

**PROCEDIMENTO PARA AUDITORIA DE SEGURANÇA  
VIÁRIA INCLUINDO AVALIAÇÕES EM AMBIENTES  
VIRTUAIS**

**ROGÉRIO LEMOS RIBEIRO**

**TESE DE DOUTORADO EM TRANSPORTES**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**PROCEDIMENTO PARA AUDITORIA DE SEGURANÇA**  
**VIÁRIA INCLUINDO AVALIAÇÕES EM AMBIENTES**  
**VIRTUAIS**

**ROGÉRIO LEMOS RIBEIRO**

**ORIENTADORA: MICHELLE ANDRADE, Dra.**

**TESE DE DOUTORADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.TD – 006/2019**  
**BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**PROCEDIMENTO PARA AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA  
INCLUINDO AVALIAÇÕES EM AMBIENTES VIRTUAIS**

**ROGÉRIO LEMOS RIBEIRO**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
DOUTOR EM TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**MICHELLE ANDRADE, Dr<sup>a</sup> (UnB)  
(ORIENTADORA)**

---

**MARIA ALICE PRUDÊNCIO JACQUES, PhD. (UnB)  
(EXAMINADORA)**

---

**CHRISTINE TESSELE NODARI, Dr<sup>a</sup> (UFRGS)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

---

**RITA DE CASSIA SILVA, PhD. (UnB)  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, DEZEMBRO DE 2019.**

## FICHA CATALOGRAFICA

RIBEIRO, ROGÉRIO LEMOS

Procedimento para auditoria de segurança viária incluindo avaliações em ambientes virtuais.  
Brasília, 2019.

xx, 201p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Transportes, 2019). Tese de  
Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de  
Engenharia Civil e Ambiental.

1. Ambientes virtuais  
3. Consistência de projeto  
5. Óculos de realidade virtual  
I. ENC/FT/UnB

2. Auditoria de segurança viária  
4. Lista de verificação

II. Título (série)

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, R. L. (2019). Procedimento para auditoria de segurança viária incluindo avaliações em ambientes virtuais, Publicação T.TD-006/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 201p.

### CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Rogério Lemos Ribeiro.

TÍTULO DA TESE: Procedimento para auditoria de segurança viária incluindo avaliações em ambientes virtuais

GRAU: Doutor

ANO: 2019

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

---

Rogério Lemos Ribeiro  
Av. João Naves de Ávila 2121,  
Bloco 1Y - Santa Mônica -  
38400-902 - Uberlândia (MG)  
Brasil

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original”

*Albert Einstein*

# DEDICATÓRIA

Aos meus filhos, Mateus e Mariana, pelo amor e inspiração.

Aos meus pais, Laerte Antônio Ribeiro (*in memoriam*) e Elza Ferrante Ribeiro, por me mostrarem o caminho correto e por acreditarem que somente a educação é capaz de transformar uma sociedade.

Aos meus irmãos, Rodrigo, Ronaldo, Laercio e Eliana; aos (às) meus (minhas) sobrinhos (as) e aos (às) meus (minhas) cunhados (as), Beth, Eleneide, Susanne, Sérgio, Michelle, Milena, Marcelo e Karla. Aos meus sogros, Solange e Ides Matiello, agradeço todo o incentivo e apoio.

À minha irmã Cacilda, que sempre me impulsionou a seguir em frente e a acreditar em meu potencial.

À minha esposa, Aline, pela paciência, pelo amor, pela compreensão e pela dedicação à nossa família.

## AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Michelle Andrade, pela orientação, pelos incentivos fornecidos e pela compreensão durante a execução deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Transportes – PPGT da Universidade de Brasília, pelos ensinamentos, pelo incentivo, pela atenção dispendida, em especial aos professores Maria Alice Prudêncio Jacques e Paulo César Marques da Silva, pelas valiosas contribuições dispendidas durante os seminários. Aos professores Fábio Zanchetta, Pastor Taco e Fabiana Arruda, pelo aprendizado e amizade. À Camila Lucena, secretária do PPGT, pela eficiência e atenção dispensadas.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Maria Alice Prudêncio Jacques (PPGT/UnB), Profa. Christine Tessele Nodari (Piti) (UFRGS) e Profa. Rita de Cássia Silva (FGA/UnB), que contribuíram com sugestões significativas durante a qualificação e a defesa final desta tese.

Aos meus amigos e colegas do PPGT, em especial à Giseli Ortolani (que considero membro de minha família), e também a Philippe Barbosa, Hernany Reis e Gabriel Lanzaro (irmãos acadêmicos), Hugo Alves, Nathane Eva, Alex Rojas, Adriana Modesto, Carol Resende, Elisangela Machado, Fabiano Adriano, Carlos Magno, Leonardo Berardinelli, Márcia Lopes, Marcelo Pereira Almeida, Lucinete Santos, Rosemary Janneth, Janaina, Joaquim Soutinho Neto, obrigado pela amizade incondicional de vocês. Aos meus amigos e (ex) colegas de trabalho Maisa Pires, José Eduardo Prates e Daniele Rodrigues, agradeço o apoio durante todos esses anos. Aos meus (ex) chefes e amigos, Profa. Magaly Pazzian Romão e Eng. Mário Yamada, que me apresentaram a área de segurança viária com entusiasmo e responsabilidade. Obrigado pelos ensinamentos e inspiração.

À Agência Nacional de Transportes Terrestres, à Autopista Régis Bittencourt e ao Grupo Arteris S.A., pelo apoio operacional fornecido e pela disponibilização dos dados.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Civil da UFU, Rodrigo Pires Leandro, Nassau de Nogueira Nardez e Profa. Lorayne Alves, bem como aos auditores e especialistas em segurança viária, Luiz Fernando Romano Devico, Marcelo Kenji Tajima, Manuel Broco Andrade, Arthur Gonçalves Alves, Hugo Leonardo Cunha Rodrigues, Luís Carlos dos Santos e Dra. Walquiria Yumiko Fujii, pela disponibilidade e pela contribuição para a realização deste trabalho.

À Dra. Glaucia Souza, da Universidade Federal de Uberlândia, pelas valiosas dicas em estatística e tratamento de dados, e à Profa. Ana Paula Camargo Larocca, da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), pelo apoio e incentivo. Agradeço também à Lúcia Amaral, da Universidade Federal de Uberlândia, pela revisão linguística desta tese.

Aos amigos que fiz durante a graduação e o mestrado e hoje são como irmãos, sempre me apoiando, João Olympio Araújo Neto, Antonio José Prado dos Santos, Shirley de Oliveira, Daniele Andolfato, Eliana Fernandes, Cida Cristina, Vivian Mantovani, Patrícia Garcia, Marcelo Garcia e Rafaela Barros. Agradeço também aos amigos e irmãos em Cristo, Vinicius Reis, Erika Reis, Ailton Santos, Sara Santos, Odarli Gottardo, Rubia Gottardo, Anderson Santos, Alessandra Santos, Lucas Nahás, Valdecir Antonio da Cunha, Weber Lucio, Lucimar Ferreira, Juan Fonseca, Débora Fonseca, Deisy Cunha Jardim, Heder Gustavo Jardim, Piter Wilhians, Lidiane Raquel, Pedro Carísio, Francisco Aires e Lésli Neiva. Obrigado pelas orações e apoio.

Aos alunos da Escola de Engenharia Elétrica e Computação da Universidade Federal de Goiás, Daniel Moraes dos Santos e Pedro Ramos Diehl, e à Profa. Cacilda de Jesus Ribeiro, pelo apoio no desenvolvimento do aplicativo que faz parte deste trabalho.

Agradeço também à Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, pelo apoio e pelo afastamento concedido durante o período de doutoramento.

Por fim, agradeço à Deus por todas as bênçãos que tem me proporcionado. Sou grato a Ele por me conceder sabedoria, inspiração, persistência, fé e por ter me dado muito mais do que precisava e me abençoado muito mais que merecia.



# RESUMO

## TÍTULO: PROCEDIMENTO PARA AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA INCLUINDO AVALIAÇÕES EM AMBIENTES VIRTUAIS

A Auditoria de Segurança Viária (ASV) é um procedimento que viabiliza a identificação e a correção de elementos que causem risco de acidentes em rodovias antes que eles ocorram. Em se tratando de vias existentes, a inspeção é uma importante atividade para subsidiar o desenvolvimento da ASV. Por outro lado, a tecnologia de ambientes virtuais vem sendo amplamente empregada em diversas áreas por viabilizar a imersão em um cenário virtual, onde é possível observar elementos de interesse repetidas vezes. Diante do exposto, o objetivo principal desta tese é propor, de forma pioneira na área, um procedimento de ASV para rodovias rurais em operação denominado Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H), que inclui, de modo complementar, inspeções realizadas em ambientes virtuais. Para isso, foram desenvolvidos: a) uma lista de verificação em ASV para inspeção em campo e uma lista de verificação ajustada para inspeção em ambiente virtual; b) um método que emprega o uso de novas tecnologias, como óculos de realidade virtual e aplicativo eletrônico móvel com interface facilitada para o auditor; e c) um procedimento de ASV que inclui informações sobre a consistência de projeto da rodovia na ASV-H. A fim de analisar a aplicabilidade da ASV-H, um trecho de rodovia rural brasileira em operação foi utilizado como estudo de caso. Para averiguar a hipótese de que o emprego de tecnologia de ambiente virtual é adequado para complementar as Auditorias de Segurança Viária tradicionais, dois grupos de auditores realizaram inspeções de modo distinto: um grupo, denominado A, aplicou a lista de verificação *in loco*; e o outro, denominado B, realizou inspeções para o mesmo local, sendo parte *in loco* e parte utilizando óculos de realidade virtual. Os resultados obtidos foram testados tendo por parâmetro o teste *t* e não confirmaram haver diferenças significativas entre as médias das respostas obtidas pelos grupos A e B, indicando o potencial de realização da inspeção híbrida. O emprego de novas tecnologias para apoiar as atividades de inspeção de campo da ASV constitui-se de uma ferramenta nova e complementar às auditorias tradicionais. Essa proposta, que inclui a avaliação de trechos rodoviários em ambientes virtuais, pode garantir o processo sistemático requerido, facilitar a gestão por meio da coleta de dados e possibilitar a verificação em qualquer tempo pela revisitação do ambiente virtual, promovendo a segurança das equipes de auditores pela redução do tempo de exposição nos trechos rodoviários. Assim, a proposta tem potencial por tornar a ASV mais acessível, o que pode auxiliar as concessionárias e agências reguladoras em relação às melhorias necessárias quanto à promoção da segurança nas rodovias.

**Palavras-chave:** ambientes virtuais; auditoria de segurança viária; consistência de projeto; lista de verificação; óculos de realidade virtual.

# ABSTRACT

## TITLE: ROAD SAFETY AUDIT PROCEDURE INCLUDING EVALUATIONS IN VIRTUAL ENVIRONMENTS

The Road Safety Audit (RSA) is a procedure that allows for the identification and the correction of elements that create risk of accident situations on highways, before they actually occur. As one is dealing with existing roadways, inspection becomes an important activity when it comes to providing support for the development of an RSA. On the other hand, the technology associated with virtual environments has become widely employed in a number of areas, as it allows for immersion, of an individual, into a virtual scenario, where it is possible to observe elements of interest many times over. In light of the aforementioned, the main objective of this thesis is the proposal, in a pioneering form for this area, of RSA procedures for rural highways in operation, denominated as the a Hybrid Road Safety Audit (H-RSA), which includes, in complementary fashion, inspections performed in virtual environments. In order to achieve this, the following were developed: a) a checklist in RSA for field inspections and a checklist adjusted to virtual environment inspections; b) a method that employs the use of new technologies, such as virtual reality glasses and a mobile electronic app with an ease of use interface for the auditor; and c) an ASV procedure that includes information on the design consistency of the road in the H-RSA. Aimed at the analyzing the applicability of the H-RSA, a stretch of Brazilian rural highway, in operation, was used as a case study. To establish the hypothesis that the employment of virtual environment technology is adequate in a complementary role to traditional RSA techniques, two groups of auditors performed inspections in distinct ways: one group, denominated as A, applied the verification list *in loco*; while the other, denominated as B, performed inspections for the same location, with part *in loco* and part using virtual reality glasses. The results obtained through these experiments were tested taking as a parameter the *t* test, where it was highlighted that there existed no significant difference between the responses measured from group A and B, thus indicating the potential for the performing of a hybrid inspection. The incorporation of new technologies in the support of RSA field inspection activities, can be seen as a new and complementary tool to traditional audits. This proposal, which includes the evaluation of stretches of highway in virtual environments, can guarantee the required systematic process, facilitate management by means of data collection and permit verification at any time through the revisiting of the virtual environment, thus promoting auditor team safety through the reduction of time exposed on stretches of highway. Therefore, the proposal has the potential to make RSA more accessible, which can aid highway concessionaires and regulatory agencies when it comes to the necessary improvements concerning the promoting of road safety.

**Keywords:** *checklist*; design consistency; road safety audit; virtual environments; virtual reality glasses.

# SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	3
1.2. HIPÓTESE .....	5
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.4. JUSTIFICATIVA.....	6
1.5. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	9
1.6. FASES DA PESQUISA .....	10
1.7. MOTIVAÇÃO/CONTRIBUIÇÃO DA TESE.....	13
1.8. ESTRUTURA DA TESE .....	13
CAPÍTULO 2 .....	15
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1. AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA .....	15
2.2. AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA EM AMBIENTES VIRTUAIS – ASV- AV .....	23
2.3. CONSISTÊNCIA DE PROJETOS RODOVIÁRIOS.....	30
2.4. ESTUDOS SOBRE COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS <i>VERSUS</i> SEGURANÇA VIÁRIA .....	36
2.5. ESTUDOS SOBRE PERCEPÇÃO E COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS EM AMBIENTES VIRTUAIS: SIMULADORES DE DIREÇÃO.....	39
2.6. ESTUDOS UTILIZANDO AMBIENTES VIRTUAIS: ÓCULOS DE REALIDADE VIRTUAL .....	42
2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 2 .....	46
CAPÍTULO 3 .....	49
3. MODELO PARA AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA INCLUINDO AVALIAÇÕES EM AMBIENTES VIRTUAIS (ASV-HÍBRIDA).....	49
3.1. MÉTODO PROPOSTO .....	50
3.2. DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS 64	
3.2.1 <i>DESENVOLVIMENTO DE LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA INSPEÇÕES DE SEGURANÇA EM AMBIENTE VIRTUAL.....</i>	64
3.2.2 <i>DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO CHECKOPAPP.....</i>	66
3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 3 .....	71
CAPÍTULO 4 .....	72
4. APLICAÇÃO DA ASV-H: UM ESTUDO DE CASO EM TRECHO RURAL DE RODOVIA DUPLICADA .....	72
4.1. ETAPA 1: ESCOLHA DA EQUIPE.....	74

4.2.	ETAPA 2: FASES QUE ANTECEDEM AS INPEÇÕES .....	74
4.2.1.	<i>NIVELAMENTO DA EQUIPE</i> .....	74
4.2.2.	<i>REUNIÃO INICIAL ENTRE A EQUIPE DE AUDITORIA E O DESTINATÁRIO DO RELATÓRIO DE AUDITORIA</i> .....	76
4.2.3.	<i>AVALIAÇÃO DOS DOCUMENTOS, DOS PROJETOS E OUTRAS INFORMAÇÕES BÁSICAS</i> .....	76
4.3.	ETAPA 3: GERAÇÃO DE CENÁRIOS .....	82
4.3.1.	<i>EQUIPAMENTO E FILMAGEM</i> .....	82
4.4.	ETAPA 4: INSPEÇÃO DO LOCAL .....	86
4.4.1.	<i>INSPEÇÕES VIRTUAIS E “IN LOCO”</i> .....	86
4.4.2.	<i>EXPERIMENTO</i> .....	87
4.5.	ETAPA 5: DEFINIÇÃO DOS ÍNDICES DE AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA – IVASV .....	90
4.6.	ETAPA 6: DEFINIÇÃO DO PERFIL DE VELOCIDADE DOS MOTORISTAS NO TRECHO DA RODOVIA .....	91
4.6.1.	<i>PERFIL DA VELOCIDADE PRATICADA PELOS CONDUTORES – MODELOS EXISTENTES NA VIA</i> .....	92
4.6.2.	<i>PERFIL DA VELOCIDADE PRATICADA PELOS CONDUTORES – SIMULADORES DE DIREÇÃO</i> .....	93
4.7.	ETAPA 7: CONSISTÊNCIA DO PROJETO .....	95
4.8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 4 .....	98
CAPÍTULO 5 .....		99
5.	RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS .....	99
5.1.	RESULTADOS PARA INSPEÇÕES EM AMBIENTES VIRTUAIS E <i>IN LOCO</i> .....	99
5.1.1.	<i>ANÁLISE GRÁFICA E POR MEDIDAS DE DISPERSÃO</i> .....	101
5.1.2.	<i>ANÁLISE ESTATÍSTICA</i> .....	105
5.1.3.	<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE INSPEÇÕES HÍBRIDAS</i> .....	112
5.2.	AVALIAÇÃO DO APLICATIVO <i>CHECKOPAPP</i> .....	112
5.2.1.	<i>CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O APLICATIVO CHECKOPAPP</i> .....	117
5.3.	ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA DO PROJETO ATRAVÉS DO CRITÉRIO DE SEGURANÇA II .....	117
5.4.	ETAPAS FINAIS DA ASV-H .....	121
5.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 5 .....	121
CAPÍTULO 6 .....		123
6.	CONCLUSÕES .....	123
6.1.	QUANTO À AVALIAÇÃO DA ASV-H E AO TESTE DA HIPÓTESE DA PESQUISA .....	123

6.2.	QUANTO AO TEMPO DE REALIZAÇÃO DE ASV-H E À SEGURANÇA DOS AUDITORES .....	125
6.3.	QUANTO AO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS .....	125
6.4.	QUANTO À ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA DA RODOVIA 126	
6.5.	QUANTO AOS OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÃO DA TESE.....	127
6.6.	LIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	128
6.7.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	128
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	130
	APÊNDICE A: AVALIAÇÃO TÉCNICA DOS ITENS DE VERIFICAÇÃO .....	139
	APÊNDICE B: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL).....	160
	APÊNDICE C: EQUIPAMENTOS .....	165
	C.1 SIMULADORES DE DIREÇÃO REALÍSTICO.....	165
	C.2 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS SIMULADORES DE DIREÇÃO.....	167
	APÊNDICE D: ITENS DE VERIFICAÇÃO ( <i>CHECKLIST</i> ) EM AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA – VERSÃO FINAL.....	170
	APÊNDICE E: TESTES DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS DEMAIS ITENS DE VERIFICAÇÃO .....	193

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Modelos para velocidade de operação para rodovias de pista dupla.....	32
Tabela 2.2: Critérios de segurança do método proposto por Lamm <i>et al.</i> ....	35
Tabela 3.1: Resumo da lista de verificação proposta .....	65
Tabela 4.1: Volume diário médio.....	78
Tabela 4.2: Característica geométrica do trecho.....	79
Tabela 4.3: Definições para a filmagem do trecho .....	85
Tabela 4.4: Velocidade de operação obtida <i>in loco</i> .....	92
Tabela 4.5: Comparação das velocidades de operação e <i>in loco</i> .....	93
Tabela 4.6: Taxa de mudança de curvatura e rampa .....	95
Tabela 4.7: Velocidade operacional estimada para todos os segmentos do trecho analisado.....	97
Tabela 5.1: Quantidade de itens de verificação avaliados .....	100
Tabela 5.2: Coeficiente de variação para os grupos do <i>checklist</i> .....	103
Tabela 5.3: Cálculo do IGASV e teste de significância para os grupos da lista de verificação.....	106
Tabela 5.4: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 2 (faixas auxiliares).....	107
Tabela 5.5: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 5 (sinalização horizontal e delineamento).....	109
Tabela 5.6: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 9 (pavimento) .....	110
Tabela 5.7: Resumo de itens significativos para todos os grupos .....	111

Tabela 5.8: Respostas às questões sobre a utilização do aplicativo <i>CheckOpApp</i> .....	114
Tabela 5.9: Respostas sobre a utilização do aplicativo <i>CheckOpApp</i> .....	114
Tabela 5.10: Classificação conforme o critério de segurança II proposto por Lamm.....	118
Tabela B.1: Aplicação da metodologia de revisão sistemática da literatura.....	161
Tabela B.2: Palavras-chave utilizadas na busca.....	162
Tabela B.3: Resultado da busca nas principais fontes pesquisadas.....	163
Tabela B.4: Quantidade de publicações.....	164
Tabela E.1: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 1.....	194
Tabela E.2: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 4.....	196
Tabela E.3: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 6.....	197
Tabela E.4: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 7.....	198
Tabela E.5: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 8.....	199
Tabela E.6: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 10.....	200
Tabela E.7: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 11.....	200
Tabela E.8: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do grupo 12.....	201

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema de gerenciamento da segurança viária.....	01
Figura 1.2: Esquema metodológico da tese.....	12
Figura 2.1: Estrutura conceitual para ASV-AV.....	26
Figura 2.2: Óculos de realidade virtual.....	45
Figura 3.1: Câmera Samsung - Gear 360.....	52
Figura 3.2: Cenário virtual de curva à esquerda.....	54
Figura 3.3: Gradação das escalas dos itens de verificação .....	55
Figura 3.4: Sistema de coleta de dados pelo método do veículo instrumentado.....	58
Figura 3.5: Exemplo de ilustração para análise de consistência de projeto.....	60
Figura 3.6: Modelo conceitual para ASV-H para cada unidade auditada.....	63
Figura 3.7: Tela de preenchimento do aplicativo <i>CheckOpApp</i> .....	68
Figura 3.8: Tela de preenchimento dos grupos do <i>checklist</i> no aplicativo <i>CheckOpApp</i> .....	69
Figura 3.9: Funcionalidades do aplicativo <i>CheckOpApp</i> .....	70
Figura 3.10: Telas finais do aplicativo <i>CheckOpApp</i> .....	71
Figura 4.1: Fluxograma do método do estudo de caso para as Etapas 1 a 5.....	73
Figura 4.2: Nivelamento da equipe.....	75
Figura 4.3: Reunião inicial entre auditores e equipe da concessionária da rodovia.....	76
Figura 4.4: Representação geométrica do trecho de estudo.....	77
Figura 4.5: Tipos de acidentes registrados no período de 2008 a 2015 .....	80



