a validade de significado linguístico e clareza das perguntas e itens. A validade preditiva é a medida com que os resultados estão correlacionados com medidas feitas no futuro. A validade de construção é o grau com que os resultados se relacionam com resultados obtidos de outra forma e de validade conhecida. A validade de construto é feita para estabelecer definições conceituais e operacionais dos principais termos e variáveis de estudo, para definir claramente os objetos de estudo. Outras medidas de validade também podem ser adotadas em cada contexto.

As verificações de confiabilidade e validade devem ser realizadas tanto nos resultados da amostra final do questionário quanto nas fases de elaboração e pré-teste do mesmo, para garantir que o mesmo seja capaz de atingir os objetivos e de pesquisa com resultados com significância.

O quadro A2.1 apresenta o resumo da metodologia para elaboração de um questionário, com base nas recomendações de Vieira (2009):

**Quadro A2.1:** Estágios para a elaboração de um questionário, a partir das recomendações de Vieira (2009).

Estágio 1 – Planejamento do questionário	Definir objetivos
	Definir população-alvo
	Definir natureza (qualitativa ou quantitativa)
	Definir temas das questões (sobre fatos, opiniões, preferências, etc)
	Definir formas de aplicação (auto aplicação, face a face, online, etc)
	Elaborar cronograma de aplicação
Estágio 2 – Elaboração das perguntas e respostas	Definir tipos de questão (qualitativas ou quantitativas; gerais ou específicas; e abertas ou fechadas)
	Definir quais escalas serão usadas (Bogardus, Gutman, Thurstone, Likert, etc)
	Redigir as questões
	Verificação da qualidade (identificação de erros e causas para viés) e validação semântica (com ajuda de especialistas e terceiros)
Estágio 3 – Testes do questionário	Pré-teste de coleta de dados
	Pré-teste de delineamento
	Pré-teste de análise estatística
	Verificações de confiabilidade e validade dos resultados com a amostra teste
Estágio 4 – Escolha dos respondentes	Definir se será utilizado censo ou levantamento amostral
	Definir margem de erro, intervalo de confiança e tamanho da amostra
	Definir tipo de amostragem (probabilística, semiprobabilística e não probabilística)
Estágio 5 – Aplicação do questionário	Coleta das respostas do questionário
Estágio 6 – Confiabilidade e Validade	Verificações de confiabilidade
	Verificações de validade

### APÊNDICE A3: MODELAGEM EM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS COM REGRESSÃO PLS

A modelagem em equações estruturais compreende um conjunto de diversas técnicas estatísticas e abordagens matemáticas usadas em ciências sociais para o estudo de variáveis não observáveis (chamadas de latentes) a partir de relações com variáveis observáveis (chamadas manifestas) permitindo ao pesquisador ter flexibilidade para modelar relações entre múltiplas variáveis (CHIN, 1998). Esse tipo de modelagem é comumente classificado como *soft* (ou macia), em contraste com a classificação de técnicas com abordagem diferente como *hard* (dura). A principal diferença entre os dois tipos de abordagens está no tipo de relação que elas buscam encontrar. As técnicas de modelagem *hard* possuem o foco em encontrar relações de causalidade, ou seja, que permitam explicar com exatidão um fenômeno e prever seu comportamento sem erros. A modelagem *soft* tem o foco na previsão de fenômenos, ou seja, relações onde há margem para erro e que só explicam parcialmente fenômenos (FALK e MILLER, 1992).

Um modelo de equações estruturais é composto por: variáveis latentes (VLs); variáveis manifestas (VMs), também chamadas de indicadores; relações entre indicadores e variáveis latentes; e relações entre variáveis latentes. A representação gráfica usualmente adotada nos modelos é de círculos para as VLs, blocos para as VMs e setas para as relações. As relações podem ser do tipo assimétrico, onde há uma relação de causalidade ou de previsão entre as variáveis, ou simétricas, onde há um relacionamento de correlação ou covariância. Relações assimétricas são representadas como setas unidirecionais, onde a variável que “causa” a outra está no início da seta. Relações simétricas são representadas por setas bidirecionais (FALK e MILLER, 1992).

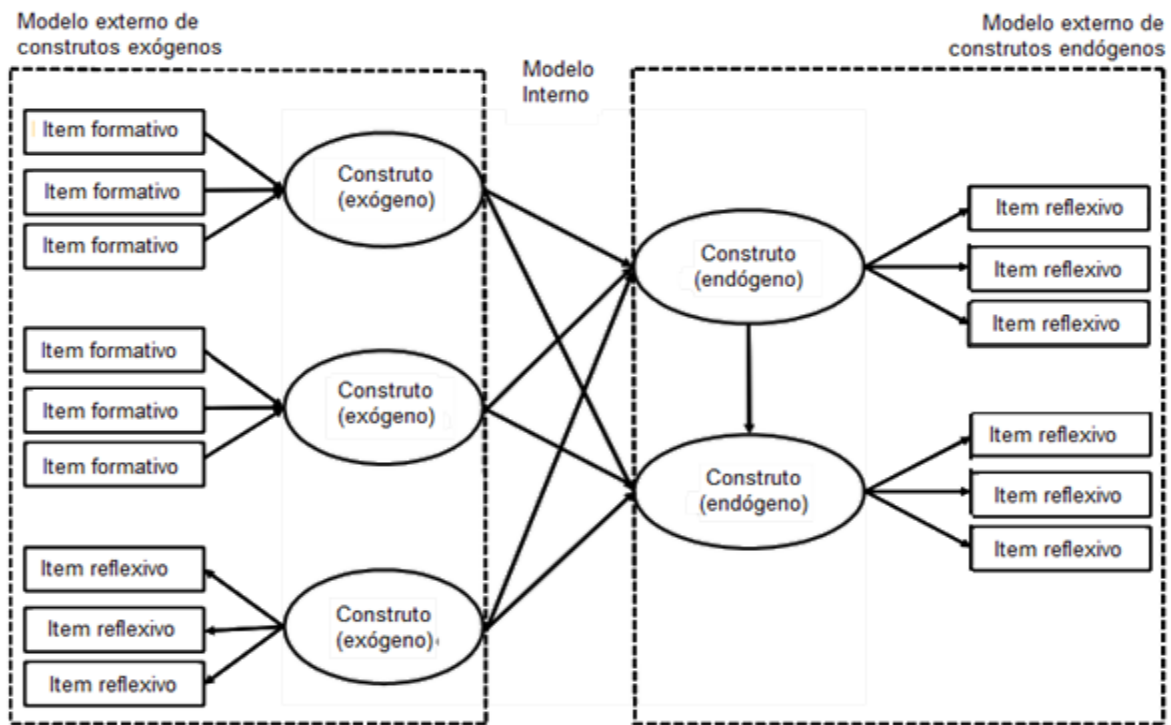
Existem dois tipos de VMs ou indicadores: formativos e reflexivos. Uma VL é formada por indicadores reflexivos quando os mesmos são manifestações do construto que representam, de modo que os indicadores estão em função das variáveis (por exemplo, o nível de embriaguez tem como indicadores reflexivos: teste do bafômetro, teste de reação, teste de memória) e sua relação é assimétrica com o sentido da VL para o indicador. Por outro lado, uma VL é formada por indicadores formativos quando o construto é expressado em função dos indicadores (por exemplo, a quantidade de álcool no sangue tem como indicadores formativos a quantidade de cerveja ingerida, quantidade de vinho ingerido, etc) e sua relação é assimétrica com o sentido do indicador para a VL (RAMÍREZ-CORREA et al., 2014).

As VLs ou construtos são consideradas exógenas ou endógenas. As exógenas são aquelas que funcionam como variáveis independentes e, portanto, não tem setas apontando para si vindo de outras VLs. Enquanto isso, as endógenas são explicadas por outros construtos, de forma que possuem setas apontando si vindo de outras VLs. Uma variável endógena pode ser exclusivamente dependente ou agir também de forma independente (quando é colocada entre dois construtos). É importante ressaltar que a modelagem em PLS não suporta relacionamentos circulares variáveis, ou seja, relações onde é formado um ciclo fechado entre três ou mais variáveis. O modelo interno consiste nas relações entre as VL endógenas e exógenas, enquanto os modelos externos são formados pelos indicadores e suas relações com seus construtos. Existe um modelo externo para as variáveis endógenas e um para as exógenas (HAIR et al., 2014a).