Figura 4.6: Exemplo de projeto “ <i>as built</i> ” de sinalização horizontal, vertical e dispositivos de segurança do trecho.....	81
Figura 4.7: Equipamentos utilizados neste trabalho .....	82
Figura 4.8: Disposição da câmera para filmagem do trecho.....	84
Figura 4.9: Velocidade de percurso - noite.....	86
Figura 4.10: Aplicativo para <i>Smartphone Speedometer 55 Pro Kit GPS</i> .....	86
Figura 4.11: Aplicação do <i>checklist</i> na inspeção em campo.....	88
Figura 4.12: Aplicação do <i>checklist</i> em ambiente virtual e <i>in loco</i> .....	90
Figura 4.13: Comparação das curvas das velocidades no km 509+400 .....	94
Figura 4.14: Parâmetros da curva para o cálculo da clotoide.....	96
Figura 5.1: <i>Boxplot</i> comparativo do conjunto de itens inspecionados em campo (à esquerda) e em inspeção híbrida (direita).....	101
Figura 5.2: Diagrama de barras da frequência de observações por valor da escala.....	104
Figura 5.3: Imagem obtida pela câmera gear 360° referente à sinalização horizontal e aos dispositivos de segurança.....	105
Figura 5.4: Imagem obtida pela câmera gear 360° referente à sinalização vertical.....	105
Figura 5.5: Teste do aplicativo móvel <i>CheckOpApp</i> em inspeção <i>in loco</i> .....	113
Figura 5.6: Avaliação sobre a utilização do aplicativo <i>CheckOpApp</i> .....	115
Figura 5.7: Diagrama esquemático para a análise da consistência de projeto (C1 ao C13).....	119
Figura 5.8: Diagrama esquemático para a análise da consistência de projeto (T13 ao T20).....	120
Figura C1: Simulador de direção realístico.....	166
Figura D1: Gradação das escalas para preenchimento do checklist.....	170
Figura E1: Análise do nível de significância para cada uma das respostas.....	193

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Diferença entre uma revisão de segurança viária tradicional e uma ASV.....	17
Quadro 2.2: Diferenças fundamentais entre as metodologias para a prática tradicional de manutenção da via e a ASV.....	18
Quadro 2.3: Medidas de segurança e variáveis .....	27
Quadro 2.4: Resumo dos principais elementos estudados .....	46
Quadro A.1: <i>Checklist</i> para alinhamento rodoviário e Seção transversal.....	141
Quadro A.2: <i>Checklist</i> para faixas auxiliares.....	143
Quadro A.3: <i>Checklist</i> para interseções.....	144
Quadro A.4: <i>Checklist</i> para sinalização e iluminação .....	145
Quadro A.5: <i>Checklist</i> para sinalização horizontal e delineamento .....	147
Quadro A.6: <i>Checklist</i> para dispositivos de contenção e zonas livres de obstáculos .....	149
Quadro A.7: <i>Checklist</i> para sinalização semafórica .....	151
Quadro A.8: <i>Checklist</i> para pedestres e ciclistas .....	152
Quadro A.9: <i>Checklist</i> para pontes e bueiros .....	153
Quadro A.10: <i>Checklist</i> para pavimentos.....	154
Quadro A.11: <i>Checklist</i> para estacionamento e veículos pesados .....	155
Quadro A.12: <i>Checklist</i> para drenagem superficial .....	156
Quadro A.13: <i>Checklist</i> para diversos.....	157
Quadro C.1: Características do sistema de processamento do simulador de direção.....	167
Quadro C.2: Principais vantagens e limitações dos simuladores de direção.....	168
Quadro D.1: <i>Checklist</i> para alinhamento rodoviário e Seção transversal.....	171

Quadro D.2: <i>Checklist</i> para faixas auxiliares.....	174
Quadro D.3: <i>Checklist</i> para interseções.....	174
Quadro D.4: <i>Checklist</i> para Iluminação e Sinalização Vertical/Semafórica.....	176
Quadro D.5: <i>Checklist</i> para sinalização horizontal e delineamento.....	180
Quadro D.6: <i>Checklist</i> para dispositivos de contenção e zonas livres de obstáculos.....	182
Quadro D.7: <i>Checklist</i> para pedestres e ciclistas.....	184
Quadro D.8: <i>Checklist</i> para pontes e bueiros .....	186
Quadro D.9: <i>Checklist</i> para pavimentos.....	187
Quadro D.10: <i>Checklist</i> para estacionamento e veículos pesados.....	188
Quadro D.11: <i>Checklist</i> para drenagem superficial.....	189
Quadro D.12: <i>Checklist</i> para diversos.....	190

# LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ASV	Auditoria de Segurança Viária
ASV-AV	Auditoria de Segurança Viária em Ambiente Virtual
ASV-H	Auditoria de Segurança Viária Híbrida
AUSTROADS	<i>Australasian Road Transport and Traffic Agencies</i>
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
ORV	Óculos de Realidade Virtual
RV	Realidade Virtual
RA	Realidade Aumentada
2-D	Bidimensional
3-D	Tridimensional

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUÇÃO

Um sistema rodoviário mais seguro depende, basicamente, da coordenação de três elementos-chave: usuários com comportamento seguro, rodovias seguras e veículos mais seguros (AUSTROADS, 2009; AASHTO, 2010). A implantação de infraestrutura segura é uma alternativa que geralmente traz respostas num intervalo de tempo relativamente curto, e mais facilmente mensuráveis, quando comparadas a ações de educação, por exemplo. Isso se dá porque quando uma rodovia é projetada considerando uma análise crítica de segurança viária, ela tem potencial para influenciar positivamente o comportamento dos usuários e, também, para absorver erros a que estão suscetíveis os condutores em virtude de sua natureza humana, reduzindo a gravidade dos acidentes (CHARLTON *et al.*, 2002).

Deste modo, é importante atentar para a estrutura do gerenciamento da segurança viária, conforme apresentado na Figura 1.1. Como é possível observar, esse sistema prevê que a preocupação com a segurança viária em relação à infraestrutura deva estar presente de maneira preventiva, ou seja, antes que os acidentes efetivamente ocorram. Isso significa pensar na segurança desde a fase de concepção dos projetos viários. Assim sendo, as intervenções para a melhoria das condições de segurança de uma via seriam menos onerosas se fossem realizadas nos estágios iniciais de elaboração dos projetos viários (NODARI, 2003). Além de preservar vidas, as medidas que antecedem a acidentalidade são oportunas para evitar desperdícios dos escassos recursos disponíveis, como no caso do Brasil.

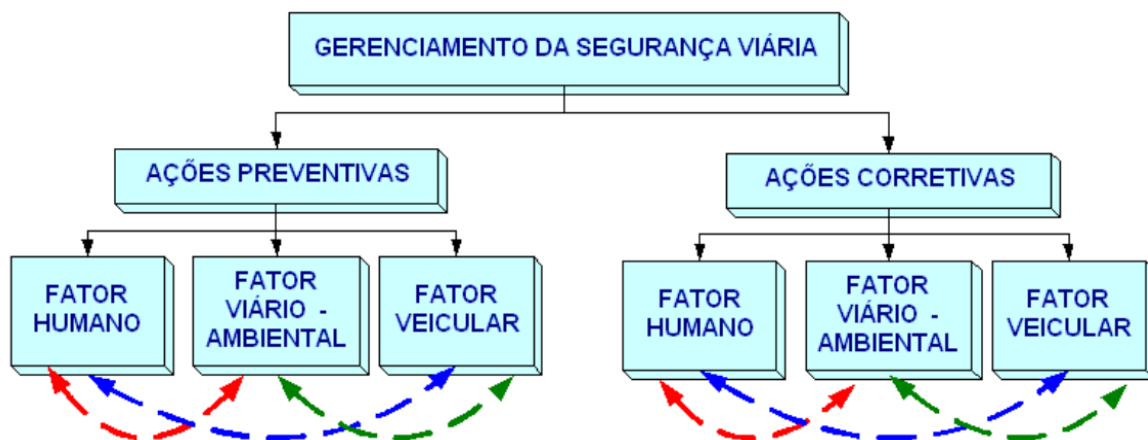


Figura 1.1: Esquema de gerenciamento da segurança viária

Fonte: Nodari (2003)

Projetos rodoviários submetidos às técnicas de Auditoria de Segurança Viária – ASV fazem com que as chances de mitigação de futuros acidentes sejam maiores, reduzindo assim os custos com tentativas malsucedidas. Nesse contexto, torna-se oportuna a criação de procedimentos sistemáticos para a avaliação da segurança viária de maneira proativa, seja no âmbito do planejamento estratégico ou no de operação do tráfego.

A ASV é um procedimento que viabiliza a correção de erros ou de elementos que causem risco de acidentes em vias existentes ou em projetos rodoviários antes que eles ocorram. Ela é definida como um exame formal de desempenho de segurança viária para uma nova rodovia ou para uma rodovia existente. Esse exame deve ser realizado por uma equipe independente, qualificada e multidisciplinar, através de um processo formal e usando um procedimento definido, resultando em um relatório que informa sobre o potencial de acidentes e o desempenho de segurança viária para o projeto ou trecho rodoviário auditado (AUSTROADS, 2009; DOT, 2014).

Os resultados de um processo de ASV são normalmente desejáveis o mais rápido possível. O tempo consumido no processo pode resultar em duas importantes consequências. Quando a ASV é realizada em uma via existente, todos os dias em que um resultado não é produzido pelas equipes de auditoria de segurança viária implicam exposições dos usuários da rodovia a condições potencialmente inseguras. Por outro lado, quando a ASV é realizada em um projeto proposto, todos os dias em que as decisões não são tomadas em termos de "aprovar" o projeto do ponto de vista da segurança significam tempo e dinheiro desperdiçados em aspectos do projeto que podem enfrentar alterações significativas. Explorar procedimentos que agilizem a coleta de informações e facilitem a expressão das observações feitas pelos auditores são lacunas a serem preenchidas dentro da literatura especializada.

Dentre as atividades que compõem o processo de ASV para vias existentes, as inspeções de campo são necessárias e, quando a rodovia já está aberta ao tráfego, pode ser uma atividade onerosa, considerando-se os ajustes operacionais e/ou a designação de equipes de suporte necessárias à realização das inspeções de modo a proporcionar segurança tanto para os usuários da via quanto para os auditores. Nesse cenário, é relevante explorar procedimentos e ferramentas pautados em novas tecnologias para apoiar o processo de inspeções rodoviárias.

Os ambientes virtuais possuem a característica de representar o mundo real, permitindo que as pessoas experimentem a imersão num dado cenário várias vezes. O uso dessas tecnologias, que já são exploradas para entretenimento, vem avançando com o intuito de reduzir custos e também de promover segurança em diversas áreas, como em métodos terapêuticos na saúde, em ferramentas de treinamento de pessoal para a indústria, ou mesmo na experimentação de produtos para o comércio (CARDOSO e LAMOUNIER JUNIOR, 2004; MOURA, 2010). A realidade virtual é uma interface avançada que permite ao usuário a movimentação (navegação) e interação em um ambiente tridimensional, podendo fazer uso de dispositivos multissensoriais para atuação ou *feedback* (TORI *et al.*, 2006). A realidade aumentada, por sua vez, se refere à possibilidade de adicionar, em geral com auxílio de um visor, imagens digitais a objetos reais presentes no campo perceptivo. Esse visor pode ser encontrado em dispositivos que cabem nas mãos do usuário, por exemplo, um *smartphone*, ou em dispositivos colocados na cabeça dele, como um *smartglass* (IDE, 2014). Tendo em vista os conceitos apresentados, esta tese limitou-se às tecnologias que abordam o uso de realidade virtual (RV) e ao tipo de interação do usuário através da navegação, com o apoio de equipamentos como o óculos de imersão, em que o indivíduo, ao navegar pelo ambiente virtual, pode realizar ações como viajar (explorar) pelo cenário (KIRNER e SISCOOTTO, 2007).

Diante do exposto, e considerando as características de risco e custo associadas à atividade de inspeção que compõe a ASV, torna-se oportuna a investigação sobre procedimentos que viabilizem a realização dessa atividade apoiada por tecnologias em ambientes virtuais. Para isso, propõe-se avaliar o potencial dessas tecnologias para o emprego pretendido, identificar os elementos passíveis de avaliação em ambiente virtual e verificar a viabilidade técnica do seu emprego para, em sequência, desenvolver os procedimentos específicos para a realização de inspeções nesses moldes e complementar o procedimento de ASV tradicional.

## 1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A literatura mostra que o uso de técnicas de ASV com análises em ambientes virtuais ainda é incipiente, tanto em nível nacional quanto internacional. Ademais, modelos que consideram a utilização de tais tecnologias, como os estudos de Santiago-Chaparro *et al.* (2011a, 2011b, 2011c), propõem-na como substituição ao procedimento tradicional. Nota-se, porém, que

alguns elementos verificados em uma auditoria com inspeções *in loco* não podem ser substituídos totalmente por verificações realizadas em ambientes virtuais. A exemplo, cita-se a inspeção de pavimentos. Outro fato a observar é que equipamentos que reproduzem os ambientes virtuais, como os simuladores de direção realístico, possuem custo de aquisição e manutenção elevados, o que pode inviabilizar o processo de auditoria realizado nesses moldes. Entretanto, observa-se que, para realizar inspeções em ambientes virtuais, os simuladores de direção sofisticados podem ser substituídos por equipamentos mais simples e que reproduzem ambientes virtuais com qualidade igual ou superior a eles.

Por outro lado, em se tratando de rodovias construídas, o processo de auditoria realizado exclusivamente *in loco* torna-se complexo devido a dificuldades inerentes a uma via em operação, tais como a presença de tráfego intenso, condições meteorológicas, eventuais condições geométricas desfavoráveis, dentre outros aspectos que podem influenciar a segurança e a integridade física dos auditores, o que reafirma o apontado no Capítulo 4. Esses aspectos contribuem para que o processo de auditoria seja demorado e oneroso, dificultando a sua realização em escala apropriada.

Perante o exposto, são apresentadas as seguintes questões orientadoras desta pesquisa:

- a) como os auditores poderiam fazer uso de ambientes virtuais para auxiliar no processo de ASV?
- b) é possível empregar novas tecnologias para agregar informações adicionais, tais como aspectos comportamentais dos usuários, que não são facilmente obtidos apenas com inspeções de campo, para trazer mais subsídios de análise aos auditores?
- c) é possível aumentar a comodidade do processo de ASV, uma vez que novas tecnologias virtuais de visualização do cenário estejam à disposição de especialistas para consulta *in door*, reduzindo assim o tempo e os custos dos auditores?



## 1.2. HIPÓTESE

Com o objetivo de construir um procedimento para a ASV incluindo verificações realizadas em ambientes virtuais, a hipótese desta tese é:

- O emprego de tecnologia de ambiente virtual é adequado para complementar as Auditorias de Segurança Viária (ASV) tradicionais, resultando em uma ASV híbrida, sem prejuízo dos resultados e com ganho de eficiência e segurança quando comparada ao procedimento de ASV tradicional.

## 1.3. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é propor, de forma pioneira no Brasil, um procedimento de Auditoria de Segurança Viária (ASV) para rodovias rurais em operação denominado Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H), que inclui, de modo complementar, verificações realizadas em ambientes virtuais.

Para atingir o objetivo geral da tese, os seguintes objetivos específicos a serem alcançados são:

- a) desenvolver um método que empregue o uso de novas tecnologias, como os óculos de imersão (denominado óculos de realidade virtual – ORV) e o aplicativo eletrônico (denominado *CheckOpApp*) para o apoio de uma Auditoria de Segurança Viária (ASV) tradicional;
- b) definir o *checklist* em ASV para inspeção em campo e o *checklist* para inspeção em ambiente virtual a serem adotados na Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H);
- c) definir um procedimento que inclua na ASV-H informações sobre a consistência geométrica da rodovia.

Cabe ressaltar que a ASV-H é proposta para ser desenvolvida sem infringir o conceito já consolidado de ASV. Destaca-se, assim, que o emprego de Realidade Virtual (RV) é utilizado para auxiliar especialistas em segurança viária em uma abordagem mais eficiente e auxiliar às Auditorias de Segurança Viária tradicionais, diminuindo (e não substituindo) a necessidade de visitar a rodovia várias vezes no processo de auditoria (através de óculos de imersão). Concomitantemente, o simulador de condução é usado para adicionar um componente de comportamento humano (velocidade praticada pelos condutores) ao processo de ASV, possibilitando a complementação de ambas as ferramentas (ORV e simulador de direção).

#### 1.4. JUSTIFICATIVA

A motivação para a elaboração e o desenvolvimento deste trabalho se apoia na necessidade de aperfeiçoamento tecnológico dos estudos relacionados com a segurança em rodovias, de modo a agilizar e aumentar a segurança dos auditores (que ficariam expostos ao tráfego por menos tempo) e, conseqüentemente, a diminuir o tempo e os custos das auditorias. Também se faz necessário aperfeiçoar o processo de auditoria, pois a cada ano morrem, somente no Brasil, aproximadamente 40 mil pessoas decorrentes de acidentes de trânsito, número que situa as rodovias brasileiras entre as mais perigosas do mundo (WHO, 2018). Embora a ASV seja um processo relativamente simples, com passos bem definidos, quando colocado em prática apresenta algumas dificuldades. Desenvolver e testar versões mais simplificadas do processo de auditoria é importante, para que se tenha uma maior aceitação da sua prática nos órgãos operadores da via, além de listas de verificação adaptadas à realidade brasileira e às normas vigentes (SCHOPF, 2006).

Com os avanços tecnológicos, que incluem a realidade virtual, e tendo em vista o aprimoramento de metodologias consolidadas, abre-se uma oportunidade para a investigação de procedimentos de ASV associados a ambientes virtuais. Dentre os ganhos possíveis com o uso combinado dessas tecnologias, destaca-se a oportunidade de revisar, por meio de visita virtual, algum aspecto não observado *in loco* ou que tenha gerado dúvida na equipe, sem a necessidade de deslocamentos adicionais, bem como da exposição desnecessária dos técnicos ao ambiente rodoviário, além da possibilidade de gerar cenários virtuais alternativos para a avaliação de soluções, e, assim, enriquecer as informações da equipe de auditoria.

Como mencionado na formulação do problema desta pesquisa, a literatura mostra que o uso de técnicas de ASV com análises em ambientes virtuais (aqui denominadas ASV-AV) ainda é incipiente, tanto em nível nacional quanto internacional. Os estudos de Santiago-Chaparro *et al.* (2011a, 2011b, 2011c) propõem o uso de ambientes virtuais em substituição às inspeções realizadas em campo. No entanto, é importante atentar que esse procedimento pode descaracterizar o que é pressuposto pelo processo de ASV.

Outro fato a destacar é que os modelos existentes de ASV-AV são restritos ao uso de simuladores de direção realístico 3-D, conforme abordado na revisão da literatura e apresentado no Capítulo 2. Porém, observa-se que, para inspeções virtuais, os auditores devem concentrar-se somente nas inspeções dos elementos da via, não havendo necessidade da tarefa de condução. Portanto, abre-se uma oportunidade para investigar a potencialidade do uso de equipamentos de realidade virtual mais simples, práticos e acessíveis nas Auditorias de Segurança Viária. Ressalta-se ainda que, nas análises tradicionais de ASV, embora vários elementos de projetos sejam avaliados, a análise combinada dos alinhamentos horizontal e vertical que afetam diretamente a consistência geométrica do projeto não é avaliada, ou seja, a avaliação explícita da consistência do projeto não faz parte do método tradicional de ASV.

Para efeito final, nas proposições de medidas mitigadoras, a utilização e a interpretação de resultados de variação de velocidade obtidos por meio de experiência em ambiente virtual podem auxiliar os técnicos na tomada de decisões eventualmente conflitantes. Diante do exposto, observa-se a relevância da proposição de um procedimento que procure explorar a ASV em ambientes virtuais de modo a complementar o processo tradicional, e que prevê inspeções *in loco*. As inspeções virtuais podem ser aliadas na visualização de cenários 3-D podendo ser utilizadas como ferramenta para concepção e complementação de um procedimento de Auditoria de Segurança Viária em Ambiente Virtual que vise complementar as Auditorias de Segurança Viária tradicionais. Especificamente, as Auditorias de Segurança Viária tradicionais não capturam a dinâmica de condução, juntamente com uma avaliação da compreensão e do comportamento do motorista, componentes críticos que devem ser avaliados quando existe um problema de segurança. Os simuladores de condução podem fornecer a ferramenta necessária para adicionar os componentes de fatores dinâmicos e humanos (como a velocidade dos motoristas, por exemplo) ao processo de ASV, com a vantagem do controle das diversas variáveis do estudo, sem risco aos usuários (LUCAS *et al.*, 2013).

Os modelos de simulação são uma representação abstrata da área de estudo do mundo real. O uso de modelagem dinâmica é complexo e carece de dados relacionados ao processo de calibração e validação, bem como da representação do comportamento do tráfego em vários níveis conceituais. A simulação é uma área que está em desenvolvimento rápido e constantemente abre novas portas para planejadores de tráfego como uma ferramenta aceita e versátil, que pode ser usada para analisar e estimar vários efeitos de desempenho e segurança em relação ao sistema de trânsito. Ela tem a vantagem de levar em consideração a natureza intrínseca dinâmica e complexa do sistema de trânsito e, assim, representa um complemento útil aos métodos de análise existentes e mais tradicionais (ARCHER, 2004).

Vale ressaltar que os motoristas são afetados por diferentes estímulos ao dirigir um carro real, porém os estímulos visuais são os mais importantes, visto que a visão proporciona ao motorista capturar cerca de 80 % das informações produzidas pelo ambiente envolvente (KEMENY, 1999; LOZIA, 2008; LOZIA, 2011). Em geral, o olho humano age como uma câmera que grava imagens passivas, enquanto a percepção humana envolve processamento e análise de informações (OLSON, 1996; HASSAN e EASA, 2003).

Com o desenvolvimento e o aprimoramento de tecnologias de Realidade Virtual (RV), os óculos de realidade virtual (ORV) estão sendo aplicados em diversas áreas onde há a necessidade de interação entre o mundo real e o entendimento da percepção humana, por exemplo, nas áreas da educação (os chamados sistema *E-learning*) e em diversas áreas da saúde. As ferramentas de visualização tridimensionais (3-D) estão sendo usadas como instrumentos de tomada de decisão mais rápidos e com menos erros (LV *et al.*, 2017). Por intermédio dos vídeos gravados em 360° e combinando o uso de dispositivos móveis com kits de óculos de realidade virtual, torna-se possível proporcionar aos auditores uma experiência bastante imersiva. O utilizador poderá usar movimentos naturais (movimentos de cabeça) para visualizar as zonas do conteúdo que deseja, não necessitando de mais nada além da ação natural do corpo para olhar na direção que deseja visionar (PINTO, 2016). Porém, essa tecnologia está subaproveitada na área da segurança viária, carecendo de estudos que contemplem a utilização de ambientes virtuais para descrever a percepção dos técnicos quanto aos objetos tridimensionais, no caso, os elementos da via.

## 1.5. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Os equipamentos que simulam a realidade virtual têm como vantagens: poder realizar experimentos em ambiente seguro, a fim de entender o comportamento dos motoristas sem oferecer risco à integridade física de voluntários e pesquisadores; a redução do tempo e o aumento da amplitude dos experimentos; o controle experimental; e a redução nos custos em comparação com os experimentos realizados em campo (SANTOS *et al.*, 2017). No entanto, segundo Cheng e Washington (2005), o sistema de transporte, em geral, não funciona de forma homogênea em relação à segurança. A heterogeneidade entre população de motoristas, características das rodovias, condições meteorológicas, condições de tráfego e considerações de projeto levam à heterogeneidade nas frequências e nas taxas de acidentes.

A insegurança do trânsito é considerada como resultado de uma interação inadequada entre diferentes grupos de usuários da rodovia, seus veículos e o ambiente de trânsito. Entretanto as interações entre motoristas de veículos e usuários vulneráveis da via não fazem parte dos estudos de simulação devido à complexidade adicionada e às várias limitações associadas ao comportamento de pedestres e ciclistas. Esses estudos, portanto, têm aplicação limitada em ambientes viários com forte presença de usuários não motorizados, como é o caso de vias urbanas. Enquanto as taxas de acidentes são geralmente mais elevadas nas zonas urbanas (em virtude do maior número de cruzamentos e de maiores volumes de tráfego), nas rodovias rurais tendem a ser mais graves, em virtude das maiores velocidades e da diversidade de condições das rodovias (OXLEY e JOHNSTON, 2004). Porém não fazem parte das análises para a construção do procedimento proposto:

- a) o ambiente de trânsito urbano;
- b) as variadas condições meteorológicas;
- c) as interações entre motoristas de veículos e usuários vulneráveis da via, como pedestres e ciclistas;
- d) a direção de condutores motociclistas; e

- e) as causas de acidentes indiretas (como a influência do álcool e outras drogas, ou de sono e fadiga, estresse, ansiedade, doenças crônicas ou deficiência física).

## 1.6. FASES DA PESQUISA

Com o objetivo de propor um procedimento de ASV para rodovias rurais em operação que inclui, de modo complementar, avaliações em ambientes virtuais, o desenvolvimento desta tese se deu em duas fases, descritas a seguir.

A primeira fase, ou fase preliminar, consistiu na revisão bibliográfica sobre Auditoria de Segurança Viária e sobre os principais tipos de listas de verificação utilizadas atualmente (tanto na literatura internacional quanto na nacional). Com base na revisão da literatura, realizou-se uma investigação sobre consistência geométrica e sobre como as avaliações em ambientes virtuais poderiam contribuir de maneira substancial e complementar com o conhecimento em seu respectivo contexto.

Tendo por base essa fase inicial, a segunda fase, que caracteriza o método da pesquisa propriamente dito, foi realizada de acordo com as seguintes Etapas:

- a) proposta do modelo conceitual em Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H) incluindo avaliações em ambientes virtuais. Para isso, foi desenvolvido o *checklist* para inspeção *in loco* e para inspeção virtual, em que os itens de verificação passaram por avaliação técnica cujo objetivo foi avaliar a consistência e a coerência do *checklist*;
- b) definição do *checklist* para a ASV-H incluindo avaliações em campo e em ambiente virtual.
- c) desenvolvimento de um aplicativo eletrônico como instrumento para a coleta de dados via *checklist* da ASV-H;
- d) definição do trecho para estudo de caso, com o objetivo de testar a hipótese levantada;

- e) levantamento das características geométricas e operacionais da rodovia rural utilizada no estudo de caso (velocidade da via, característica do tráfego, volume e porcentagem de veículos pesados na composição do tráfego, características físicas da via e do seu entorno etc.), do perfil de velocidade praticado pelos condutores, da consistência geométrica da via e dos dados sobre acidentes no trecho. O perfil de velocidade foi obtido através da velocidade operacional medida *in loco* e no simulador de direção. Tais dados foram fornecidos pela concessionária que administra o trecho e pela revisão da literatura envolvendo pesquisas no trecho de estudo;
- f) filmagem de um trecho de rodovia (para posteriores inspeções virtuais) em diferentes velocidades e em dois períodos: diurno e noturno. Para isso, foi utilizada uma câmera que realiza filmagem em 360°;
- g) aplicação do modelo conceitual proposto de ASV-H através do método de pesquisa de estudo de caso;
- h) realização de análise comparativa dos resultados obtidos pela ASV com inspeções no modelo tradicional (*in loco*) e com inspeções híbridas (*in loco* e virtual);
- i) realização do teste da hipótese através do teste *t*, em que se analisaram os resultados obtidos pela ASV com inspeções no modelo tradicional (inspeções *in loco*) e pela ASV-H (inspeções *in loco* e virtual);
- j) análise final dos resultados obtidos, com vistas a obter subsídios para a verificação da consistência do modelo proposto.

Para representar a sequência do processo, a Figura 1.2 ilustra o esquema metodológico da tese.

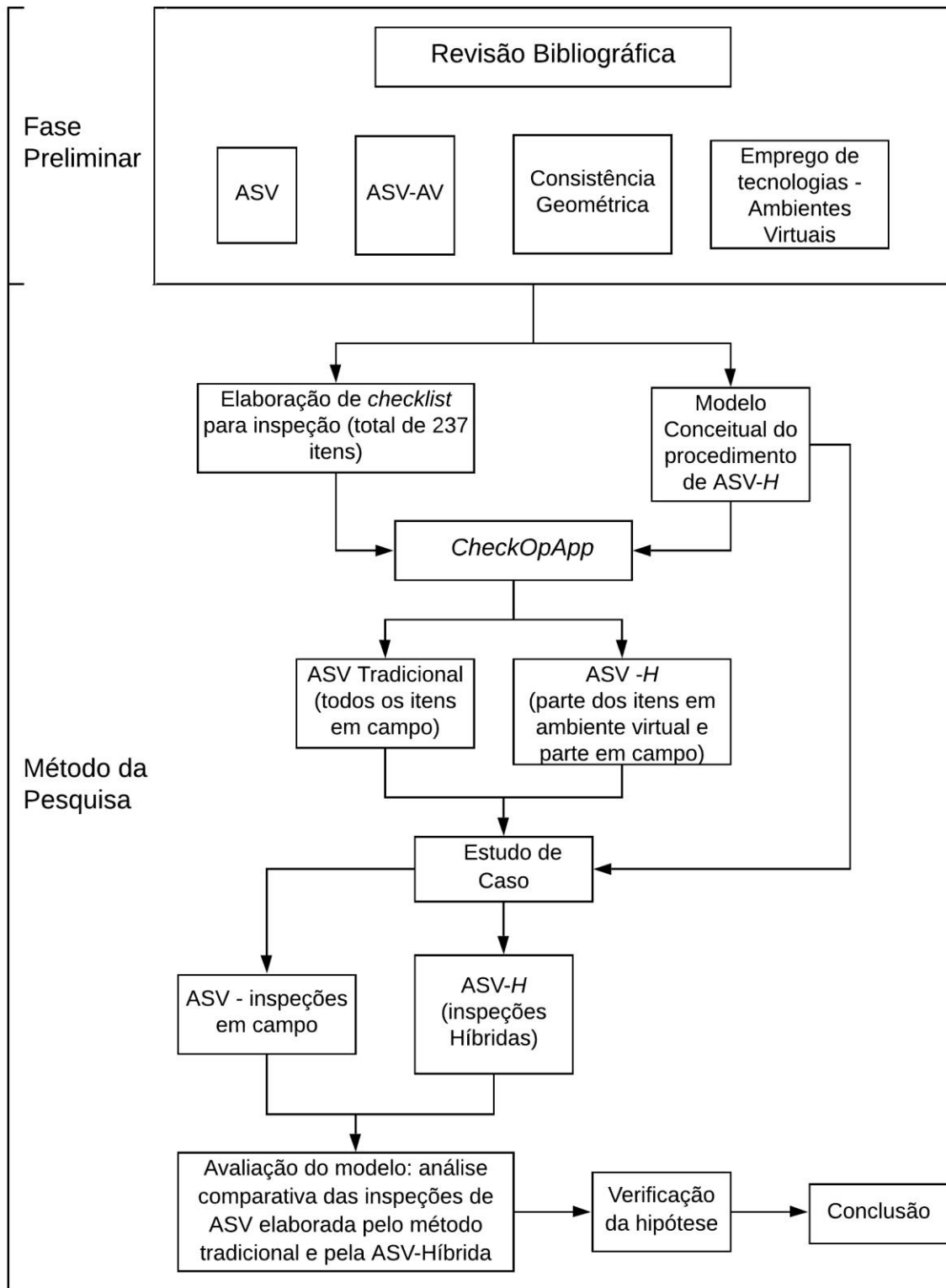


Figura 1.2: Esquema metodológico da tese



## 1.7. MOTIVAÇÃO/CONTRIBUIÇÃO DA TESE

Esta tese tem como principal motivação aprimorar as pesquisas em Segurança Viária no país de modo a contribuir com metodologias que visem a assegurar que os projetos das rodovias brasileiras tenham um alto nível de segurança, buscando a prevenção de acidentes e ferimentos ou, pelo menos, reduzindo sua severidade caso ocorram. Diante disso, apresentam-se as seguintes contribuições:

- a) proporcionar uma análise eficiente para a realização de ASV de vias rurais em operação empregando o uso de novas tecnologias, de maneira a viabilizar mais conforto e segurança às equipes de auditoria;
- b) agregar informações adicionais às já previstas pelo processo de ASV, de modo a ampliar as opções de avaliação dos especialistas, tais como a consistência geométrica, obtida de modelos preexistentes e por meio de simulações em AV realizadas com usuários;
- c) desenvolver um procedimento de ASV contemplando avaliações realizadas em ambiente virtual, tendo por finalidade complementar as Auditorias de Segurança Viárias tradicionais.

## 1.8. ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está dividida em 6 (seis) Capítulos referidos a seguir.

O Capítulo 1 é composto pela introdução do trabalho, pelo objetivo geral e pelos objetivos específicos da tese, assim como pela sua hipótese e justificativa, pela caracterização do problema e pelas delimitações do estudo. Nesse Capítulo também são apresentadas as fases e descrito o método de pesquisa adotado, a motivação e contribuições da tese e sua estrutura.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura que subsidiou a construção do método proposto. Foi realizada a revisão sistemática referente à Auditoria de Segurança Viária (ASV), ao emprego de listas de verificação (*checklist*), à consistência geométrica de projeto e à

Auditoria de Segurança Viária em Ambientes Virtuais (ASV-AV). Também foram incluídos aspectos relacionados ao comportamento dos motoristas utilizando simuladores de direção realísticos 3-D e equipamentos de simulação em ambientes virtuais.

No Capítulo 3 é proposto o método para a Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H) incluindo avaliações em ambientes virtuais, bem como sua estrutura, os instrumentos físicos (equipamentos) e documentais (*checklist*) para a coleta de dados em campo, além do correspondente procedimento de análise.

No Capítulo 4 são descritos o delineamento experimental e a realização do estudo de caso. Para isso, um trecho de uma rodovia rural duplicada foi escolhido para a aplicação do procedimento proposto.

O Capítulo 5 traz os resultados e a análise dos dados obtidos do estudo de caso apresentado no Capítulo 4.

O Capítulo 6 apresenta as principais conclusões do estudo.

Constam ainda do documento os apêndices de A a D, que são relevantes para a adequada compreensão do estudo. O Apêndice A apresenta a avaliação técnica dos itens de verificação, com sugestões e observações de especialistas. No Apêndice B, encontra-se a descrição da revisão sistemática da literatura realizada. O Apêndice C apresenta a descrição técnica do simulador de direção mencionado neste estudo. Já o Apêndice D traz a lista de verificação final proposta pela tese. Por fim, o Apêndice E traz os demais resultados dos testes de significância para os itens de verificação.

## CAPÍTULO 2

---

### 2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste Capítulo é apresentada a revisão dos documentos obtidos por intermédio da revisão sistemática da literatura. Os assuntos utilizados para esta pesquisa foram: Auditoria de Segurança Viária (ASV), incluindo as principais listas de verificação; Auditoria de Segurança Viária em Ambientes Virtuais (ASV-AV); e modelos sobre velocidade operacional e consistência de projeto. São descritos, também, estudos que abordam o comportamento e a percepção de motoristas em ambientes virtuais, utilizando ferramentas como simuladores de direção realísticos tridimensionais, e apresentada ainda a revisão da literatura sobre o uso de óculos de realidade virtual e sua aplicabilidade. O método detalhado da revisão sistemática da literatura está caracterizado na Tabela B.1 do APÊNDICE B.

#### 2.1. AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA

Assim como a medicina, a prática de melhoria da segurança viária utiliza dois tipos de “terapia”: trata os sintomas ou as causas (KUSTRA e MICHALSKI, 2017). Tratar os sintomas significa identificar os riscos de perigos e suas fontes através da análise de acidentes e de suas causas. Tratar as causas implica detectar perigos e fontes de riscos, realizando inspeções em campo (em uma rodovia existente) e analisando os acidentes rodoviários esperados (previstos) e suas consequências.

A Auditoria de Segurança Viária (ASV) é um exame formal que avalia o desempenho da segurança viária esperado para uma nova rodovia ou para uma rodovia existente, em que uma equipe independente, qualificada e multidisciplinar, através de um processo formal, usando um procedimento definido, informa sobre o potencial de acidentes na via (AUSTROADS, 2009). Na ASV são avaliados e divulgados qualitativamente os possíveis problemas de segurança viária, identificando as oportunidades de melhorias da segurança para todos os usuários da via, viabilizando a correção desses problemas antes que os acidentes ocorram (DOT, 2014). As metodologias tradicionais para a redução de acidentes, tais como a análise de pontos críticos e a investigação de acidentes, podem ser entendidas como técnicas corretivas, uma vez que

identificam eventuais deficiências na malha viária com base em eventos já ocorridos. As Auditorias de Segurança Viária, ao contrário, pretendem identificar essas deficiências antes mesmo que elas provoquem um acidente (LOPES e MARTINEZ FILHO, 2010), e são consideradas cada vez mais importantes em todo o mundo. Elas costumam ser utilizadas para avaliar uma nova rodovia antes que ela seja aberta ao público ou para auditar uma rodovia existente (HORBERRY *et al.*, 2014). Devem, portanto, ser empregadas durante as fases de projeto e de construção, como também na fase de manutenção das rodovias e vias urbanas.

Uma ASV se caracteriza por ser uma análise proativa, em que uma rodovia é avaliada e o projeto revisado para melhorar a segurança. Os limites do processo de ASV são tipicamente definidos pela seleção de uma equipe multidisciplinar que avalia um projeto e pela produção de um relatório de auditoria de segurança em que resultados são documentados. A equipe multidisciplinar é um aspecto crucial do processo, pois sua composição permite a avaliação de projetos sob uma perspectiva diferente da tipicamente utilizada nos projetos rodoviários (SANTIAGO-CHAPARRO *et al.*, 2011a). Ela deve incluir engenheiros de segurança rodoviária, engenheiros de projeto rodoviário, equipes de manutenção e policiais. Especialidades outras devem ser adicionadas ao time conforme necessário. Os membros da equipe não devem estar envolvidos na concepção ou na manutenção da instalação que está sendo examinada, para que eles possam ter um ponto de vista objetivo (não tendencioso e independente) (KANELLIDIS, 1999; DOT; 2014).

A ASV, quando aplicada, tem um grande potencial para melhorar a segurança, tornando-se mais vantajosa quando realizada num projeto viário antes que ele seja implantado. A Austrália, o Reino Unido e os Estados Unidos lideram a realização de auditorias, embora atualmente essa prática esteja se tornando mais comum em todo o mundo (HORBERRY *et al.*, 2014). No Brasil, apesar de ter sido utilizada com sucesso em algumas localidades, seu emprego ainda é opcional (PIETRANTONIO e BORNSTEIN, 2015). Ela pode ser conduzida em qualquer fase de projeto que envolva mudanças nas formas como os usuários da via irão interagir, quer uns com os outros, quer com seu ambiente físico. Para ser eficaz, deve ser feita por pessoas independentes, isto é, que não estejam envolvidas na concepção ou na manutenção da rodovia a ser auditada. Os membros devem possuir experiência e treinamento adequados (AUSTROADS, 2009; DOT, 2014).

Uma ASV busca responder às seguintes questões (DOT, 2014): quais elementos da via/rodovia podem representar uma preocupação em relação à segurança? Em que medida, para quais usuários da via/rodovia e em que circunstâncias? Quais são as oportunidades para eliminar ou mitigar as preocupações de segurança identificadas? Segundo o Departamento de Transportes dos Estados Unidos (DOT, 2014), é importante compreender a diferença entre os processos de ASV e a Revisão de Segurança Viária tradicional (comumente realizadas). As principais diferenças entre os dois processos são mostradas no Quadro 2.1, abaixo.

Quadro 2.1: Diferença entre uma Revisão de Segurança Viária tradicional e uma ASV

Revisão de Segurança Viária – RSV	Auditoria de Segurança Viária – ASV
A equipe de avaliação de segurança em geral não é completamente independente da equipe de projeto.	Realizada por uma equipe independente do projeto.
Normalmente realizada por uma equipe com conhecimentos apenas de projeto e/ou de segurança.	Realizada por uma equipe multidisciplinar.
Muitas vezes concentra-se no tráfego motorizado.	Considera todos os potenciais usuários da rodovia.
Comumente não considera os problemas do fator humano.	Contabiliza as capacidades e limitações do usuário rodoviário (elemento essencial de uma ASV).
Muitas vezes não gera um relatório de resposta formal.	Emite um relatório de resposta formal (elemento essencial de uma ASV).

Fonte: DOT (2014)

Similarmente, em se tratando das distinções fundamentais entre a prática tradicional utilizada para a manutenção de vias em operação (para a trafegabilidade do automóvel) e o método de auditoria da segurança viária, a análise das diferenças é apresentada no Quadro 2.2.

Quadro 2.2: Diferenças fundamentais entre as metodologias para a prática tradicional de manutenção da via e a ASV

Prática tradicional de manutenção da via para o automóvel	Auditoria de Segurança Viária
<p>1. Durante as inspeções, os especialistas se concentram no nível de manutenção da rodovia para o automóvel – o índice que reflete o estado definitivo dos elementos estruturais das rodovias, em estreita relação com as condições criadas para o movimento dos veículos. A percepção da rodovia por algumas categorias de usuários, por exemplo, pedestres ou ciclistas, é excluída do foco da avaliação.</p>	<p>1. No decurso da auditoria, os especialistas se concentram na avaliação da percepção da rodovia por todos os usuários – incluindo pedestres e ciclistas –, considerando a limitação de suas capacidades físicas e fisiológicas (de idosos e crianças, por exemplo).</p>
<p>2. No decurso das inspeções, a tarefa dos especialistas é definir a integridade e a qualidade da execução das condições dos contratos, o cumprimento dos requisitos estabelecidos nos manuais, nos códigos e nos padrões para a manutenção estrutural dos elementos rodoviários, incluindo aqueles que influenciam a segurança do tráfego para o automóvel por parte dos contratados.</p>	<p>2. A tarefa dos auditores é determinar os elementos rodoviários perigosos e potencialmente perigosos para os usuários, independentemente do grau de conformidade deles com os códigos e padrões aplicáveis. A percepção da rodovia pelos usuários é avaliada em diferentes situações e condições (à noite, com cegueira gerada pelo sol próximo ao horizonte), considerando, entre outras questões, também a influência de objetos localizados perto da rodovia. Se algum fator cria ambiguidade na percepção da situação rodoviária pelos usuários da rodovia, o que pode levar a ações erradas e a acidentes, os auditores devem propor soluções economicamente fundamentadas para a prevenção de situações perigosas.</p>

<p>3. Em regra, as inspeções são realizadas durante o dia, em condições climáticas satisfatórias (sem chuva ou neve), para analisar a superfície da rodovia em todos os detalhes, realizar medições detalhadas etc.</p>	<p>3. Para determinar mais especificamente os fatores de risco de acidentes, a auditoria de segurança do tráfego deve ser realizada durante o dia, bem como durante a noite, em qualquer condição climática (com condições de risco para o usuário).</p>
---	--

Fonte: adaptado de Huvarinen *et al.* (2017)

Como observado no Quadro 2.2, em um processo de ASV, verifica-se a necessidade de análises mais criteriosas sobre alguns elementos e, por isso, eventualmente o processo de inspeção deve ser repetido algumas vezes. Como a tarefa dos auditores é determinar as características viárias perigosas e potencialmente perigosas, concentrando-se os especialistas na avaliação da percepção da rodovia levando em conta todos os usuários, torna-se importante buscar novas tecnologias para apoiar o processo de inspeções realizado no local. Nesse contexto, é essencial explorar procedimentos e ferramentas que auxiliem a coleta de dados no trecho de rodovia a ser auditado.