A ilustração A3.1 exemplifica um modelo com os elementos explicados:



**Figura A3.1:** Modelo simples de caminhos.



Fonte: HAIR et al., 2014a

Falk e Miller (1992) recomendam o uso da metodologia chamada de modelagem de ações reticulares (*reticular action modeling* ou RAM) para a construção de modelos de equações estruturais com PLS. O quadro A3.2 define os passos a construção do modelo segundo essa metodologia:

**Quadro A3.2:** Método RAM para modelagem em PLS, segundo de Falk e Miller (1992).

Passo 1: Ordem	Os círculos que representam os construtos devem ser desenhados na ordem causal ou preditiva esperada da esquerda para a direita.
Passo 2: Setas entre construtos	As setas que representam as relações de causalidade entre os construtos devem ser desenhadas no sentido da variável independente para a dependente.
Passo 3: Blocos	Os blocos representam os indicadores e devem ser desenhados próximos aos construtos com os quais se relacionam.
Passo 4: Setas entre indicadores e construtos	O sentido das setas entre indicadores e os construtos definirá se são indicadores reflexivos (do construto para o indicador) ou formativos (do indicador para o construto).

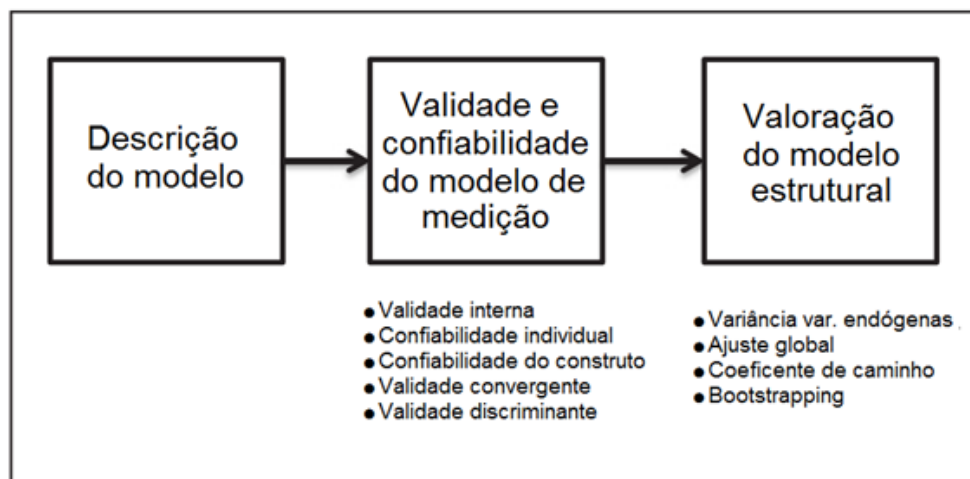
A parte mais difícil da construção do modelo é determinar as relações de causalidade entre os construtos, tendo em vista que tanto a sua existência quanto seu sentido nem sempre são claras. O pesquisador deve utilizar a lógica e bases teóricas para tentar determinar essas relações, e mesmo assim é possível que, depois das estimativas do modelo, seja constatado que as relações esperadas não foram encontradas. Também é importante que o pesquisador evite colocar relações pouco esperadas no modelo, pois sua precisão pode diminuir (FALK e MILLER, 1992).

A abordagem do processo de estimativa para esse tipo de modelo é de minimizar a variância de todas as variáveis dependentes (ou seja, aquelas que possuem setas apontadas

para si). Assim, as estimativas dos parâmetros são obtidas com base na habilidade de minimizar a variância residual das variáveis dependentes, tanto latentes quanto observáveis, e as variáveis latentes são aproximadas pelos seus indicadores. Especificações formais sobre o modelo PLS podem ser encontradas no trabalho de Chin (1998). A estimativa em si é feita por meio de softwares criados para esse propósito como o *LVPLS* ou o *Smart PLS*.