O sistema rodoviário existente, urbano e rural, foi construído, muitas vezes, sem a adoção de técnicas adequadas de engenharia de tráfego. Isso pode ser observado, principalmente, em rodovias antigas, mas até mesmo em rodovias recentemente executadas, o que demanda uma ação concreta e sistemática a favor da segurança. Nas últimas décadas, a engenharia viária tem avançado no Brasil com normas, procedimentos e padrões conhecidos. Entretanto, ainda em número e especificidade, as regulamentações são insuficientes e nem sempre incorporadas ao planejamento, ao projeto, à obra ou à operação e manutenção da rodovia (LOPES e MARTINEZ FILHO, 2010). Como os padrões de projetos viários são baseados nos conhecimentos adquiridos há mais de meio século, tradicionalmente não levam em consideração o conhecimento adquirido recentemente. Embora as mudanças sejam feitas sobre o que poderia ser considerado periódico, a realidade é que a maioria delas não reestrutura a maneira como os recursos de projetos foram selecionados, as construções permanecem estáticas e, em vez disso, novos valores são adicionados ou modificados em equações existentes e/ou tabelas (SANTIAGO-CHAPARRO *et al.*, 2011b). Desenvolver procedimentos que integrem o avanço do conhecimento da engenharia rodoviária e que viabilizem a prática da ASV de forma

sistemática e prática em rodovias em operação ainda constitui um desafio na literatura nacional e internacional.

Alguns autores ou instituições fazem distinções na aplicação dos princípios de ASV às rodovias existentes, tratando-a como uma técnica diferente (chamada de inspeção ou revisão, em vez de auditoria), mesmo considerando o monitoramento de seus primeiros anos (DOT, 2003; CE, 2008 *apud* PIETRANTONIO e BORNSZTEIN, 2015). No entanto, devido à possibilidade de aplicar os procedimentos de ASV às rodovias existentes (não apenas aos projetos), à fase de manutenção da rodovia, ao planejamento e execução da construção e aos procedimentos operacionais, a técnica é potencialmente eficaz em razão do foco especial nas necessidades de todos os usuários e nos requisitos de todas as condições da rodovia, particularidade de uma ASV (IHT, 1991; AUSTROADS, 1994, 2002, 2006 *apud* PIETRANTONIO e BORNSZTEIN, 2015). Sete características da ASV são identificadas abaixo, fazendo com que seu conceito final varie (PIETRANTONIO e BORNSZTEIN, 2015):

- a) qualificação essencial dos especialistas;
- b) cobertura da aplicação da ASV (amplitude do escopo de ação preventiva);
- c) papel da verificação sistemática (e importância das listas de verificação ou *checklists*);
- d) requisito de relatórios formais (de auditores e de projetistas);
- e) foco em fatores humanos e/ou em todos os usuários (de pedestres com necessidades especiais a motoristas de caminhão);
- f) atenção às condições especiais da rodovia (como dia/noite, obras na via, condições climáticas adversas); e
- g) papel das equipes multidisciplinares.



De acordo com Austroads (2009) e Pietrantonio e Bornsztejn (2015), existem três formas básicas de ASV, a saber:

- a) auditoria de uma rodovia nova, em várias Etapas de conclusão do projeto:
  - Etapa de viabilidade ou escopo do projeto, quando a natureza geral deste é determinada;
  - Etapa de projeto preliminar, quando cursos alternativos de ação para o projeto são analisados e selecionados ou descartados;
  - Etapa de projeto final (ou projeto executivo), que consiste na Etapa detalhada do projeto;
  - Etapa de construção, para garantir que os controles de tráfego dos segmentos em obras protejam os usuários da rodovia e os trabalhadores da construção civil.
- b) auditoria de uma rodovia pós-construção, para garantir que o projeto concluído funcione como previsto;
- c) auditoria de uma rodovia existente, para verificar a consistência de uma rodovia, certificando-se de que o usuário não encontre problemas de segurança inesperados.

Uma ASV, em qualquer estágio do projeto, deve envolver as seguintes Etapas (AUSTROADS, 2009):

- a) reunião inicial entre o auditor e o cliente;
- b) avaliação dos documentos de projeto e outras informações básicas:
  - análise dos documentos antes e depois das inspeções. Antes de inspecionar o local, inicialmente é recomendado examinar os documentos para registrar as primeiras

impressões, listando possíveis problemas a serem verificados. Desenhos, dados de tráfego e acidentes, notas de campo e outras informações devem ser avaliadas, usando as listas de verificação conforme necessário. Nessa fase é importante identificar quaisquer áreas do projeto que contenham possíveis problemas de segurança. Se os documentos levantarem alguma questão, deve-se procurar uma explicação do projetista ou cliente antes que o relatório de auditoria de segurança viária seja escrito;

c) inspeção do local. Para a inspeção do local, as listas de verificação são extremamente importantes. Chamadas também de *checklists*, são formulários que auxiliam o auditor a identificar deficiências de segurança na via de forma ordenada e sistemática. Elas devem conter os aspectos relevantes a serem considerados, relacionados à segurança viária e que servem de apoio ao auditor, a fim de assegurar que todas as características importantes sejam verificadas. A verificação sistemática (e o uso de *checklist*) em procedimentos de ASV é um meio essencial para obter uma avaliação mais completa dos recursos, estabelecendo critérios válidos e justos, evitando conflitos entre especialistas e projetistas (PIETRANTONIO e BORNSZTEIN, 2015);

d) elaboração do relatório;

e) reunião final para discutir as recomendações.

O processo de ASV pode ser continuado e avaliado regularmente após a implementação de suas recomendações, contra o cenário alternativo “do-nothing” (nada fazer) (PIETRANTONIO e BORNSZTEIN, 2015).

Quando a ASV se dá em rodovias em operação, diferentes listas de verificação são encontradas na literatura, como a proposta por Transfund (1998), Hildebrand e Wilson (1999), Castrillón e Candia (2003), Austroads (2009) e outras. No Brasil, Schopf (2006) propôs um modelo de lista de verificação em que considera as condições de projeto e a conservação das rodovias existentes no país, além dos aspectos climáticos e culturais brasileiros. Analisando as listas de verificação

mais recentes encontradas na literatura, a lista de verificação da Austroads (2009) é a que melhor se adéqua aos objetivos deste trabalho, pois abrange vários aspectos de segurança viária, inclusive relacionados às falhas humanas no processo de condução (conceito da “rodovia que perdoa”, caso os motoristas errem e saiam da pista de rolamento) e que possam causar variações bruscas na velocidade praticada pelos condutores.

## **2.2. AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA EM AMBIENTES VIRTUAIS – ASV-AV**

Existe uma literatura bastante extensa sobre Auditorias de Segurança Viária, porém pouco foi encontrado sobre o uso de tecnologias para inspeções virtuais na realização de auditorias. Tais tecnologias são de difícil acesso e de custo elevado, como os simuladores de direção realístico 3-D. Nos últimos anos, o uso de ambientes tridimensionais tem ficado mais popularizado, não apenas na forma de jogos, mas também como ambientes que simulam, em alguns aspectos, a vida real e social do ser humano no mundo virtual tridimensional (3-D) (CUNHA e MAINENTE, 2011). No âmbito da engenharia rodoviária, a visualização 3-D do ambiente pode ser uma ferramenta útil para auxiliar a equipe de ASV a fazer uma avaliação mais completa da segurança. Quando usado efetivamente, o modelo 3-D é uma ferramenta que economizará o tempo da equipe de ASV e produzirá uma maior conscientização sobre questões de segurança relacionadas ao projeto. Em geral, os benefícios associados com a visualização 3-D (NABORS e SOIKA, 2013) são:

- a) na fase de projeto da rodovia, auxiliam os técnicos que não conhecem os planos de construção a compreender as melhorias propostas. Isso é particularmente importante para projetos grandes, complexos e inovadores, com diferenças significativas de elevação e/ou grau de curva, com projetos incomuns e para a compreensão de conceitos-chave de engenharia;
- b) auxiliam na ilustração de como o projeto proposto afetará o ambiente viário;

- c) permitem que os usuários percebam as condições propostas no projeto que podem revelar problemas que não são evidentes em uma revisão dos projetos bidimensionais (2-D) padrão;
- d) fornecem um apoio visual das descobertas e recomendações da equipe de ASV às partes interessadas (clientes, por exemplo);
- e) ajudam a maximizar o tempo efetivo dos membros da equipe de ASV;
- f) em rodovias em operação, auxiliam na visualização de locais inacessíveis (devido ao clima, ao terreno, às restrições de segurança etc.);
- g) auxiliam na identificação de impactos potencialmente significativos para interesses comunitários, culturais ou históricos;
- h) fornecem outro meio de visualização para analisar os projetos e estudos de engenharia;
- i) promovem um estudo amplo e holístico do projeto ou de alguma alteração proposta para uma rodovia em operação, garantindo que se possíveis problemas forem identificados com antecedência e puderem ser abordados em tempo hábil, as mudanças poderão ser oportunas e menos dispendiosas.

A ASV expande a ideia de que os fatores humanos e rodoviários atuam integrados aos potenciais fatores de acidentes, e auxilia, com informações, a equipe de especialistas multidisciplinares. Estudos recentes mostram que cerca de 27 % dos acidentes são causados pelo problema da interação entre "usuários – ambiente rodoviário" (HUVARINEN *et al.*, 2017). Embora as Auditorias de Segurança Viária tradicionais tenham uma importância crítica, Horberry *et al.* (2014) recomendam a abordagem da auditoria centrada no motorista, o que pode ser benéfico na concepção de projeto de rodovias mais seguras.

As auditorias que consideram o comportamento dos usuários constituem uma novidade, pois elas podem avaliar as reações e as atitudes de um motorista para um novo trecho de rodovia ou para uma via construída (REGAN *et al.*, 2009). Dentre os equipamentos tecnológicos que permitem avaliar o comportamento dos usuários em um cenário virtual, destacam-se os simuladores de direção realístico 3-D. O uso de simuladores de direção em estudos sobre segurança rodoviária ganhou popularidade nos últimos anos. À medida que essas ferramentas se tornam mais facilmente disponíveis, é apresentada uma oportunidade para introduzir a tecnologia no processo de concepção de rodovias. Essas tecnologias avançadas permitem investigar o papel dos fatores humanos numa perspectiva multidisciplinar.

Santiago-Chaparro *et al.* (2011a), na tentativa de propor novos métodos de ASV, fizeram uso de simuladores de condução para realizar auditorias virtuais de segurança viária que envolvem a exposição de usuários reais a um projeto e para determinar como os elementos deste influenciam os usuários na tarefa de condução. Porém, propor a ideia de um novo método para recomendar mudanças em um projeto ou avaliar projetos existentes pode passar por um processo de resistência da comunidade de profissionais/projetistas.

Os autores propuseram um método conceitual para a realização de Auditorias de Segurança Viária em Ambientes Virtuais (ASV-AV) em que os processos descritos na Figura 2.1 destinam-se a ser utilizados quando uma abordagem de segurança rodoviária tradicional não é apropriada, ou, ao considerar os benefícios marginais de uma ASV-AV, os benefícios esperados superam os custos. Os procedimentos utilizados por Santiago-Chaparro *et al.* (2011a) podem acelerar o processo de criação de cenários através do uso de software personalizado. Ao confiar no software personalizado na criação de cenários e usar conjuntos de dados amplamente disponíveis (de acordo com as medidas de desempenho de interesse), as reduções de tempo alcançadas são significativas.

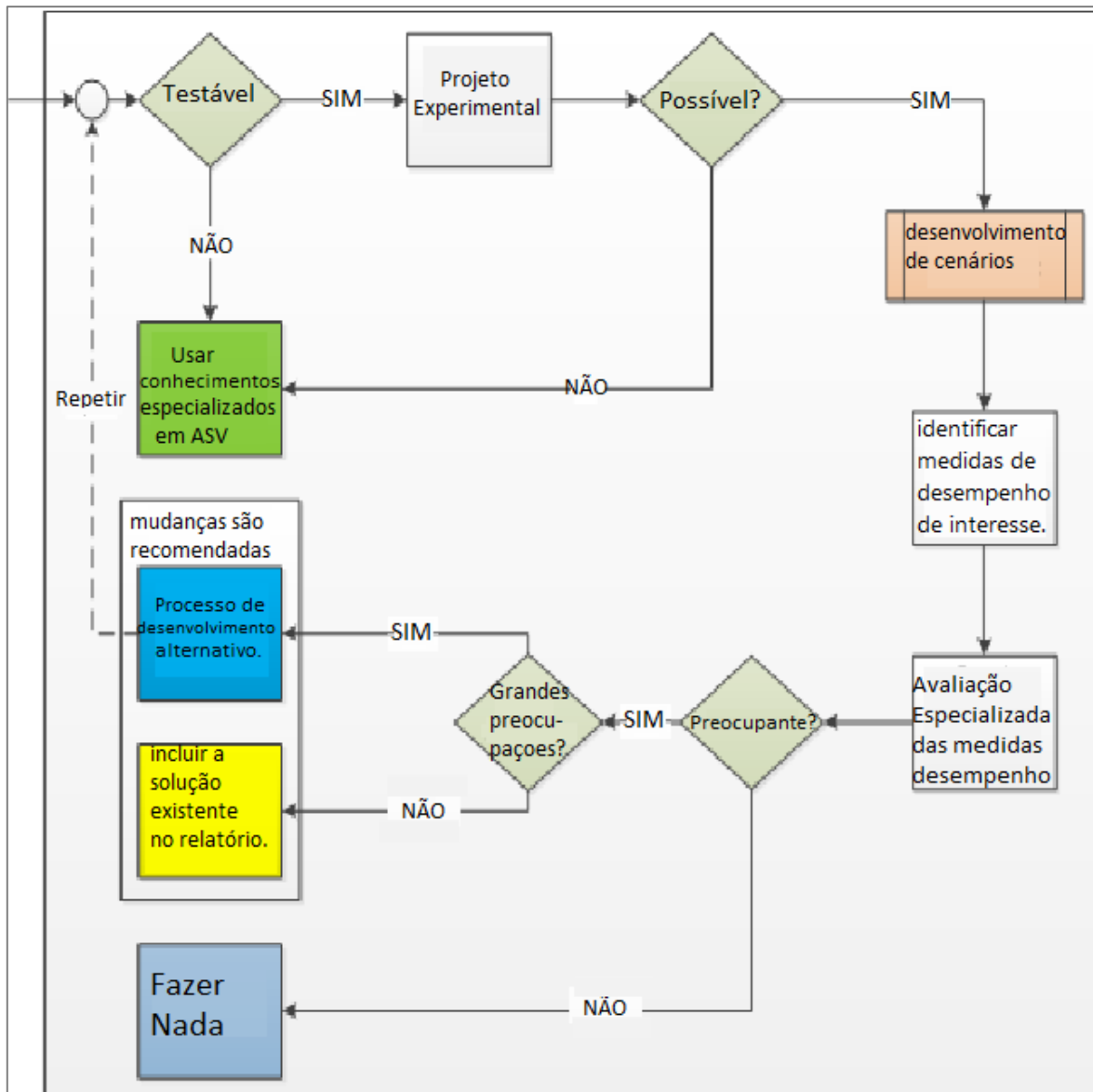


Figura 2.1: Estrutura Conceitual para ASV-AV

Fonte: Santiago-Chaparro *et al.* (2011a)

Santiago-Chaparro *et al.* (2011a) explicam que o primeiro passo em uma ASV-AV é avaliar se os efeitos de segurança de um aspecto específico (ou de um elemento da rodovia) podem ou não ser testados em um simulador de direção. As considerações sobre o custo e o tempo são sempre um fator importante no processo de tomada de decisão. Quando uma experiência em um simulador não é uma opção viável ou quando as características do simulador utilizadas não são adequadas para testar determinados elementos de projeto, a avaliação de segurança continua na forma de uma avaliação experiente baseada no conhecimento. Por outro lado, se uma auditoria de segurança viária usando um simulador de condução for uma opção viável, o

experimento é conduzido, os dados de interesse são coletados e o conhecimento especializado é usado para identificar as medidas de desempenho que podem ser usadas como indicadores de segurança de interesse definidos para análise. Uma análise das medidas de desempenho de segurança viária de interesse é realizada pela equipe responsável pela realização da ASV baseada em simulador. Nessa fase do processo, a equipe busca indícios nos dados gerados pelo simulador de que o projeto que está sendo submetido à avaliação não fornece suporte adequado para o desempenho dos usuários da rodovia ou, no pior dos casos, identifica aspectos do projeto que podem ter um efeito prejudicial no desempenho do usuário da rodovia (SANTIAGO-CHAPARRO *et al.*, 2011a).

Há na literatura vários métodos utilizados para avaliar as condições de segurança nos segmentos de rodovias. Eles podem ser classificados em medidas de segurança baseadas em conflitos, em velocidades e em estatística de acidentes, como mostrado no Quadro 2.3.

Quadro 2.3: Medidas de segurança e variáveis

Categoria	Medidas de segurança	Principais variáveis que afetam a segurança	Autores
Baseadas em conflitos	Tempo para colisão	Distância e velocidade entre dois veículos	Yang (2010), Garber e Liu (2007)
	Inverso do tempo para colisão	Distância e velocidade entre dois veículos	Chin <i>et al.</i> (1991)
	Densidade de insegurança	Distância entre dois veículos	Barcelo <i>et al.</i> (2003)
	Headway	Headway entre veículos	Vogel (2003)
	Taxa de desaceleração para evitar acidente	Taxa de desaceleração	Sacomanno <i>et al.</i> (2008)
Baseadas em velocidades	Velocidade de projeto	Velocidade de projeto por nível (tipo de rodovia)	AASHTO, Green Book (1994)
	Velocidade observada	Velocidade observada	Special Report 254. (1998)

	Dispersão de velocidade	Variação de velocidade observada	Solomon (1964).
	Combinação de alinhamentos de rodovia	Combinação de velocidade de projeto ou consistência de projeto	ARRB (2006), NCHRP 502 (2003)
Baseadas em estatísticas de acidentes	Taxa de acidentes	Acidente por veículos-quilômetro ou por veículo	Montella (2010)
	Densidade de acidentes	Densidade da frequência	Pawlorich (2007)
	Método de index	<i>Ranking</i> de pesos de segurança ou índice de probabilidade de acidentes	Guerts <i>et al.</i> (2004)
	Método de severidades de acidentes	Apenas danos materiais equivalentes (EPDO) ou Método Empírico de Bayes (EB)	Montella (2010)

Fonte: Adaptado de Oh e Mun (2012)

Oh e Mun (2012), contudo, sugerem que a velocidade de projeto, a velocidade observada e/ou suas variações poderiam ser consideradas como fatores principais na causa de acidentes de trânsito. Cada motorista escolhe a velocidade operacional do veículo, e as disparidades entre a velocidade de projeto e a velocidade do veículo são inevitáveis e podem levar a acidentes.

Assim como acontece nas auditorias tradicionais, a decisão de auditar um trecho de rodovia em ambiente virtual deve ser tomada levando em consideração a avaliação custo-benefício, em que a questão que precisa ser pensada durante esse processo é se os custos marginais da realização de uma avaliação baseada em simuladores podem ser justificados por possíveis melhorias de segurança que poderiam resultar da identificação de possíveis problemas de desempenho do usuário causados pelo projeto em questão (SANTIAGO-CHAPARRO *et al.*, 2011a).

Uma ASV é capaz de viabilizar a análise e a identificação de potenciais perigos aos usuários da via e de locais candidatos a acidentes de trânsito. O diferencial de velocidade operacional entre



dois elementos sucessivos da estrada é um indicador importante para avaliar a qualidade do projeto do alinhamento geométrico (CHAI *et al.*, 2013). Diferenças significativas na velocidade de operação (85º percentil) entre elementos sucessivos ao longo de uma rodovia refletem a falta de consistência da velocidade na Seção da rodovia (ZHONG, 2010). Logicamente, há uma relação inerente entre a consistência de projeto e a frequência de acidentes, com projetos “consistentes” sendo associados a frequências de acidentes mais baixas (AASHTO, 2011).

A ASV e a consistência de projeto são considerados dois conceitos valiosos para melhorar a segurança nas rodovias. Esses conceitos, aplicados separadamente, têm obtido sucesso e aceitação. No entanto poucos projetos de ASV se integram aos conceitos de consistência de projeto. A aplicação conjunta de ASV e da avaliação da consistência geométrica ainda é considerada uma lacuna dentro da literatura especializada. E os simuladores de direção realísticos demonstram evidente contribuição no processo de ASV considerando o comportamento dos usuários da rodovia.

No estágio de detalhamento do projeto, a equipe de ASV deve identificar quaisquer problemas com o alinhamento geométrico para ajustar e otimizar os parâmetros de projeto. Na fase de pré-abertura e operação experimental, a equipe de auditoria deve verificar o problema de segurança sob condições reais de trânsito e rodovia, e entender como os comportamentos perigosos dos motoristas interagem com os possíveis problemas e tomar medidas cabíveis para aliviar esses problemas (ZHONG, 2010). Uma das características mais importantes da realidade virtual é que o usuário pode explorar as habilidades cognitivas e motoras existentes para interagir com o mundo em uma variedade de modalidades sensoriais e, em muitos casos, a experiência adquirida no ambiente virtual é diretamente transferível para o mundo real. Esse aspecto foi aproveitável para uma variedade de simuladores e sistemas de treinamento (GOBBETTI e SCATENI, 1998). Existem dois níveis diferentes de realismo que distinguem os simuladores de condução avançados (BELLA, 2009):

- a) simuladores de direção de nível mais avançados – consistem em um veículo real montado em uma plataforma dinâmica com um cenário de rodovia recriado em um ambiente virtual totalmente imerso em telas envolventes. Esses sistemas são os mais realistas porque permitem o movimento do veículo em três graus de liberdade (eixos x,

y e z). Tais movimentos são transmitidos aos motoristas de maneira muito semelhante às aquelas experimentadas em condições reais de condução;

- b) simuladores de direção de nível intermediário – compostos por um veículo real montado em uma plataforma fixa, com uma projeção do cenário da rodovia em várias telas. O nível de realismo é menor, devido à ausência das forças inerciais realistas que estão sendo transferidas para o motorista.

Todavia, ambos os sistemas se mostraram eficazes com o objetivo de analisar vários fenômenos, especialmente aqueles que se baseiam na percepção visual do cenário rodoviário. Várias pesquisas demonstraram que os simuladores de direção podem ser uma ferramenta eficaz no que diz respeito à velocidade de motoristas em ambientes virtuais (BELLA, 2004, 2005a, 2007; KAPTEIN *et al.*, 1996; GODLEY *et al.*, 2002; TORNOS, 1998 *apud* BELLA, 2008). Esses sistemas são equipados com um amplo campo de visão e fornecem informações visuais que permitem a estimativa correta da velocidade longitudinal (BELLA, 2009).

Dada a importância dos fatores humanos para a segurança rodoviária, argumenta-se que as diretrizes de concepção devem assegurar uma consideração mais explícita das características dos usuários da rodovia. As diretrizes de auditoria de segurança parecem ter feito avanços consideráveis na incorporação de requisitos relevantes em seus princípios e listas de verificação. Pode ser prático, no entanto, introduzir verificações quantitativas (por exemplo, para a consistência de projeto) como um suplemento ou aprimoramento de listas de verificação para apoiar o julgamento do auditor por meio de informações quantificáveis facilmente obtidas (KANELLIDIS, 1999).

### 2.3. CONSISTÊNCIA DE PROJETOS RODOVIÁRIOS

A consistência de projeto pode ser definida como a conformidade das características geométricas de uma rodovia com as expectativas dos motoristas (NICHOLSON, 1998; GIBREEL *et al.*, 1999; CHAI *et al.*, 2013). Por exemplo, os elementos geométricos sucessivos são coordenados em conformidade com o comportamento harmonizado dos condutores (POST e LUNENFELD, 1991; EASA e HE, 2006). Bella *et al.* (2014) definem consistência de projeto

como a capacidade de uma rodovia de permitir que as operações funcionem adequadamente com segurança sem serem surpreendidas com as mudanças das características da via. Um projeto altamente inconsistente produz uma mudança repentina na característica da rodovia, podendo levar a erros humanos e, posteriormente, a acidentes. A consistência de projeto implica que o desenho de uma rodovia não viola nem a expectativa do motorista nem a capacidade dele para guiar e controlar o veículo de forma segura (GLENNON e HARWOOD, 1978; EASA e HE, 2006). Um traçado consistente não afeta a expectativa dos motoristas e garante uma operação segura (BELLA e D'AGOSTINI, 2010; TORRES, 2015).

Baseado na *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2004), a velocidade de projeto é selecionada pelos engenheiros da rodovia considerando as funções da via (OH e MUN, 2012). Em seguida, ela é aplicada para definir os elementos de projeto da via como curvas horizontais, verticais, inclinações e seções transversais. Segundo pesquisas, as velocidades de projeto podem estar correlacionadas aos acidentes de trânsito. Garber e Gadiraju (1988) indicaram que altas velocidades de projeto estão associadas com baixas taxas de acidentes (OH e MUN, 2012).

Já a velocidade de operação é o resultado final da integração entre o alinhamento geométrico da rodovia, o ambiente rodoviário, o desempenho do veículo e o comportamento dos condutores. Segundo Chai *et al.* (2013), Lamm *et al.* (1986) foram dos primeiros autores a introduzirem a velocidade como uma das medidas para a avaliação da consistência de projeto. Posteriormente, Fitzpatrick *et al.* (2000) e Hashim e Bird (2004) introduziram a velocidade de operação nos estudos para avaliação da consistência de projeto. Quanto maior o diferencial de velocidade entre dois segmentos viários consecutivos, pior será a consistência do projeto, e a probabilidade de acidentes de trânsito será maior (CHAI *et al.*, 2013). De acordo com AASHTO (2001) e García (2008), a definição mais adotada assume que a velocidade operacional é “a velocidade na qual se observa os condutores operando seus veículos em condições de fluxo livre”. Segundo a mesma publicação, o percentil 85 da distribuição de velocidades observadas “é a medida mais frequentemente utilizada como velocidade operacional em um particular segmento geométrico característico”. Esta é tida como a variável resultante que melhor expressa a percepção de segurança do condutor.

A velocidade operacional é considerada o melhor indicativo do comportamento estabelecido na relação entre os três principais agentes viários: condutor, veículo e rodovia. Através de um diagrama de perfil da velocidade operacional estimada ao longo da via, é possível observar inconsistências como: (i) diferenças significativas entre a velocidade operacional e a de projeto – problemas no dimensionamento do projeto; e (ii) a grande variação repentina de velocidade – problemas de operação (GARCÍA, 2008). Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para avaliar a influência das características da via nas velocidades reais praticadas pelos motoristas e para estabelecer metodologias de avaliação da consistência do traçado (KABBACH JUNIOR, 2000).

Com o objetivo de identificar variáveis significativas que melhor expliquem os modelos de previsão de velocidade operacional para segmentos de rodovias em tangente, Maji *et al.* (2018) analisaram 251 trechos no estado de Oklahoma, nos Estados Unidos. Para isso, foram desenvolvidos modelos através de análise de regressão linear múltipla. Os parâmetros mais significativos do modelo são o limite da velocidade regulamentada (LVR) e a resistência à derrapagem na rodovia. Além disso, foi constatado que, para rodovias com limite de velocidade regulamentada mais alto, o Índice de Rugosidade Internacional (IRI) era mais significativo.

Em se tratando de segmentos de rodovias de elementos planimétricos sucessivos (curvas e tangentes), o alinhamento horizontal afeta muito a velocidade dos veículos nas estradas rurais (SEMEIDA, 2014). Para melhorar a consistência do projeto de rodovias existentes e novas, vários estudos desenvolveram modelos de previsão de velocidade operacional e investigaram o comportamento de velocidade dos motoristas em rodovias de pista dupla em segmentos com tangentes e curvas circulares (MONTELLA *et al.*, 2015). A Tabela 2.1 ilustra alguns modelos para velocidade de operação para trechos de rodovias rurais de pista dupla em que cada um tem sua aplicação limitada ao respectivo trecho analisado.

Tabela 2.1: Modelos para velocidade de operação para rodovias de pista dupla

Autor, Ano	País	Variáveis significativas	Trechos analisados	Modelo V85 (Veículos leves e pesados)
(LLOPIS-CASTELLÓ <i>et al.</i> , 2019)	Espanha	Raio da curva horizontal (R)	11 seções de estradas	$V_{85} = 73,76 - \frac{46,45}{e^{0,00072 \times R}}$ ; em que V85 (velocidade

			(105 curvas horizontais)	operacional 85 percentil, em km/h) e R (m); $R^2_{Aj}=0,60$ (coeficiente de determinação ajustado para veículos pesados descarregados); $V_{85} = 87,55 - \frac{60,37}{e^{0,012 \times R}}$ ; em que V85 (velocidade operacional 85 percentil, em km/h) e R (m); $R^2_{Aj}=0,74$ (coeficiente de determinação ajustado para veículos pesados carregados).
(RUSSO <i>et al.</i> , 2016)	Itália	Comprimento total do segmento (L), curvatura (1/R), taxa de variação da curvatura (CCR)	567 (248 em curvas circulares e 319 em tangentes)	$V_{85} = 104,59 + 3,99 \times \log(L) - 0,07 \times CCR - 1670 \times \frac{1}{R}$ $R^2=0,89$ (veículos leves e pesados); em que: V85 (km/h), L (km), 1/R (m), CCR (gon/km)
(TORRES, 2015)	Brasil	Taxa de variação da curvatura (CCR) e rampa (I)	10 km (tangentes e curvas)	$V_{85} = 107,534 - 0,02 \times CCRs - 2,06i$ ; $R^2 = 0,59$ ; $CCRs = taxa de mudança de curvatura$ (gon/km); $I = rampa$ (%)
(SEMEIDA, 2014)	Egito	Ângulo de Deflexão (AD) e largura do canteiro central (LC)	78 seções de curva	$V_{85} = 64,456 - 0,76 \times AD + 5,706 \times LC$ ; $R^2=0,892$ – para veículos leves; em que: AD = Ângulo de Deflexão (°); LC = Largura do canteiro central (m), V85 = km/h. $V_{85} = 51,894 - 0,619 \times AD + 5,41 \times LC$ $R^2=0,915$ – para veículos pesados.

Conforme os modelos de Llopis-Castelló *et al.* (2019) e Russo *et al.* (2016), o raio de curvatura horizontal foi a variável que apresentou maior influência significativa nos modelos de previsão de velocidade operacional para rodovias de pista dupla em segmentos mistos (curvas e tangentes). Semeida (2014) verificou que quanto maior o canteiro central separando o tráfego, maior a velocidade operacional dos veículos leves e pesados. Tal fato se deve a que os motoristas tendem a aumentar a velocidade na curva horizontal em canteiros mais largos, pois o tráfego oposto está mais distante do campo de visão. Já o sinal negativo para o ângulo de deflexão (AD) no modelo proposto por Semeida (2014) significa que a velocidade operacional diminui com o aumento do AD, pois um ângulo de deflexão maior nas curvas reflete menores velocidades.

As medidas de consistência de projeto baseadas na velocidade operacional são comumente aceitas e foram amplamente desenvolvidas. Lamm *et al.* (1999) introduziram duas medidas de avaliação: diferencial de velocidade dos sucessivos elementos rodoviários e diferenças entre as velocidades de operação e de projeto. Após a investigação abrangente do acidente de trânsito, eles também exploraram a mudança da velocidade operacional e a correlacionaram com a taxa de acidentes de trânsito. Assim, demonstraram que essa mudança está altamente relacionada com as causas dos acidentes. Os critérios de avaliação foram adotados pela FHWA e pela China. Contudo ainda há falta de calibrações locais devido a diferenças de comportamento de condução, características da dinâmica do veículo, bem como em razão das condições da rodovia (CHAI *et al.*, 2013).

De acordo com Torres (2015), Lamm *et al.* (1999) desenvolveram um modelo de previsão de velocidade operacional em função da taxa de mudança de curvatura (CCR). Esse método é conhecido como método dos critérios de segurança, pois utiliza três critérios para a análise de consistência: (i) diferença entre a velocidade operacional (V85) e a velocidade diretriz (Vd) em cada elemento da via; (ii) diferença entre as velocidades operacionais em elementos planimétricos sucessivos do alinhamento (curva-curva, tangente-curva, curva-tangente); e (iii) diferença entre o coeficiente de atrito lateral assumido ( $f_{RA}$ ) e demandado ( $f_{RD}$ ) na superelevação, conforme Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Critérios de segurança do método proposto por Lamm *et al.* (1999)

Critério	Projeto bom	Projeto razoável	Projeto ruim
<b>I -</b>			
<b>Comparação em cada elemento</b>	$ V_{85} - V_d  \leq 10 \frac{km}{h}$	$10 \frac{km}{h} <  V_{85} - V_d  \leq 20 \frac{km}{h}$	$ V_{85} - V_d  > 20 \frac{km}{h}$
<b>II -</b>			
<b>Comparação em elementos sucessivos</b>	$ V_{85i} - V_{85i+1}  \leq \frac{10km}{h}$	$10 \frac{km}{h} <  V_{85i} - V_{85i+1}  \leq 20 \frac{km}{h}$	$ V_{85i} - V_{85i+1}  > 20 \frac{km}{h}$
<b>III - Aspectos</b>			
<b>Dinâmicos do traçado</b>	$f_{RA} - f_{RD} \geq 0,01$	$-0,04 \leq f_{RA} - f_{RD} < 0,01$	$f_{RA} - f_{RD} < -0,04$

Fonte: Adaptado de Torres (2015)

As transições entre tangentes e curva representam situações mais críticas, uma vez que os motoristas devem receber informações corretas e antecipadas para se aproximarem de uma curva a uma velocidade adequada. Se essa informação não for apropriada, ou se for enganosa, pode causar uma redução súbita na velocidade na transição entre dois elementos sucessivos de alinhamento da rodovia (BELLA *et al.*, 2014). A fim de reduzir as informações a serem processadas, motoristas contam com conhecimentos prévios, baseados em padrões de reações já aprendidas; assim, eles ficam mais propícios a cometerem erros quando suas expectativas não ocorrem (AASHTO, 2010).

A consistência de projeto é alcançada quando o projeto geométrico não causa surpresas aos motoristas, de forma tal que não ocorram mudanças repentinas de velocidade em segmentos sucessivos da rodovia em função das características geométricas com as quais eles se deparam (KABBACH JUNIOR, 2000). A percepção do motorista sobre as características da rodovia é um fator humano importante que pode afetar consideravelmente a segurança viária (HASSAN e EASA, 2003). Deve, portanto, ser considerada no projeto, pois a percepção errônea do alinhamento da rodovia pode influenciar na consistência deste, visto que os motoristas podem manter uma velocidade maior ou menor do que a velocidade do projeto se o alinhamento da

curva horizontal ou vertical for percebido equivocadamente, por exemplo, a percepção errônea sobre uma curva acentuada (como se fosse uma curva suave) ocasionando velocidades maiores que as condições de segurança permitem. Portanto, a AASHTO (2010) enfatiza a necessidade de um estudo abrangente da coordenação do alinhamento durante a fase de projeto para evitar os custos excessivos associados a qualquer deficiência que pode ser notada mais tarde.

Com base nas considerações mencionadas anteriormente, o critério de segurança II proposto por Lamm *et al.* (1999) é o que demonstra ser o mais adequado para este trabalho, haja vista que permite analisar a diferença entre as velocidades operacionais em elementos sucessivos do alinhamento, refletindo o comportamento dos motoristas em relação às características da rodovia.

Há, por conseguinte, claramente uma necessidade de desenvolver procedimentos de ASV que contemplem a análise da consistência geométrica da rodovia, bem como estudos sobre o comportamento dos motoristas com o apoio de equipamentos que simulem ambientes virtuais, o que reafirma os objetivos apontados na Seção 1.3. Contudo, realizou-se uma revisão da literatura para avaliar o estado atual do conhecimento sobre comportamento dos motoristas *versus* segurança viária em ambientes virtuais.

#### **2.4. ESTUDOS SOBRE COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS *VERSUS* SEGURANÇA VIÁRIA**

As consequências do excesso de velocidade em termos de incidência e gravidade dos acidentes de trânsito estão bem documentadas e incluem: aumento do risco de acidentes devido ao menor tempo de reação do motorista, aumento da severidade dos acidentes, maior dificuldade no controle do veículo, aumento da distância de parada após a aplicação de freios, maiores forças de impacto em caso de choque e diminuição dos tempos de reação para outros usuários da rodovia (FILDES *et al.*, 2005; KLOEDEN *et al.*, 2001; ZAAL, 1994 *apud* FLEITER e WATSON, 2006).

O excesso de velocidade é um fator contribuinte nos acidentes de trânsito nas rodovias rurais. Embora a relação entre velocidade e risco de acidentes esteja bem estabelecida na literatura, como demonstrado em estudos de Torres (2015) e Russo e Biancardo (2017), por exemplo,



existem muitos fatores que perpetuam a adoção de altas velocidades, incluindo a falta de conscientização dos motoristas sobre a relação entre velocidade e acidentes e uma subestimação do risco destes, além da falta de consciência do que é uma velocidade segura.

A velocidade regulamentada na rodovia tem grande influência na escolha da velocidade do motorista. No entanto, devido às muitas inconsistências geométricas nas rodovias rurais, é exigida dos motoristas uma constante adaptação da velocidade do veículo, independentemente da velocidade regulamentada na rodovia. Cabe destacar, contudo, a diferença existente entre comportamento e desempenho do motorista. Enquanto o desempenho está associado a tudo o que o motorista está capacitado a fazer, o seu comportamento diz respeito ao que ele escolhe fazer (BOTTESINI e NODARI, 2011). O requisito de adaptar a velocidade para o ambiente pode aumentar a oportunidade de erro humano e levar a maiores riscos de acidentes e ferimentos (OXLEY e JOHNSTON, 2004). Esse ajuste de velocidade, de acordo com a condição da rodovia ou a condição de perigo, afeta os acidentes rodoviários (GOLDENBELD e VAN SCHAGEN, 2007 *apud* RAM e CHAND, 2016).

A prática do excesso de velocidade em rodovias associada com os acidentes de trânsito justifica pesquisas com condutores. Quando se desconsidera a possibilidade de o homem influenciar nas variáveis que aumentam a probabilidade da ocorrência dos acidentes, se desconsidera, também, a capacidade e a possibilidade do ser humano de influir na prevenção dos acidentes. As pesquisas em segurança viária não visam culpar os usuários do trânsito pelos acidentes, mas sim identificar os níveis de influência que exercem sobre as ocorrências para assim reorganizar as variáveis presentes. Identificar e refletir acerca dos aspectos envolvidos permite agir sobre os determinantes dos acidentes antes que eles aconteçam. Isso é prevenção (SILVA, 2017).

Conforme já mencionado, o motorista é afetado por diferentes estímulos ao dirigir um carro real, e os estímulos visuais são os mais importantes. Nas rodovias rurais, a percentagem de fixação do olho do motorista em objetos irrelevantes (por exemplo, sinais de propaganda, árvores laterais, obras de arte) é substancialmente maior se comparado com o que ocorre em rodovias urbanas (BARTMANN *et al.*, 1991 *apud* CHARLTON *et al.*, 2002). Pesquisas mostraram que sinais de trânsito e outros dispositivos de controle de tráfego normalmente consomem um total de 15 % a 20 % da capacidade de atenção do motorista (HUGHES e COLE, 1986 *apud* CHARLTON *et al.*, 2002). Em uma pesquisa cujo objetivo era medir a percepção

da sinalização rodoviária dentro de ambiente virtual, Larocca *et al.* (2018) verificaram que a sinalização de limite de velocidade foi a mais percebida por motoristas conduzindo em um simulador de direção, com uma porcentagem média de percepção de  $54 \pm 16 \%$ , seguida de sinalização de alerta de curva ( $35 \pm 7 \%$ ).

Estudos demonstram que a largura da faixa de rolamento pode influenciar na ocorrência de acidentes em diferentes condições de localização da rodovia. Nas áreas rurais, a taxa de acidentes diminui à medida que aumenta a largura da faixa de tráfego da rodovia, enquanto nas áreas urbanas as taxas de acidentes aumentam quando isso acontece. Diferenças na velocidade e na heterogeneidade de usuários do tráfego podem explicar essa divergência. Nas áreas rurais, a velocidade é maior do que nas áreas urbanas, e uma rodovia mais larga pode fornecer uma margem adicional de segurança. O contrário é observado nas rodovias que cortam áreas urbanas, pois mais tráfego cruzará a rodovia do que nas áreas rurais, não sendo desejáveis altas velocidades (ELVIK *et al.*, 2009).

O número de interseções e pontos de acesso têm um grande impacto na taxa de acidentes. Os alinhamentos horizontal e vertical afetam a taxa de acidentes e dependem do raio das respectivas curvas, bem como de sua concordância, que impacta a imagem do traçado visualizado pelo condutor. Curvas não esperadas pelos motoristas têm taxas de acidentes mais altas do que as curvas previstas por eles. As expectativas dos motoristas são afetadas pelo número de curvas por quilômetro de rodovia. Uma curva de um raio dado tem um efeito menor na taxa de acidentes em uma rodovia com muitas curvas do que em uma rodovia com poucas curvas (ELVIK *et al.*, 2009).

Os estudos de comportamento real ao conduzir um veículo em ambientes realistas são ideais em termos de fornecimento de validade ecológica, isto é, quanto mais a condição de coleta se aproximar do “mundo real”, maior será o nível de validade ecológica da situação experimental e maior a validade externa dos resultados (MASSIGLI, 2009). Infelizmente, os custos de estudos naturalísticos são altos, e as dificuldades práticas em termos de segurança dos participantes impedem o teste de rotina do desempenho do motorista em situações de perigo real (UNDERWOOD *et al.*, 2011).

## 2.5. ESTUDOS SOBRE PERCEPÇÃO E COMPORTAMENTO DOS MOTORISTAS EM AMBIENTES VIRTUAIS: SIMULADORES DE DIREÇÃO

O uso de simuladores de direção realísticos vem sendo adotado com maior frequência nos últimos vinte anos, com ênfase na Itália, nos Estados Unidos, no Reino Unido, na Alemanha, na Grécia, na Suécia e na Austrália. A literatura apresenta uma série de vantagens e conclusões acerca do uso dos simuladores de direção na segurança viária. Desta forma, observa-se que os simuladores representam, de forma dinâmica, os diferentes componentes de uma via simulada, mostrando informações relacionadas à geometria da via e à interação do usuário com o ambiente, refletindo na segurança do tráfego. De acordo com Santos *et al.* (2017), os simuladores de direção apresentam algumas desvantagens: a falta de consequência física, no caso de um acidente, o que pode interferir em alguns casos; o ambiente virtual não ter impacto financeiro para o condutor, o que pode impactar seu comportamento; o fato de que trabalhar com uma base fixa pode aumentar a dispersão dos resultados em razão da falta das acelerações à que o condutor fica submetido; e a falta das acelerações, o que também pode causar enjoos em algumas pessoas, resultando em um aumento de tempo do experimento. A necessidade de modelos veiculares fidedignos, exigindo mão de obra especializada, é outra desvantagem do equipamento.

Segundo Hoffmann e González (2003), na complexa atividade de conduzir um veículo, praticamente todo o conjunto de fatores e processos psicológicos que integram o sistema cognitivo humano entra em funcionamento:

- a) a atividade de dirigir requer que o condutor possua uma correta capacidade perceptiva e atencional, que lhe permita captar o que ocorre ao seu redor e, também, identificar e discriminar estímulos relevantes que definem a situação ou o problema de trânsito que ele deve resolver;
- b) uma vez percebida a situação, o condutor deve fazer uma correta interpretação e avaliação dela;

- c) em seguida, ele deve tomar uma decisão a respeito da ação ou manobra mais adequada, dentre todas as possíveis para a situação ou problema específico que enfrenta;
- d) uma vez escolhida a manobra mais adequada, deve executá-la com a maior rapidez e precisão possível.