Ramirez-Correa et al. (2014) propõe uma metodologia para a aplicação de modelagem em equações estruturais com PLS em três fases: descrição do modelo; validade e confiabilidade do modelo de medição; e valoração do modelo estrutural. A figura A3.3 apresenta uma representação da metodologia e dos passos de cada fase:

**Figura A3.3:** Metodologia para aplicação de modelagem PLS.



Fonte: RAMIREZ-CORREA et al., 2014

A etapa de descrição do modelo pode ser realizada por meio do método RAM descrito no quadro A3.1 ou de outra metodologia, sendo importante definir nesta fase as variáveis latentes e manifestas e as relações de causalidade entre as variáveis, lembrando de definir se os indicadores são reflexivos ou formativos. Com o modelo montado, deve ser feita a estimativa no software.

Na fase de validade e confiabilidade do modelo de medição são feitas diversas verificações para garantir que o modelo realmente mede as variáveis desejadas. Para VLS com indicadores formativos a validade interna é verificada descartando problemas de multicolinearidade (quando variáveis independentes possuem relações lineares aproximadamente exatas). Para isso, é calculado o valor do fator de inflação de variância (*variance inflation factor* ou VIF), que deve ser inferior a 10 (MYERS, 1990). Além disso, é necessário assegurar a validade e confiabilidade de todos os outros construtos.

Em seguida é verificada a confiabilidade individual dos itens, que verifica se os indicadores realmente refletem os construtos desejados. Para isso, são examinadas as cargas  $\lambda$  (ou *loadings*), que são as correlações simples dos indicadores e construtos, representadas acima das setas que os ligam. A carga elevada ao quadrado  $\lambda^2$  representa a porcentagem da variância do indicador que está relacionada com o seu construto, de modo que um  $\lambda=1$  significaria que a VM reflete perfeitamente a VL, enquanto  $\lambda =0$  indica que não há qualquer correlação entre eles. Segundo Falk e Miller (1992), devem ser aceitos valores de  $\lambda \geq 0,55$ , enquanto Carmines e Zeller (1979) indicam apenas valores de  $\lambda \geq 0,707$ . Independentemente do valor adotado, indicadores com  $\lambda$  inferior ao limite devem ser descartados por não

representarem bem a sua respectiva VL. É importante lembrar que, em modelos PLS, é necessário que haja pelo menos dois indicadores para cada VL.

A confiabilidade de cada construto é uma medida que permite avaliar com que rigorosidade as variáveis manifestas estão medindo as latentes, validando o construto. Para verificá-la são usados coeficientes de medição de confiabilidade, sendo mais indicados o Alfa de Cronbach (CA) e a Confiabilidade Composta do construto (*Composite Reliability* ou CR). Enquanto o CA é o coeficiente mais conhecido para esse tipo de medição, o mesmo tem sofrido críticas por subestimar a confiabilidade em alguns casos (PETERSON e KIM, 2013), de modo que muitos pesquisadores tem utilizado a alternativa da CR. Independente de qual dos dois indicadores for escolhido, Nunnally (1978) indica que valores superiores a 0,7 devem ser aceitos para investigações com instrumentos novos ou em etapas iniciais e superiores a 0,8 para estudos em etapas mais avançadas. Ainda, Lyberg et al. (1997) indicam que valores de CA superiores a 0,6 já são aceitáveis.

Para verificar a consistência interna do modelo, deve ser analisada a sua validade convergente. Para isso, considera-se a variância extraída média (*average variance extracted* ou AVE), que explica se todos os itens que medem um construto estão realmente medindo o mesmo. Entretanto, essa medida só é aplicável para VLS com indicadores reflexivos (CHIN, 1998). Fornell e Larcker (1981) sugerem que existe validade quando  $AVE \geq 0,5$ , o que indica que mais de 50% da variância do construto é devida aos seus indicadores, ou sejam, estão fortemente correlacionados.