A compreensão de como o motorista interage com o veículo e o ambiente é uma tarefa um tanto quanto complexa. Estudos em rodovias demonstraram que existem muitas situações em que os riscos são subestimados ou superestimados por motoristas (WATTS e QUIMBY, 1980; KANELLAIDIS e DIMITROPOULOS, 1994; KANELLAIDIS *et al.*, 2000; *apud* CHARLTON e STARKEY, 2016). Esses autores sugeriram que as diferenças entre o risco real e o risco percebido estavam associadas ao aumento da frequência de acidentes. Dados obtidos por rastreamento ocular, por exemplo, mostraram que motoristas não percebem alguns elementos da rodovia que podem oferecer riscos de acidentes, como acostamentos estreitos e valetas de drenagem. Essa descoberta é suportada pela pesquisa de simuladores de direção mostrando que a manipulação de árvores e barreiras na rodovia não tem efeito significativo na velocidade dos motoristas (BELLA, 2013; *apud* CHARLTON e STARKEY, 2016). Em contrapartida, os motoristas percebem e reagem rapidamente às mudanças nas marcações de linha central e linhas de bordo (CHARLTON e STARKEY, 2011, 2013; *apud* CHARLTON e STARKEY, 2016). Em um experimento sobre o efeito das linhas de centro e bordo sobre a velocidade praticada por motoristas em simulador de direção, Oliveira *et al.* (2018) perceberam que pessoas jovens tendem a dirigir mais rápido em situações em que não há linhas de centro e bordo no cenário da rodovia, enquanto em pessoas mais velhas o efeito é o contrário. Em relação ao gênero, mulheres conduziram mais rápido com a presença das linhas, enquanto homens dirigiram mais rápido sem a presença delas.

A maioria das informações exigidas pelo motorista durante a tarefa de condução é percebida visualmente e uma grande ocorrência de acidentes é devida à percepção errônea das características do alinhamento geométrico da via. Os métodos tradicionais para avaliar a percepção do motorista, tais como o desenho da perspectiva da rodovia e as técnicas de animação por computador, são limitados por causa de condições de experiência muito distantes da condução real. Além disso, eles não permitem a análise das reações do motorista na

percepção visual do cenário rodoviário. Acredita-se que os simuladores de condução interativos sejam o método mais preciso para analisar a percepção do condutor (BELLA, 2005).

Estudos e análise de dados de acidentes indicam que a hora do dia é um fator significativo que afeta a gravidade e a taxa de acidentes, e mostram que a gravidade do acidente é maior durante a noite do que durante o dia (CARE, 2011; IRTAD, 2013 *apud* BELLA *et al.*, 2014). O problema é tão crítico que a legislação sobre segurança rodoviária na Europa (EPC, 2008 *apud* BELLA *et al.*, 2014) exige que os Estados Membros assegurem a "segurança dos usuários das vias e a visibilidade sob diferentes condições, como a escuridão e condições meteorológicas normais" nas auditorias de segurança viária para projetos rodoviários e revisões da infraestrutura rodoviária existente. Bella *et al.* (2014) realizaram estudos em um simulador de direção em que desenvolveram e compararam modelos de velocidade operacional sob diferentes condições de iluminação (diurna e noturna) em condições geométricas diversas. O experimento demonstrou haver diferenças significativas na velocidade dos motoristas, e a velocidade média registrada era menor quando observada no cenário noturno comparada ao cenário diurno (tangentes maiores que 200 m, por exemplo). O estudo constatou que diferentes condições de visibilidade podem afetar a escolha da velocidade operacional.

Estudos relacionados à percepção do motorista em simuladores de direção concentram-se principalmente em curvas horizontais planas, na análise do efeito de elementos como ângulo de deflexão, no comprimento e no raio da curva horizontal, enquanto o efeito de alinhamentos horizontais e verticais combinados fica prejudicado (HASSAN e EASA, 2003). Bella (2005), por sua vez, utilizou a simulação de condução para analisar a percepção dos motoristas sobre alinhamentos geométricos de rodovia com o objetivo de avaliar a possível percepção errônea em condições de curva combinada (alinhamento horizontal e vertical) e verificar a efetividade das principais sugestões para evitar a percepção errada do ambiente rodoviário (por exemplo, curvas horizontais de pequenos raios devem estar associadas a rampas pequenas). Os resultados se mostraram importantes para avaliar o desempenho do condutor e sua percepção do alinhamento rodoviário e evitar combinações geométricas que possam causar efeitos ópticos indesejáveis e reduzir a segurança viária.

Na Holanda, o princípio da "previsibilidade" é um guia importante na melhoria da segurança da rodovia. Esse princípio baseia-se na ideia de que o projeto viário deve ter boa consistência

geométrica, isto é, deve estar de acordo com as expectativas dos usuários da rodovia a fim de evitar erros que poderiam levar a acidentes rodoviários. Para estudar o efeito de um projeto de rodovias previsível no comportamento dos condutores, Aarts e Davidse (2008) examinaram o comportamento dos motoristas quanto à velocidade em rodovias rurais. Para o estudo, foi utilizado um simulador de direção de base fixa. Os resultados mostraram que quanto mais “previsíveis” eram os elementos de um projeto viário, mais homogênea a distribuição de velocidade.

A ideia de que a percepção de risco dos motoristas desempenha um papel importante na orientação de suas escolhas de velocidade na rodovia tem sido fundamental para a pesquisa do comportamento do motorista por muitos anos (GIBSON AND CROOKS, 1938; TAYLOR, 1964; NÄÄTÄNEN e SUMMALA, 1974; WATTS e QUIMBY, 1980; Wilde, 1988; FULLER, 2005 *apud* CHARLTON e STARKEY, 2016). A fim de ampliar o entendimento da relação entre a velocidade escolhida pelos motoristas e o seus níveis de risco percebidos em rodovias, Charlton e Starkey (2016) utilizaram um simulador de direção com o objetivo de manipular elementos do ambiente rodoviário e de observar seus efeitos nas escolhas de velocidade dos motoristas. Os autores concluíram que a curvatura horizontal, a largura da rodovia, a curvatura vertical e a separação do tráfego em circulação são determinantes principais para a percepção de risco em rodovias rurais.

Estudos mostram que os motoristas adotam a velocidade de operação com base na leitura das características da rodovia em vez de na velocidade de projeto (FITZPATRICK *et al.*, 1997; *apud* HASSAN e EASA, 2003). A percepção errônea de diferentes combinações geométricas pode causar efeitos ópticos indesejáveis para os motoristas e afetar a segurança viária. Portanto, a simulação de direção demonstrou ser promissora para analisar o comportamento dos motoristas e a velocidade é uma variável que reflete a reação dos motoristas em diferentes cenários (BELLA, 2005).

## **2.6. ESTUDOS UTILIZANDO AMBIENTES VIRTUAIS: ÓCULOS DE REALIDADE VIRTUAL**

Como na maioria dos casos estudados pela engenharia, a tecnologia pode desempenhar um papel importante na correção dos problemas que caracterizam as soluções tradicionais. Poucos

estudos abordam o uso de novas tecnologias na realização de Auditorias de Segurança Viária em Ambientes Virtuais (ASV-AV), como trabalhos de Chen e Wei (2008); Santiago-Chaparro e Khan (2008); Santiago-Chaparro *et al.* (2011a, 2011b, 2011c), que utilizam equipamentos sofisticados como simuladores de direção realístico 3-D. Porém pouco se explorou testar listas de verificação com os especialistas em uma ASV-AV, o que reafirma o apontado na caracterização do problema na Seção 1.3.

Os ambientes virtuais possuem a característica de simular o mundo real, permitindo que os usuários experimentem a imersão várias vezes. Além disso, em ambiente virtual é possível realizar treinamentos e inspeções com segurança, o que nem sempre é possível no mundo real. Os ambientes virtuais podem ainda ajudar a diminuir os custos dos experimentos, principalmente nos casos em que os equipamentos reais ou os materiais de reposição são muito caros, gerando aplicações mais próximas da realidade (SANTOS, 2006). A realidade virtual surge como uma nova geração de interface, na medida em que, usando representações tridimensionais mais próximas da realidade do usuário, permite romper a barreira da tela, além de possibilitar interações mais naturais (KIRNER e SISCOOTTO, 2007). A Realidade Virtual (RV) é uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, a movimentação e a interação deste em ambientes tridimensionais em tempo real. O sentido da visão costuma ser preponderante em aplicações de realidade virtual, mas os outros sentidos, como tato, audição etc., também podem ser usados para enriquecer a experiência do usuário (KIRNER e SISCOOTTO, 2007).

A Realidade Virtual pode ser classificada, em função do senso de presença do usuário, em imersiva ou não imersiva. A RV é imersiva quando o usuário é transportado predominantemente para o ambiente virtual através de dispositivos multissensoriais, provocando uma sensação de presença dentro do mundo virtual. E é categorizada como não imersiva quando ele é transportado parcialmente ao mundo virtual através de uma janela (monitor ou projeção, por exemplo), mas continua a se sentir predominantemente no mundo real (TORI *et al.*, 2006). No caso de imersão usando o capacete ou entrando em sistemas com múltiplos projetores denominados CAVE (*Cave Automatic Virtual Environment*) (CRUZ-NEIRA, 1992 *apud* TORI *et al.*, 2006), o usuário, ao mover a cabeça para os lados, para cima e para baixo visualiza todo o cenário virtual como se estivesse dentro dele. Em ambos os casos, características específicas dos equipamentos, como som, por exemplo, aumentam o realismo do cenário virtual,

melhorando as condições de imersão. A interface do usuário envolve as ações executadas na sua relação com o ambiente 3D. Entretanto ele pode simplesmente observar o funcionamento do ambiente virtual tendo uma experiência passiva (TORI *et al.*, 2006).

O usuário deve ter a impressão de estar atuando dentro do ambiente virtual, apontando, pegando, manipulando e executando outras ações sobre os objetos virtuais em tempo real. Nos ambientes virtuais, a interação mais simples é a navegação, decorrente da movimentação do usuário no espaço tridimensional através de algum dispositivo, como o mouse 3D, comandos de voz ou gestos detectados por algum dispositivo de captura, resultando na visualização de novos pontos de vista do cenário. Nesse caso, não há mudanças no ambiente virtual, somente um passeio exploratório (KIRNER e SISCOOTTO, 2007).

Conforme mencionado na Seção 2.4, o estímulo visual é quiçá o mais importante, uma vez que por meio dele se recebe a maior parte da informação do entorno rodoviário (BARTMANN, SPIJKERS, & HESS, 1991; KLINE, GHALI, KLINE, & BROWN, 1990; SIVAK, 1996 *apud* CHARLTON *et al.*, 2002). Entretanto o vídeo é um meio de comunicação muito rico, pois através dele é possível mostrar uma vasta gama de informações, visto que ele é composto por várias imagens (*frames*) cuja apresentação sequencial rápida cria o efeito de movimento aos olhos do utilizador. Em vídeos 3-D existem dois pontos de captura que simulam os olhos do utilizador e que capturam imagens com perspectivas distintas. Assim, a reprodução da imagem individualmente para cada olho produz o efeito 3-D, já que o cérebro humano consegue identificar e perceber o efeito tridimensional. A partir dos vídeos gravados em 360° e combinando o uso de dispositivos móveis com kits de óculos de imersão, denominados Óculos de Realidade Virtual (ORV), torna-se possível proporcionar ao utilizador uma experiência bastante imersiva (PINTO, 2016). Com o avanço tecnológico, é possível hoje levar essa imersividade a outros patamares de realismo graças aos dispositivos portáteis de tamanhos reduzidos, cada vez com telas de maior qualidade e melhor resolução. A Figura 2.2. mostra a aplicação de ORV nas salas de aula.





Figura 2.2: Óculos de Realidade Virtual

Fonte: Fillizola e Tech (2019)

Os Óculos de Realidade Virtual têm sido utilizados em diversos estudos em diferentes aplicações de realidade virtual, como em aplicações industriais, médicas e terapêuticas, em arquitetura e projeto, artes e educação (incluindo laboratórios virtuais), visualização e controle de informação e entretenimento (TORI *et al.*, 2006). As aplicações se destacam pelo uso dessa tecnologia por proporcionarem uma interface mais natural e intuitiva (NOGUEIRA, 2013). Tal tecnologia complementa a percepção e interação com o mundo real e permite colocar o usuário em um ambiente realista. O setor de construção é um outro exemplo do emprego dessa tecnologia. O desenvolvimento de soluções é crucial em locais de construção (canteiros de obras), pois a mudança permanente do site (trabalhadores, atividades, local de trabalho etc.) implica que os usuários precisam obter informações permanentemente atualizadas, aumentando a eficiência e a segurança em canteiros de obras (IZKARA *et al.*, 2007).

Velasco *et al.*(2019), por sua vez, investigaram as interações entre os veículos autônomos e usuários vulneráveis (pedestres e ciclistas) utilizando a simulação por Realidade Virtual. Para isso, utilizaram vídeos gravados em 360°, a fim de avaliar o comportamento de travessias de pedestres submetidos a diferentes tipos de cenários e de veículos, cujo objetivo foi analisar sua intenção ao atravessar. Os cenários foram visualizados através de óculos de realidade virtual. Para os autores, as vantagens dos vídeos em 360° são o uso de cenários reais em um ambiente controlado, com baixo custo e alta reprodutibilidade.

Nesse contexto, nota-se a importância de desenvolver estudos que empreguem inspeções de segurança viária em ambientes virtuais, auxiliando as Auditorias de Segurança Viária, pois essa

ferramenta representa uma nova maneira de visualizar elementos de rodovias já construídas (em operação) ou o desenvolvimento de novas aplicações (rodovias em fase de projeto e concepção).

## 2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 2

Neste Capítulo, buscaram-se na literatura informações sobre a contribuição da ASV na segurança viária, incluindo as principais listas de verificação utilizadas. Foi revisado também o estado da arte sobre Auditoria de Segurança Viária em Ambientes Virtuais (ASV-AV), a consistência geométrica e estudos que incluem o comportamento e a percepção de motoristas em ambientes virtuais, utilizando ferramentas como simuladores de direção realísticos tridimensionais e óculos de realidade virtual. O Quadro 2.4 mostra um resumo dos principais elementos encontrados na literatura.

Quadro 2.4: Resumo dos principais elementos estudados

Tema	Principais elementos estudados	Autores
Auditoria de Segurança Viária	Princípios Fundamentais de ASV e <i>checklist</i> considerando os conceitos <i>forgiven road</i>	FHWA (2006); AUSTROADS (2009)
	Faz distinção entre ASV e Revisão de Segurança Viária - RSV	DOT (2014)
	Desenvolveu uma lista de Verificação para a realidade brasileira	Schopf (2006)
	Evidencia a importância de avaliação da percepção da rodovia por todos os usuários e em diferentes condições de luminosidade e clima	Huvarinen <i>et al.</i> (2017)
	Demonstra as características fundamentais de uma ASV	Pietrantonio e Bornshtein (2015)
	Recomendam a abordagem da ASV centrada nos motoristas	Horberry <i>et al.</i> (2014)

<p>ASV em ambientes virtuais</p>	<p>Utilizaram simuladores de condução para realizar auditorias virtuais de segurança viária</p> <p>Concluem que os simuladores de direção podem ser uma ferramenta eficaz no que diz respeito à velocidade de motoristas em ambientes virtuais</p>	<p>Santiago-Chaparro e Khan (2008); Santiago-Chaparro <i>et al.</i> (2011)</p> <p>Bella (2008); Bella (2009)</p>
<p>Consistência Geométrica</p>	<p>Demonstraram haver uma relação inerente entre a consistência de projeto e a frequência de acidentes</p> <p>Concluem que um traçado consistente não afeta a expectativa dos motoristas e garante uma operação segura</p> <p>Introduziram a velocidade como uma das medidas para a avaliação da consistência de projeto</p> <p>Utilizaram o conceito sobre a consistência de projeto baseada no diferencial de velocidade dos sucessivos elementos rodoviários e diferenças entre as velocidades de operação e de projeto</p> <p>As transições entre tangentes e curva representam situações mais críticas, uma vez que os motoristas devem receber informações corretas e antecipadas para se aproximarem de uma curva a uma velocidade adequada</p>	<p>AASHTO (2011); Oh e Mun (2012)</p> <p>Bella e D'Agostini (2010)</p> <p>Lamm <i>et al.</i> (1986); Fitzpatrick <i>et al.</i> (2000); Hashim e Bird (2004)</p> <p>Lamm <i>et al.</i> (1999)</p> <p>AASHTO (2010); Bella <i>et al.</i> (2014)</p>
<p>Comportamento e percepção dos motoristas</p>	<p>O motorista é afetado por diferentes estímulos ao dirigir um carro real, e os estímulos visuais são os mais importantes</p>	<p>Charlton <i>et al.</i> (2002)</p>

	Nas áreas rurais, a velocidade é maior do que nas áreas urbanas	Elvik <i>et al.</i> (2009)
	Demonstraram que a velocidade média registrada em um simulador de direção era menor quando observada no cenário noturno comparada ao cenário diurno	Bella <i>et al.</i> (2014)
	Demonstraram que quanto mais “previsíveis” eram os elementos de um projeto viário, mais homogênea a distribuição de velocidade	Aarts e Davidse (2008)
Realidade Virtual	O sentido da visão costuma ser preponderante em aplicações de realidade virtual	Kirner e Siscoutto (2007)
	Investigaram as interações entre os veículos autônomos e pedestres utilizando Óculos de Realidade Virtual e vídeos 360°	Velasco <i>et al.</i> (2019)

Diante da revisão para a elaboração da proposta do modelo conceitual para a ASV incluindo avaliações em ambientes virtuais, verificou-se que a lista de verificação da Austroads (2009) abrange de forma mais completa itens de segurança que consideram possíveis erros dos motoristas para sua concepção, em que dispositivos de contenção e áreas livres são incluídos no *checklist*. Tal lista também leva em consideração itens relacionados a usuários mais vulneráveis, como pedestres e ciclistas.

Os resultados dessa revisão bibliográfica se mostraram importantes, pois evidenciam a necessidade de se avaliar o desempenho do condutor e sua percepção sobre elementos da via e combinações geométricas inesperadas que possam causar efeitos ópticos indesejáveis e ocasionar mudanças de comportamento refletindo em variação de velocidade, prejudicando assim a segurança da via. Também se observou uma lacuna nos procedimentos que auxiliam os técnicos em segurança viária a aplicarem os conceitos fundamentais de ASV em conjunto com dados sobre a consistência do projeto, seja com base na velocidade de operação prevista (para novas rodovias) ou na velocidade de operação praticada (para rodovias existentes), o que será abordado nesta tese conforme as descrições dos Capítulos seguintes.

## CAPÍTULO 3

---

### **3. MODELO PARA AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA INCLUINDO AVALIAÇÕES EM AMBIENTES VIRTUAIS (ASV-HÍBRIDA)**

O objetivo principal deste Capítulo é apresentar um procedimento abrangente de ASV levando em consideração tanto a análise de técnicos especialistas em segurança viária quanto a percepção de usuários condutores. Para isso, propõe-se um método que empregue o uso de novas tecnologias, como os óculos de realidade virtual – ORV e o simulador de direção realístico. Ressalta-se ainda que nas Auditorias de Segurança Viária tradicionais, embora vários elementos de projetos sejam avaliados, a análise combinada dos alinhamentos horizontal e vertical que afetam diretamente a consistência geométrica do projeto não é feita, ou seja, a avaliação explícita da consistência do projeto não faz parte do método tradicional de ASV, conforme demonstrado no Capítulo 2.

Para atingir o objetivo, o método desenvolvido fundamentou-se em procedimentos de ASV que incluem, de modo complementar, avaliações em ambientes virtuais e análise da consistência do projeto, fator importante para analisar o comportamento dos motoristas diante dos elementos geométricos da via. Para tal, utilizaram-se os princípios de ASV convencional como fundamentação teórica do estudo, com o intuito de agregar as diversas particularidades de ASV para ambientes virtuais.

Neste Capítulo é descrito, portanto, o procedimento para Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H) incluindo avaliações em ambientes virtuais, de modo a agilizar e aumentar a segurança dos auditores (que ficariam expostos ao tráfego por menos tempo) e diminuir o tempo e os custos das auditorias, contribuindo com a segurança viária dos usuários da via, simplificando o processo de ASV sem perder a qualidade no que concerne às auditorias tradicionais.

### 3.1. MÉTODO PROPOSTO

O desenvolvimento do método de ASV-H foi dividido em 10 (dez) Etapas descritas a seguir.

#### **Etapa 1: escolha da equipe**

Como o objetivo da ASV é auditar com segurança os projetos e as informações básicas e tirar conclusões sobre o desempenho de segurança e o potencial de acidentes na rodovia, a ASV-H deve ser realizada por uma equipe independente do projeto e da manutenção da rodovia. Vale ressaltar que esta Etapa não difere da ASV convencional.

Recomenda-se que seja uma equipe multidisciplinar para permitir que as avaliações da segurança sejam realizadas sob uma perspectiva diferente da tipicamente utilizada nos projetos. A equipe deve incluir engenheiros de segurança rodoviária, engenheiros de projeto rodoviário, equipes de manutenção e policiais. Especialidades outras devem ser adicionadas ao time conforme necessário. Os membros da equipe não devem estar envolvidos na concepção ou na manutenção da instalação que está sendo examinada, para que eles possam ter um ponto de vista objetivo (não tendencioso e independente) (DOT, 2014). Assim como a ASV tradicional, recomenda-se que a equipe de ASV-H tenha, no mínimo, 3 (três) auditores experientes. Entretanto, o tamanho ideal da equipe de auditoria irá depender da complexidade do segmento de rodovia a ser analisado (FHWA, 2006).