Por último, a verificação da validade discriminante é feita para avaliar o grau com que cada construto apresentado é diferente dos outros, ou seja, se não existem construtos muito parecidos. Um modelo para verificação da validade discriminante é o critério Fornell-Larcker, no qual a raiz quadrada da AVE de cada VL deve ser maior que as correlações (r de Pearson) com o resto das VLS do modelo. Outro modelo aceitado é verificar as cargas cruzadas (*cross loadings*) das VMs com cada VL: se a carga de todos os indicadores com seu construto for maior do que sua carga com os outros construtos, isso indica que estes estão bem definidos e diferenciados.

A terceira fase da metodologia de aplicação de modelagem em equações estruturais com PLS é a valoração do modelo estrutural, ou seja, se as relações entre as variáveis imaginadas pelo pesquisador realmente são significativas, de modo que o modelo é válido. Para saber em que grau uma variável endógena é explicada pelas variáveis exógenas, avalia-se a variância explicada, bem representada pelo fator  $R^2$ , também chamado de coeficiente de determinação. Essa grandeza representa a porcentagem da variância da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes com ela relacionadas. Para que uma variável seja suficientemente explicada pelas variáveis independentes, Falk e Miller (1992) recomendam que só sejam consideradas relações com  $R^2 \geq 0,1$ . Os coeficientes  $R^2$  são representados dentro dos círculos das variáveis endógenas.

Na metodologia proposta por Ramírez-Correa et al. (2014), recomenda-se que seja feito o cálculo de um índice de ajuste global (*Goodness of fit* ou GoF). Entretanto, um estudo de Hair et al. (2014b) apresenta diversas deficiências estatísticas deste indicador para modelagem PLS, de forma que essa verificação não vem sendo utilizada desde então.

Para verificar se as variáveis o grau em que cada variável exógena explica as variáveis endógenas com as quais tem relação, examina-se os coeficientes de caminho  $\beta$ , que são representados acima das setas que indicam essas relações. Seus valores representam os pesos de regressão padronizados. Os  $\beta \geq 0,2$  são considerados significativos, embora idealmente se esperem valores de  $\beta \geq 0,3$  (CHIN, 1998). Os valores de  $\beta$  podem ser negativos, o que indica

uma relação inversa (por exemplo, é possível que a variável preço apresente um  $\beta$  negativo com relação à variável intenção de compra, o que indica que um aumento do preço diminui a intenção de compra).

Por último, recomenda-se que seja feita um tipo diferente de análise, o *Bootstrapping*, que permite que sejam examinadas as estimativas oferecidas pela análise PLS (CHIN, 1998). Esta análise fornece os *T-values* para cada relação entre variáveis latentes, que devem ser comparados com o valor de *T-Student* para testar o nível de significância estatística dessas relações.

Valores de  $R^2$  ou  $\beta$  abaixo dos limites propostos indicam que as relações propostas pelo pesquisador na fase de descrição do modelo não foram significativas. Assim, a modelagem em PLS permite testar relações teóricas ou lógicas esperadas pelo pesquisador e verificar se eles realmente ocorrem, assim como identificar relações opostas às esperadas pelo pesquisador, já que os coeficientes  $\beta$  podem assumir valores negativos. O quadro A3.4 apresenta um resumo da metodologia proposta por Ramírez-Correa et al. (2014) para aplicação da modelagem em equações estruturais com abordagem PLS, com todas as etapas e indicadores para verificações:

**Quadro A3.4:** Metodologia para aplicação de modelagem PLS segundo Ramírez-Correa et al. (2014).

Fase	Passo	Indicadores
<b>1 - Descrição do modelo</b>	Utilizar método RAM ou outro para montar o modelo	Não se aplica
<b>2 - Validade e confiabilidade do modelo de medição</b>	Validade interna	VIF < 10 (MYERS, 1990)
	Confiabilidade individual	$\lambda \geq 0,55$ (FALK e MILLER, 1992) ou $\lambda \geq 0,707$ (CARMINES e ZELLER, 1979)
	Confiabilidade de construto	CA e CR $\geq 0,7$ ou $0,8$ (NUNNALLY, 1978) ou CA $\geq 0,6$ (LYBERG et al., 1997)
	Validade convergente	AVE $\geq 0,5$ (FORNELL e LARCKER, 1981)
	Validade discriminante	Critério Fornell-Larcker ou <i>Cross Loadings</i>
<b>3 - Valoração do modelo estrutural</b>	Variância de variáveis endógenas	$R^2 \geq 0,1$ (FALK e MILLER, 1992)
	Coefficiente de caminho	$\beta \geq 0,2$ ou $0,3$ (CHIN, 1998)
	<i>Bootstrapping</i>	Análise <i>T-values</i> e <i>T-Student</i>

Embora os valores de  $\beta$  representem os pesos de regressão padronizados e, portanto, sejam uma medida do grau em que uma variável exógena explica uma endógena, compreender a dimensão dessa relação nem sempre é de fácil a partir deles. Para tornar essa medida mais simples e acessível, é possível calcular a porcentagem P da variância de uma variável endógena com que cada uma de suas variáveis exógenas a explicam, a partir dos coeficientes  $\beta$ . É importante lembrar que o valor de  $R^2$  representa a porcentagem da variância de uma variável endógena que é explicada por todas as suas variáveis exógenas, assim deve ser igual à soma de todas as porcentagens P.

Para transformar os coeficientes  $\beta$  em porcentagens P é necessário se verificar os valores das correlações entre variáveis latentes, que normalmente podem ser encontradas em softwares de modelagem PLS. O valor da correlação entre cada par de variáveis ligadas deve ser multiplicado pelo seu valor de  $\beta$ , de forma que o resultado representará a porcentagem P para aquela relação. Em um caso em que haja apenas uma variável exógena relacionada a uma endógena, o valor de sua correlação será exatamente igual ao seu valor de  $\beta$ , de forma que o cálculo de sua porcentagem P pode ser feito apenas fazendo  $\beta^2$ , que será exatamente igual ao próprio  $R^2$ .

## APÊNDICE A4: QUESTIONÁRIO FINAL APLICADO

### Pesquisa de opinião sobre Veículos Autônomos

Prezado participante,

Esse questionário faz parte de uma pesquisa sobre veículos autônomos para um trabalho de conclusão de curso na área de transportes. O veículo autônomo é aquele que é capaz de dirigir a si mesmo sem necessidade de um motorista humano.

Pedimos que sejam respondidas perguntas a respeito da sua percepção sobre essa tecnologia e alguns pontos importantes dentro do tema.

Esta pesquisa é destinada a usuários de automóveis no Distrito Federal.

Pesquisador: Lucas César Breder dos Santos

Contato: lucas.cesar.breder@gmail.com

Universidade de Brasília

Utiliza automóveis para se deslocar com alguma regularidade?

Sim

Não

### Percepções Gerais

Você já ouviu falar da tecnologia de veículos autônomos para uso urbano? Com que frequência?

	1	2	3	4	5	6	7	
Nunca ouvi falar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Ouço falar com frequência

Você acredita que veículos autônomos serão uma realidade acessível no Brasil dentro de que horizonte de tempo?

- Até 2021
- Até 2030
- Até 2040
- Até 2050
- Até 2060
- Depois de 2060
- Nunca serão uma realidade acessível

Veículos autônomos levarão mais tempo para se tornar uma realidade no Brasil do que em outros países

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

### **Potenciais Benefícios**

Avalie o seu nível de interesse nos seguintes potenciais benefícios do uso de veículos autônomos. A escala varia de nenhum interesse (1) a muito interesse (7):

Diminuição do risco de acidentes

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Diminuição de custos com seguro dos veículos

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Diminuição do consumo de combustível

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Diminuição de custos de manutenção do veículo (troca de pneus, revisões, etc)

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Maior conforto

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Aproveitamento do tempo de viagem para realizar outras atividades (enquanto usa o carro)

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Diminuição do stress e cansaço de dirigir

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Não precisar procurar vagas para estacionar

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Aproveitamento de espaços de estacionamento em áreas valorizadas para outras atividades

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Diminuição da distância de viagem segura entre seu veículo e os outros, diminuindo os tempos de viagem

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Uso de rotas que evitem congestionamentos, diminuindo tempos de viagem

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

### **Interesse e Níveis de Automação**

Além do veículo totalmente autônomo, existem níveis intermediários de automação, em que apenas algumas funções são automatizadas (ex: manter a velocidade, manter o veículo na faixa, etc). Em que nível de automação você teria mais interesse:

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhuma automação	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Automação total

Qual seria o seu nível de interesse em utilizar um veículo autônomo?

	1	2	3	4	5	6	7	
Nenhum interesse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muito interesse

Considerando os benefícios (como redução de custos, maior segurança e aproveitamento melhor do tempo), você estaria disposto a pagar quanto a mais em um veículo popular para que este fosse autônomo? (Exemplo: Um Chevrolet Onix de R\$ 41.078)

- Não compraria
- 5% a mais (R\$ 2053)
- 25% a mais (R\$ 10.269)
- 50% a mais (R\$ 20.539)
- 100% a mais (R\$ 41.078, ou seja, pagar o dobro do preço do carro)
- Mais do que 100% a mais

### **Segurança, regulação e privacidade**

Veículos autônomos devem permitir que o passageiro assuma o controle da direção quando desejar

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

Me sentiria mais seguro no trânsito se veículos autônomos estivessem em circulação

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente



Me sentiria confortável se as distâncias de viagem entre o seu veículo e os outros fossem diminuídas com a automação dos mesmos

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

A possibilidade de ataques virtuais em veículos autônomos (ataques que prejudiquem seu funcionamento por meio da internet) se apresenta como um sério problema de segurança

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

No seu ponto de vista, quem deveria ser responsabilizado legalmente no caso de um acidente causado por um veículo autônomo (pode marcar múltiplas opções):

- A montadora do veículo
- O proprietário do veículo
- O passageiro do veículo
- A operadora do veículo, se houver (por exemplo, se for um táxi autônomo ou um veículo autônomo pertencente à Uber)

Em casos em que o acidente é inevitável, o veículo autônomo deve:

- Priorizar a segurança dos passageiros do veículo
- Priorizar a segurança das partes mais vulneráveis, como pedestres ou ciclistas
- Priorizar a segurança do maior número de pessoas possível, independentemente de sua vulnerabilidade

Um sistema de veículos autônomos tende a ser integrado com uma rede central de informações para possibilitar o funcionamento. Nessa condição a privacidade dos deslocamentos podem ser afetados. Quem deve ter acesso a essas informações (pode marcar múltiplas opções, ou nenhuma das alternativas):

- Órgãos governamentais de planejamento
- Universidades e centros de pesquisa
- Órgãos de segurança pública
- As montadoras dos veículos
- As operadoras dos veículos (por exemplo, se for um táxi autônomo ou um veículo autônomo pertencente à Uber)
- Essas informações deveriam estar disponíveis uso comercial, da mesma maneira que informações de navegação na internet atualmente.
- Nenhuma das alternativas acima

O governo deve incentivar ativamente a tecnologia de veículos autônomos

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

### **Variáveis Sociodemográficas**

Sexo

- Masculino
- Feminino

Idade

- 17 ou menos
- 18 a 23
- 24 a 29
- 30 a 39
- 40 a 49
- 50 a 59
- 60 ou mais

### Formação acadêmica

- Ensino Fundamental Incompleto
- Ensino Fundamental Completo
- Ensino Médio Incompleto
- Ensino Médio Completo
- Ensino Superior Incompleto
- Ensino Superior Completo
- Pós-graduação Incompleta
- Pós-graduação Completa

### Renda Familiar

- Até R\$ 1.254
- De R\$ 1.255 a R\$ 2.004
- De R\$ 2.005 a R\$ 8.640
- De R\$ 8.641 a R\$ 11.261
- Acima de R\$ 11.262

**Obrigado por responder a pesquisa!**