#### **Etapa 2: fases que antecedem as inspeções**

Uma ASV-H realizada em uma rodovia rural construída (em operação) deve envolver as seguintes fases:

- a) reunião para nivelamento da equipe, a fim de equalizar o nível de conhecimento dos auditores. É necessário que seja realizado nivelamento sobre ASV para que os auditores se familiarizem com os itens de verificação a serem respondidos (*checklist*);

- b) reunião inicial entre a equipe de auditoria e o destinatário do relatório de auditoria;
- c) avaliação dos documentos, projetos e outras informações básicas.

Antes de inspecionar o local, Austroads (2009) recomenda listar possíveis problemas a serem verificados e examinar documentos como projetos da rodovia, dados de tráfego e de acidentes, notas de campo e outras informações a serem avaliadas, usando as listas de verificação conforme necessário. Os projetos a serem analisados compreendem:

- a) **projeto de sinalização horizontal, vertical e dispositivos de segurança** – esses projetos devem ser analisados sob a ótica do usuário, isto é, deve-se verificar qualquer elemento que possa confundir o usuário e causar variações de velocidade (e, conseqüentemente, acidentes). A ASV não é correção de projeto, porém essa análise visa antecipar quaisquer problemas antes de realizar as inspeções (*in loco* e virtuais). Também se deve checar se os projetos atendem aos conceitos da “rodovia que perdoa” (“*forgiving road*”) e às normas vigentes de segurança viária, no caso brasileiro, a ABNT NBR 15486:2016 (ABNT, 2016);
- b) **projeto geométrico da rodovia** – curvas sucessivas com variações significativas nos raios das curvas e sucessão de curvas horizontais e verticais devem ser analisadas e registradas (o local destas) para posteriores inspeções;
- c) **projeto de drenagem e obras de arte corrente** – os auditores devem checar se o projeto de drenagem e obras de arte corrente está de acordo com o conceito “*forgiving road*” e com as normas vigentes de segurança viária. No caso brasileiro, a norma atual da ABNT NBR 15486:2016 (ABNT, 2016);
- d) **demais informações** – devem ser analisados documentos e projetos em que constem dados de localização de elementos que possam afetar a segurança dos usuários. Esses documentos deverão ser checados a fim de analisar o potencial

de acidentes na via. Ex.: localização de passarelas, túneis, interseções, tipo de pavimento, rugosidade do pavimento etc. Também devem ser considerados dados de tráfego (e composição), o volume diário médio de veículos – VDM, dados sobre acidentes no trecho a ser analisado, informações sobre ocupações lindeiras etc.

Convém ressaltar que esta Etapa também não difere da ASV convencional.

### **Etapa 3: geração de cenários**

- a) **vídeos em 360° da rodovia** – os vídeos devem ser gravados em 360° nas faixas do bordo direito e esquerdo da rodovia. Para isso, uma câmera que realize filmagens em 360° deve ser fixada no teto de um veículo de passeio, no lado externo (para que não haja interferências/obstruções nas imagens). Se houver necessidade de realizar filmagens em veículos maiores (caminhões), a câmera também deve ser instalada no teto externo do veículo. A Figura 3.1 mostra uma imagem capturada através de um modelo de câmera da Samsung - O Gear 360.



Figura 3.1: Câmera Samsung - Gear 360

Fonte: Internacional (2017)

Os vídeos podem ser gravados por qualquer motorista habilitado e não é necessário ter experiência em segurança viária. Eles devem ser gravados em uma velocidade constante igual ou inferior a 50 km/h (para não prejudicar a qualidade das imagens), desde que seja respeitada a velocidade mínima da via, isto é, desde



que a velocidade não seja inferior à metade da velocidade máxima permitida. Se houver necessidade de realizar as filmagens em velocidades superiores, estas devem ser realizadas com velocidade constante. A equipe de auditoria deve informar, excepcionalmente, algum local fora do eixo da rodovia que necessite de filmagens adicionais. Esses locais devem ser escolhidos previamente durante a fase de reunião inicial e de análise dos documentos.

As filmagens devem ser realizadas em períodos diurno e noturno, preferencialmente em diferentes condições climáticas (chuva ou neblina – condições que ofereçam riscos para os usuários). Se a rodovia estiver localizada no sentido Leste-Oeste, que possa influenciar na percepção dos elementos da via (ex. cegueira pelo sol próximo ao horizonte), ela deve ser filmada em horário crítico. Como critério de horários de filmagem, considerar também a influência de objetos localizados próximos da rodovia (levar em consideração se algum fator cria ambiguidade na percepção de situação rodoviária pelos usuários da rodovia, o que pode levar a acidentes);

- b) **geração de cenário em 3-D da rodovia para simuladores de direção realístico** – tendo por base elementos existentes na rodovia como relevo, árvores, *as built* dos projetos de sinalização horizontal, vertical e dispositivos de segurança, e em conjunto com o projeto geométrico da rodovia (perfil e planta) e a filmagem do trecho (para definir elementos como textura dos elementos presentes), constroem-se os cenários virtuais da rodovia através de software especializado (CASTILLO RANGEL, 2015; ANTT, 2016). Tal procedimento é necessário para se obter o perfil de velocidade dos motoristas através de simulador de direção realístico. A Figura 3.2 ilustra um trecho de curva à esquerda construído através do programa *VTD (Virtual Test Drive)*.



Figura 3.2: Cenário virtual de curva à esquerda

Fonte: ANTT (2016)

#### **Etapas 4: inspeção do local**

Após o planejamento dos principais pontos de parada, o auditor deverá realizar as inspeções em duas Etapas:

- a) **inspeção virtual** – com o auxílio de equipamentos como óculos de realidade virtual – ORV, o auditor inspeciona o local virtualmente através de vídeos gravados em 360° e por meio de software de realidade virtual compatível com os óculos de imersão e com o sistema operacional móvel ou PC utilizado, propiciando a completa imersão do auditor. Pode-se citar como exemplo o *Samsung Gear VR*. Com o objetivo de facilitar a inspeção dos elementos auditados, um *checklist* preparado para determinado fim será utilizado (ver Apêndice D). Como sugestão, o auditor poderá realizar as inspeções virtuais de acordo com os grupos da lista de verificação, retirar os óculos de imersão e, posteriormente, preencher o *checklist*. Caso o auditor prefira, pode realizar primeiramente as inspeções quantas vezes julgar necessário e, em seguida, sem os óculos de realidade virtual, preencher o *checklist*. O auditor poderá optar pelo procedimento que melhor se adequar nessa Etapa de inspeção e preenchimento do *checklist*, isto é, pela ordem mais adequada de aplicação;

- b) **inspeção *in loco*** – através de inspeções no local, o auditor preenche o *checklist* dos itens que não poderão ser respondidos por viagens virtuais (ver Apêndice D). Itens que geraram dúvidas quanto às inspeções virtuais devem ser analisados nesta Etapa. Vale destacar que ela não difere da ASV convencional.

### **Etapa 5: definição dos Índices de Verificação de Auditoria de Segurança Viária – IVASV**

Como a tarefa dos auditores é determinar se os elementos rodoviários são perigosos ou potencialmente perigosos para todos os usuários, independentemente do grau de conformidade deles com os códigos e padrões aplicáveis (HUVARINEN *et al.*, 2017), torna-se importante analisar a evolução dos itens avaliados nas inspeções para poder compará-los dentro de sua própria perspectiva. No entanto, embora a maioria dos itens de verificação (integrantes do *checklist* apresentado na Seção 3.4) sejam assinalados com “X”, isto é, indicando se há ou não determinado elemento na rodovia, esta tese propõe que cada item de verificação (de cada grupo do *checklist*) seja respondido dentro de um índice que compreende uma escala de 1 a 5, onde 1 corresponde à ausência total de determinado item do *checklist* e 5 a que determinado item do *checklist* encontra-se em sua totalidade. A gradação das escalas do IVASV é mostrada na Figura 3.3, a seguir.

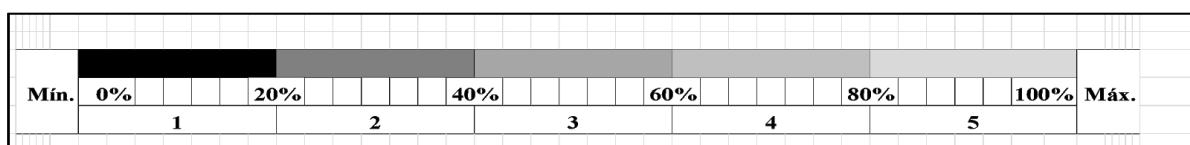


Figura 3.3: Gradação das escalas dos itens de verificação

Nela:

- a)  $IVASV = 1$ , equivale a dizer que determinado item está ausente (ou corresponde a menos do que 20 %) no trecho de rodovia analisado;
- b)  $IVASV = 2$ , equivale a dizer que a gradação sobre determinado item se encontra entre 20 % a 40 % no trecho de rodovia analisado;

- c)  $IVASV = 3$ , equivale a dizer que a gradação sobre determinado item se encontra entre 40 % a 60 % no trecho de rodovia analisado;
- d)  $IVASV = 4$ , equivale a dizer que a gradação sobre determinado item se encontra entre 60 % a 80 % no trecho de rodovia analisado;
- e)  $IVASV = 5$ , equivale a dizer que a gradação sobre determinado item se encontra na sua totalidade (ou entre 80 % a 100 %) no trecho de rodovia analisado.

Assim, com os dados obtidos do  $IVASV$  de cada item de verificação  $i$  pertencente a cada grupo de verificação  $j$  do *checklist*, o Índice Médio de Verificação de Auditoria de Segurança Viária é dado por:

$$IMVASV_i^j = \sum_{m=1}^n \frac{IVASV_i^j m}{n} \quad (3.1)$$

Em que:

$IMVASV_i^j$  = Índice Médio de Verificação do item  $i$  pertencente ao grupo  $j$ ;

$IVASV_i^j m$  = Índice de Verificação do item  $i$  pertencente ao grupo de verificação  $j$  atribuído pelo auditor  $m$ ;

$n$  = número de auditores.

Ainda, de posse dos dados do  $IMVASV$  de cada item de verificação  $i$  pertencente ao grupo de verificação  $j$ , calcula-se o Índice Médio do grupo de verificação  $j$  através da Equação 3.2:

$$IGASV_j = \sum_{i=1}^k \frac{IMVASV_i^j}{k} \quad (3.2)$$

Em que:

$IGASV_j$  = Índice Médio do grupo de verificação  $j$  pertencente ao *checklist*;

$IMVASV_i^j = \text{Índice médio de verificação do item } i \text{ pertencente ao grupo de verificação } j;$

$k =$  número total de itens pertencentes ao respectivo grupo de verificação analisado.

Para acompanhar a evolução dos índices IMVASV e IGASV, propõe-se construir diagrama de caixas (*boxplot*) a partir dos dados registrados na primeira inspeção. Esse tipo de gráfico é muito útil em análises de pesquisas laboratoriais, pois capta importantes aspectos de um conjunto de dados. A caixa do gráfico é construída pelo primeiro quartil, pelo segundo quartil (mediana) e pelo terceiro quartil. O *boxplot* também geralmente é utilizado para variáveis quantitativas contínuas. A representação gráfica do *boxplot* permite visualizar, além das medidas de posição, a variabilidade e a simetria dos dados. Também é útil para localizar e detectar diferenças nos comportamentos de grupos de variáveis em relação à variabilidade, simetria e distribuição, bem como para averiguar a existência de valores dispersos no conjunto de dados (GRANATO *et al.*, 2018). Sugere-se também que sejam inseridas imagens e observações aos itens avaliados na inspeção. Para isso, o auditor fará uso de um aplicativo móvel, o qual será discutido na Seção 3.4.1. Essa prática tem por objetivo facilitar a redação do relatório final de ASV.

Recomenda-se que a unidade de ASV seja realizada de acordo com a Metodologia de Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2017), isto é, em segmentos de até 10 km de extensão, identificados pelo nome da rodovia e pelas marcações quilométricas próprias de cada Unidade da Federação (UF) na qual está inserido o traçado da rodovia. Assim, quando há mudança de rodovia e/ou de UF, a unidade de pesquisa é necessariamente “encerrada” naquele ponto, podendo ser inferior a 10 km, nesse caso.

#### **Etapa 6: definição do perfil de velocidade dos motoristas no trecho da rodovia**

A fim de acrescentar o componente humano no processo de ASV em rodovias existentes, esta Etapa tem como objetivo traçar o diagnóstico do comportamento dos motoristas que trafegam pela via, de modo a corroborar o diagnóstico dos problemas existentes encontrados na inspeção. O perfil de velocidade da rodovia é de importância fundamental, pois introduz a variável “percepção do usuário” sobre os elementos da via ao processo de auditoria. O perfil da velocidade pode ser obtido de três maneiras:

- a) perfil da velocidade praticada pelos condutores – comportamento revelado dos motoristas obtido através de modelos existentes para a rodovia;
- b) se não houver modelos existentes na via, o perfil poderá ser obtido através de experimentos utilizando simuladores de direção realístico 3-D;
- c) se não houver cenário virtual e simuladores de direção 3-D, o perfil de velocidade poderá ser obtido através de levantamento em campo por meio de estudos realísticos. Para isso, utiliza-se veículo instrumentado, dotado de equipamento para medição e registro da velocidade ao longo de pontos da trajetória do veículo no trecho de interesse. A Figura 3.4 ilustra um sistema de coleta de dados por intermédio de um veículo instrumentado.

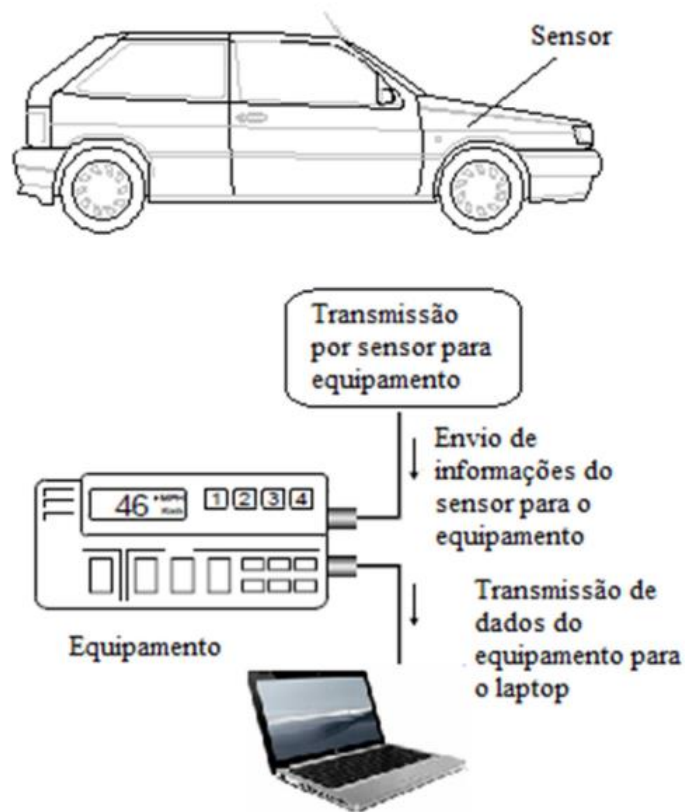


Figura 3.4: Sistema de coleta de dados pelo método do veículo instrumentado

Fonte: FHWA (1998) *apud* Gonçalves (2011)

## **Etapa 7: análise da consistência do projeto**

Através do perfil de velocidade praticado pelos condutores, deve-se analisar a consistência do projeto da rodovia. Conforme discutido na Seção 2.3, esta tese sugere que seja adotado o Critério de Segurança II (CS II) proposto por Lamm *et al.* (1999), que visa analisar a consistência da velocidade operacional, ou seja, a análise é feita com base na diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos (curva-curva, tangente-curva e curva-tangente) do segmento. A classificação de um segmento de rodovia dá-se em três casos distintos (LAMM *et al.*, 1999; GONÇALVES, 2011):

- a) caso 1 – projeto bom: o módulo da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos não deve ser superior a 10 km/h. Segmentos de rodovia que se enquadram neste caso apresentam consistência no alinhamento horizontal quanto à sucessão de curvas e tangentes e não necessitam de correções. Este caso representa uma situação ideal entre o projeto e a utilização da rodovia;
- b) caso 2 – projeto regular: o módulo da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos deve ocorrer entre 10 km/h e 20 km/h. Segmentos de rodovias que se enquadram neste caso apresentam problemas de inconsistência geométrica;
- c) caso 3 – projeto fraco: o módulo da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos é superior a 20 km/h. Segmentos de rodovias que se enquadram neste caso estão com sérios problemas de dimensionamento e apresentam problemas de inconsistência geométrica.

A Figura 3.5 mostra um exemplo de ilustração da análise da consistência geométrica proposto por García (2008) e adaptado para este trabalho, segundo o critério de segurança II, em que deverão ser identificados os valores dos elementos de projeto máximos e mínimos, de forma a identificar reduções bruscas de velocidade. Como convenção, na projeção do alinhamento horizontal, quando o valor do raio for igual a 0 (zero), significa que o trecho é uma tangente; quando o valor for menor que 0, a curva é à direita; e quando for maior que 0, a curva é à esquerda.

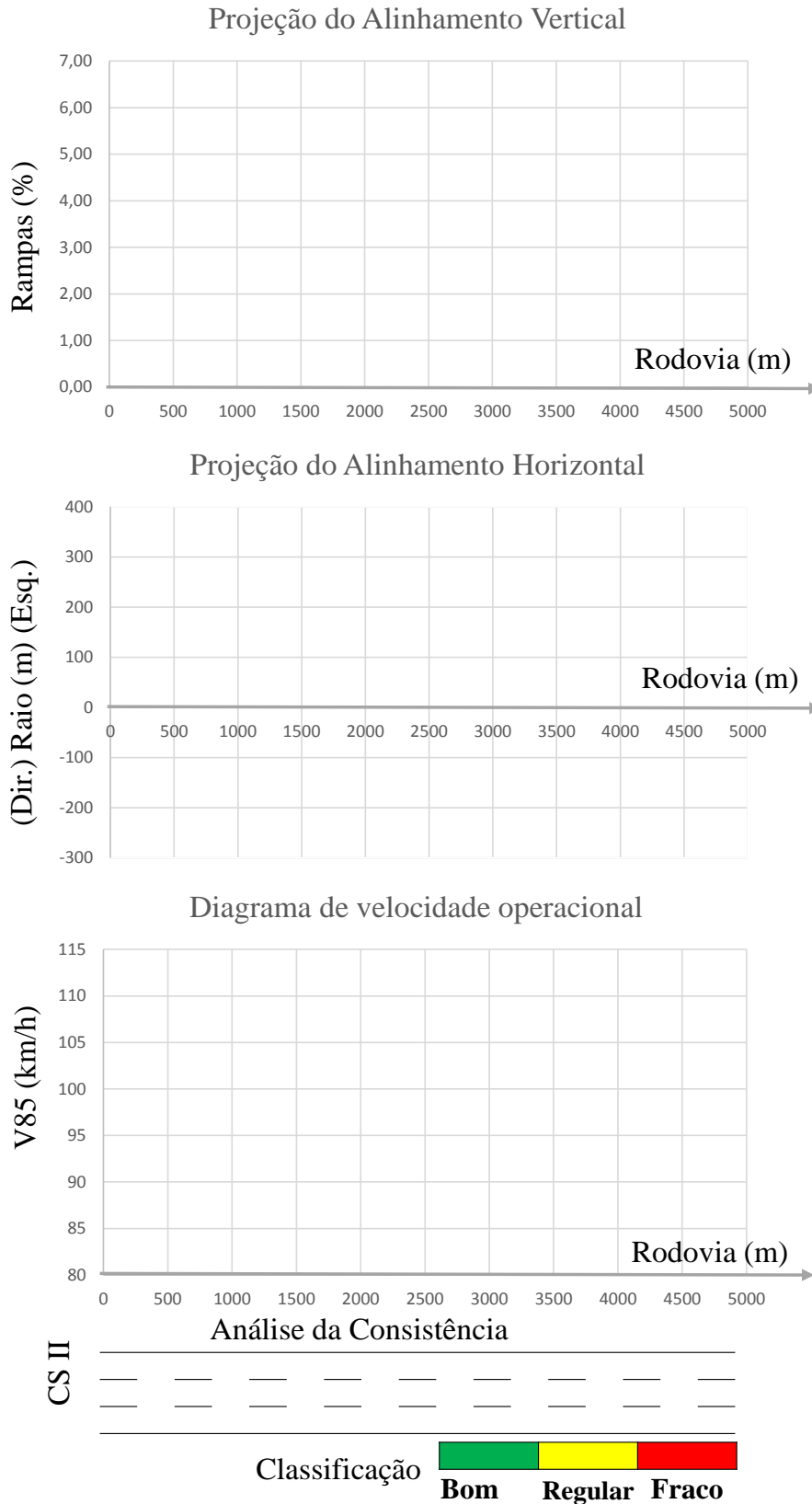


Figura 3.5: Exemplo de ilustração para análise de consistência de projeto

Fonte: Adaptado de García (2008)



### **Etapa 8: elaboração do relatório final**

Esta Etapa consiste da análise, da discussão para medidas mitigadoras de acidentes e da elaboração do relatório final. De posse da média das respostas dos índices de verificação para cada item e grupo de verificação de ASV (IMVASV e IGASV) e em conjunto com a análise da consistência do projeto, o auditor terá informações suficientes para elaborar o relatório final indicando os potenciais perigos da via para a implementação de suas recomendações, contra o cenário alternativo “*do-nothing*” (nada fazer). Recomenda-se que seja realizada conforme metodologia de Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2017), isto é, em segmentos de até 10 km de extensão.

### **Etapa 9: reunião final para discutir as recomendações**

De posse das proposições de medidas mitigadoras apontadas no relatório final e em conjunto com os resultados de percepção de usuários quanto às condições de segurança da via obtidos por meio de análise da consistência geométrica, os auditores reúnem-se com o órgão contratante do processo de ASV para apresentar o relatório final. Esta Etapa é fundamental, pois pode auxiliar o contratante quanto à tomada de decisões sobre medidas de segurança da rodovia e sanar eventuais interpretações conflitantes que possam surgir.

### **Etapa 10: Prontuário da Auditoria de Segurança Viária – PASV**

Esta tese propõe que seja realizado um Prontuário da Auditoria de Segurança Viária – PASV da rodovia. Um prontuário é um sistema organizado de forma a conter uma memória dinâmica da rodovia e informações pertinentes à segurança viária. Os documentos analisados na Etapa 2 devem ser organizados e mantidos atualizados toda vez que houver alteração nos elementos da via (e que possa afetar o IVASV realizado). Também, os valores dos índices IMVASV (para cada item de verificação do *checklist*) e IGASV (para cada grupo do *checklist*) devem ser registrados no PASV. Recomenda-se que os índices IMVASV e IGASV sejam analisados com uma periodicidade anual, a fim de que os órgãos com circunscrição sobre a via possam comparar a sua evolução e estabelecer metas futuras a serem atingidas.

O PASV tem a finalidade de contribuir com a gestão da auditoria de segurança viária; com a inclusão de acompanhamento do histórico das auditorias ao longo dos anos; com documentos iniciais (de projeto); e com os projetos das alterações da via, como terceira faixa, duplicação, interseção, sinalização de obras na pista, etc. Para elaborar o prontuário, basta providenciar e organizar todos os documentos citados na forma digital ou impressa (exemplos: pastas, definidas de acordo com os critérios do órgão gestor) para gestão adequada dessas informações e acompanhamentos periódicos das auditorias ao longo dos anos.

Com base nos procedimentos descritos, foi elaborado um procedimento para realizar a Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H) incluindo análises em ambientes virtuais, conforme ilustrado na Figura 3.6.

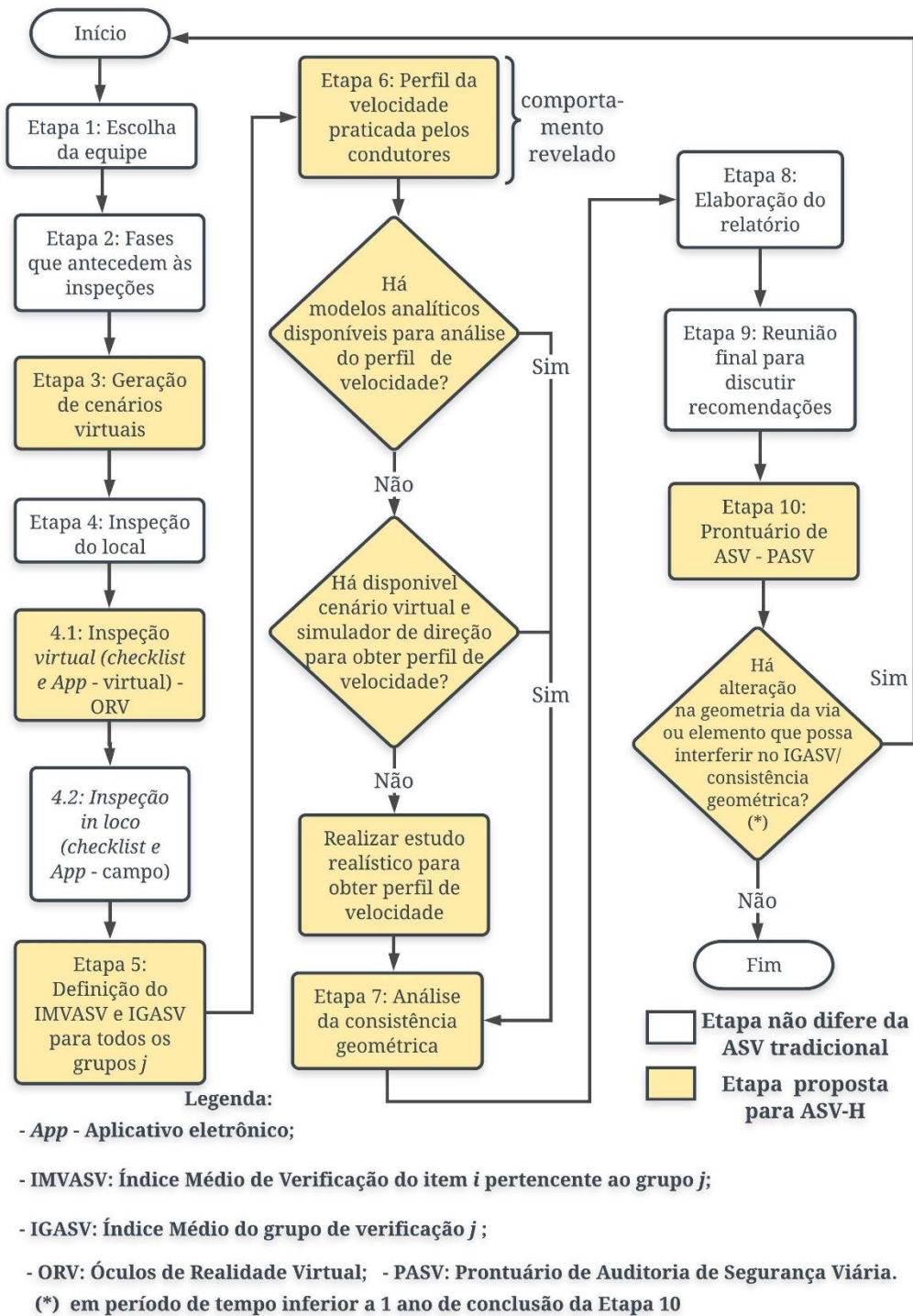


Figura 3.6: Modelo conceitual para ASV-H para cada unidade da via auditada

Importante destacar que, se ao longo do tempo houver alteração na geometria da rodovia ou em algum elemento que possa interferir no Índice Médio do grupo de verificação *j* (IGASV) ou na consistência geométrica da rodovia, recomenda-se iniciar o processo novamente, tornando o modelo dinâmico e atualizado.

## 3.2. DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Com base nos objetivos da tese e na definição do modelo proposto a ser utilizado, foram desenvolvidos instrumentos de forma a tornar ágil e fácil a coleta de dados nas rodovias rurais em operação. O objetivo desta Seção foi desenvolver e analisar o funcionamento de um aplicativo móvel denominado *CheckOpApp* para ser utilizado em inspeções de suporte para subsidiar Auditorias de Segurança Viária de rodovias em operação. Para atingir esse objetivo, as seguintes fases foram propostas: i) definir o *checklist* para inspeção de rodovias em operação; ii) testar a aplicabilidade e a funcionalidade do aplicativo em uma rodovia brasileira em operação.

### ***3.2.1 Desenvolvimento de lista de verificação para inspeções de segurança em ambiente virtual***

As listas de verificação, ou *checklists*, são formulários que auxiliam o auditor a identificar deficiências de segurança na rodovia de forma ordenada e sistemática. Elas devem conter os aspectos relevantes a serem considerados, relacionados à segurança viária e que servem de apoio ao auditor, a fim de assegurar que todas as características importantes sejam verificadas. As listas de verificação são de grande importância e amplamente empregadas, pois auxiliam a memória dos auditores para que se certifiquem de que nada tenha sido esquecido no processo de ASV. Para apoiar as inspeções de campo quando da realização de auditorias na fase de operação, há diferentes listas de verificação disponíveis na literatura, como as propostas por FHWA (2006), Schopf (2006), Austroads (2009), dentre outras. Considerando que o Brasil não possui ainda uma lista de verificação oficial utilizada pelos órgãos rodoviários, e com base no estudo desenvolvido por Assunção (2015) voltado para Etapas de projeto, foi elaborada uma lista de verificação para rodovias em operação bem como a sua versão para coletar os dados também em ambientes virtuais.

Inicialmente, a partir das listas de verificação de FHWA (2006), Schopf (2006), Austroads (2009) e Assunção (2015), foi estruturada uma lista de verificação composta de 13 grupos e totalizando 237 itens de avaliação em campo. Essa lista foi submetida a 3 (três) especialistas

com *expertise* em segurança viária, sendo um auditor da *International Road Federation* (IRF) e 2 (dois) professores universitários que são pesquisadores na área de segurança viária e auditoria de segurança viária. Os especialistas tinham experiência média em segurança viária de 11,7 anos, mediana de 15 anos e desvio padrão de 10,4 anos ( $\bar{x} = 11,7 \text{ anos}$ ,  $\tilde{x} = 15,0 \text{ anos}$  e  $S = 10,4 \text{ anos}$ ). Quanto a realizações de ASV, somente o auditor do *IRF* possuía cinco (5) anos de experiência. O grupo foi solicitado a analisar a estrutura proposta quanto à clareza, adequação aos termos técnicos e à realidade rodoviária brasileira. Nessa Etapa, os especialistas poderiam sugerir o acréscimo de algum item que consideraram importante e sugerir ajustes na descrição de algum item para torná-lo mais compreensível ou adequado à linguagem técnica da área. Por fim, os especialistas foram questionados sobre a viabilidade de realizar a avaliação de cada um dos itens da lista proposta em ambiente virtual, devendo responder apenas se concorda ou não.

A partir das informações obtidas junto aos especialistas, a lista de verificação foi ajustada e concluída resultando em 12 grupos e 234 itens de avaliação, conforme disposto nas 3 primeiras colunas da Tabela 3.1. A Tabela 3.1 traz também, para cada grupo da lista de verificação, o número de subitens considerado pelos especialistas como adequado para ser inspecionado em ambientes virtuais, sem prejuízo da análise. Como pode ser observado, 11 dos 12 itens dos grupos tiveram a maioria dos itens considerados adequados a inspeções em ambiente virtual, totalizando 81,6% (ver 4ª coluna da Tabela 3.1). Apenas o grupo 9, referente aos elementos de pavimento, teve a maioria dos itens recomendados para inspeção somente *in loco*.

Tabela 3.1: Resumo da lista de verificação (LV) proposta

Grupos	Título do Grupo	Nº total itens	Nº itens AV <sup>(1)</sup>	Nº itens <i>in loco</i> <sup>(2)</sup>	Resposta preponderante <sup>(3)</sup>
1	Alinhamento rodoviário e Seção transversal	30	26	4	Virtual
2	Faixas auxiliares	10	10	0	Virtual
3	Interseções	18	14	4	Virtual
4	Iluminação e sinalização vertical/semafórica	38	31	7	Virtual
5	Sinalização horizontal e delineamento	23	22	1	Virtual

6	Dispositivos de contenção e zonas livres de obstáculos	28	18	10	Virtual
7	Pedestres e ciclistas	19	16	3	Virtual
8	Pontes e bueiros	10	9	1	Virtual
9	Pavimento	7	1	6	<i>In loco</i>
10	Estacionamento e veículos pesados	13	11	2	Virtual
11	Drenagem superficial	5	3	2	Virtual
12	Diversos	33	30	3	Virtual
Total		234	191	43	-

<sup>(1)</sup> Número de subitens do grupo adequado para ser inspecionado em ambiente virtual.

<sup>(2)</sup> Número de subitens do grupo inadequado para ser inspecionado em ambiente virtual, ou seja, deve ser inspecionado exclusivamente *in loco*.

<sup>(3)</sup> Tipo de resposta preponderante para o grupo.

A consulta aos especialistas resultou, ainda, na sugestão de elementos complementares, como pode ser observado no APÊNDICE A. Um exemplo foi a inclusão de itens de verificação que levassem em consideração aspectos que pudessem causar variações bruscas na velocidade praticada pelos condutores e de aspectos relacionados a falhas humanas no processo de condução, como o conceito das “rodovias que perdoam” (“*forgiving roads*”). Esse conceito pressupõe a concepção do espaço lateral da via de modo a minimizar o agravamento de acidentes resultantes de saída de pista (ABNT, 2016). Dessa forma, para viabilizar a proteção prevista, o projeto da lateral da rodovia passou a integrar o próprio projeto da rodovia (AASHTO, 2002 *apud* ANDRADE, 2011). A versão final da lista de verificação desenvolvida nesta tese é apresentada no APÊNDICE D.

### 3.2.2 Desenvolvimento do aplicativo *CheckOpApp*

O aplicativo *CheckOpApp* tem como objetivo auxiliar a realização da ASV por meio da identificação e do preenchimento das listas de verificação (*checklists*) sobre a inspeção da segurança da via/rodovia em operação visando à prevenção e à redução de acidentes, além da automatização dos processos de auditoria, permitindo a inserção de dados multimídia. O aplicativo *CheckOpApp* foi desenvolvido para smartphones e *tablets* com sistema operacional

móvel do *Google (Android)*. Esse aplicativo foi desenvolvido utilizando ferramentas do projeto ODK (*Open Data Kit*).

A comunidade *OPEN DATA KIT (ODK)* produz e mantém softwares livres para a coleta de dados em locais de recursos limitados. Utilizar softwares ODK permite flexibilidade na entrega de um projeto que utilize questionários ou listas de verificação, uma vez que preza pela habilidade do administrador de manter controle/sigilo sobre os dados, além de sua natureza *open source* permitir que suas aplicações sejam modificadas para atender a usos específicos. A quantidade de softwares disponibilizada pelo projeto ODK é extensa, e para o *CheckOpApp* são usadas duas aplicações de forma majoritária:

- *ODK-Collect* – aplicação *Android*, desenvolvida em Java, responsável por instalar o questionário no smartphone, por apresentar a interface do formulário mesmo em locais sem acesso à internet e por fazer o envio das respostas para o *ODK-Aggregate*. Esse aplicativo foi modificado e renomeado para *CheckOpApp* para atribuir identidade ao projeto.
- *ODK-Aggregate* – aplicação Java que armazena, gerencia e apresenta formulários *Xform*. O *Aggregate* é um servidor projetado para operar 24 h, e acessível pela internet. Ele é parte integral do projeto, sendo responsável por armazenar e proteger os dados de resposta do formulário. Os dados mantidos nesse banco de dados podem ser exportados.

Além dessas duas aplicações, foi desenvolvida uma planilha Excel<sup>®</sup> que faz uso da linguagem VBA para tratar os dados exportados do *Aggregate*. Todos esses recursos juntos permitem, de maneira prática, implementar projetos que envolvam o emprego de questionários ou *checklists* de pequeno ou médio porte.

Os itens da lista de verificação do *CheckOpApp* estão disponibilizados em páginas dentro do aplicativo, sendo possível navegar entre elas usando as setas dispostas na parte inferior. Uma das vantagens do aplicativo é a sua funcionalidade *off-line*, que permite a coleta de dados em locais com pouco ou nenhum sinal de internet, como é o caso de muitas rodovias no país.

Conforme mencionado na Seção 3.1, cada item de verificação do *checklist* está configurado para ser respondido dentro de uma escala de 1 a 5. Essa informação encontra-se na tela de

abertura do aplicativo, onde é possível navegar entre os grupos do *checklist* usando as setas na parte inferior dele (Figura 3.7).

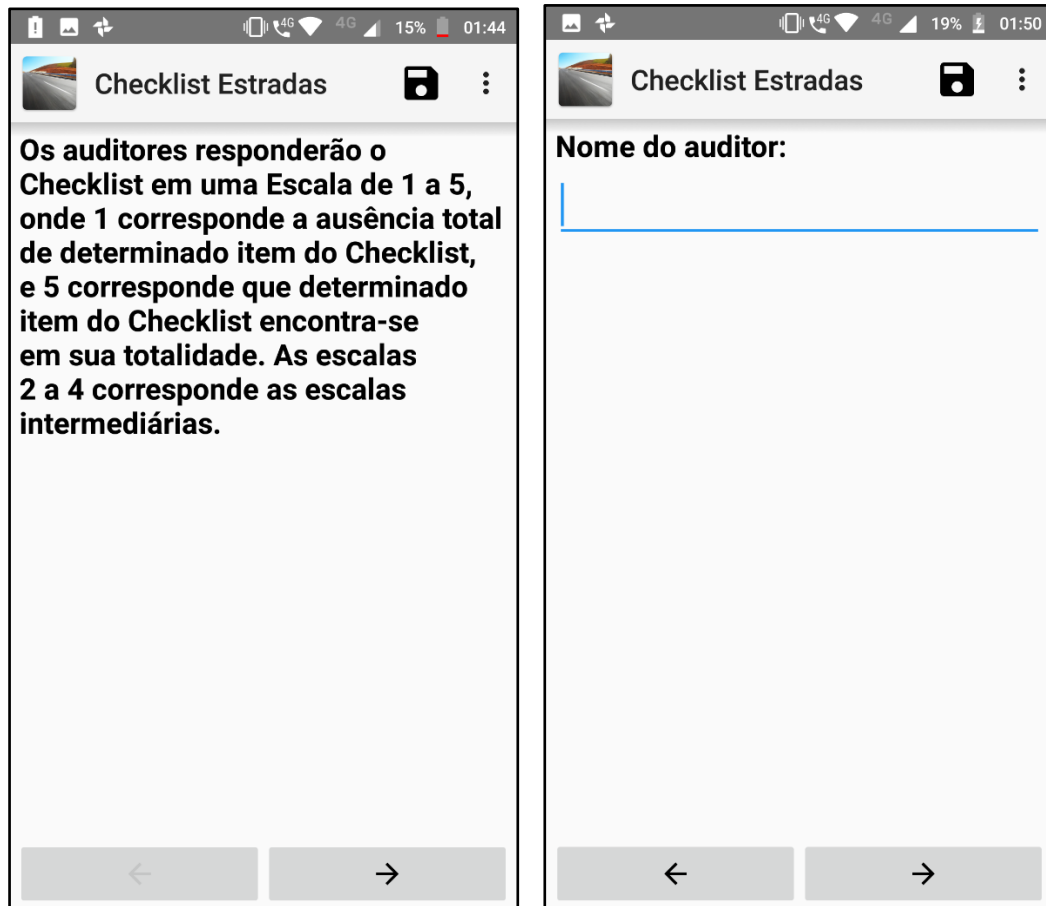


Figura 3.7: Tela de Preenchimento do aplicativo *CheckOpApp*

Para iniciar a coleta de dados de inspeção em campo com o *CheckOpApp*, o especialista/auditor deve preencher o campo de identificação, colocando, por exemplo, seu nome ou um número de registro definido nos procedimentos da equipe. As informações iniciais a serem preenchidas para cada trecho de inspeção são a velocidade da rodovia, o local (nome da rodovia, km inicial e final, sentido), a classe de projeto da rodovia, o tipo de pista (simples ou dupla) e a natureza da ocupação do solo no trecho (urbano ou rural). Na sequência, os grupos do *checklist* são exibidos e o auditor seleciona os grupos que deseja preencher. Ao finalizar aquela página, ele poderá continuar percorrendo o formulário pelas setas dispostas na parte inferior da tela (Figura 3.8). Terminado o preenchimento do grupo selecionado, o auditor pode voltar para o menu dos grupos (seta para a esquerda) para selecionar um outro para inspecionar ou finalizar a coleta.



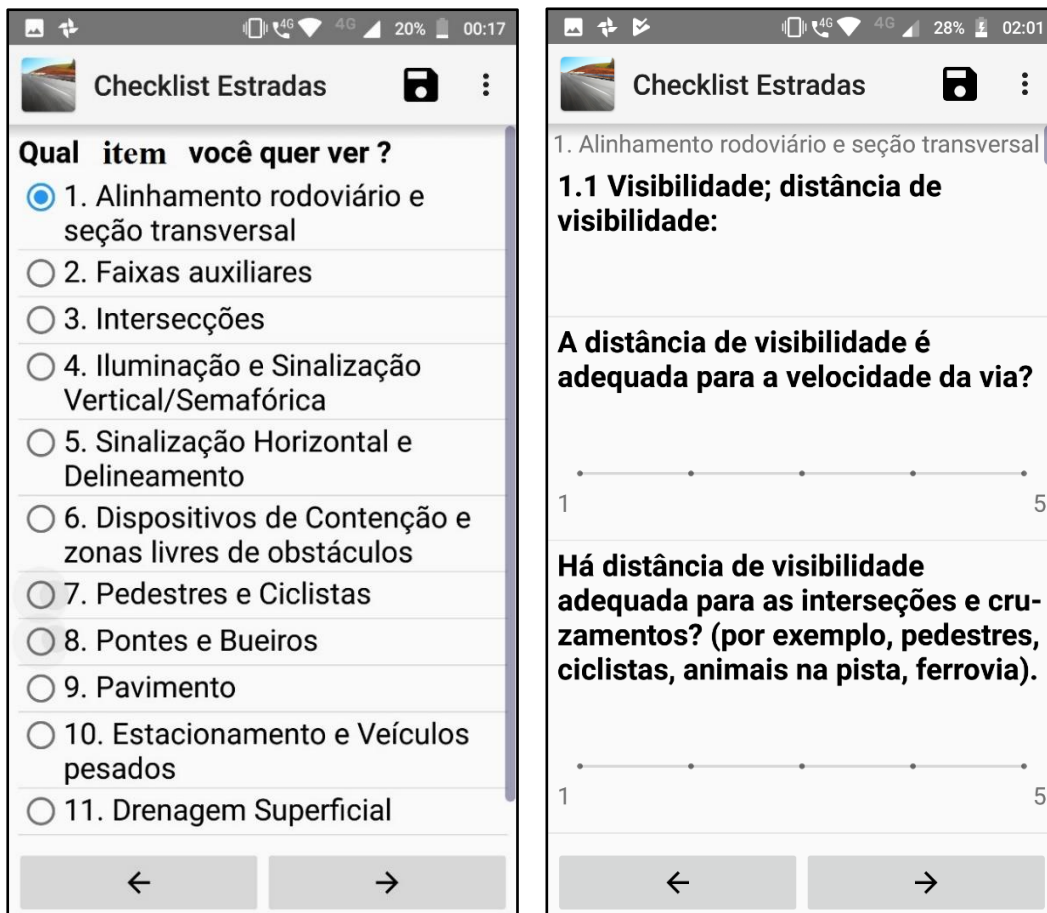


Figura 3.8: Tela de Preenchimento dos grupos do *checklist* no aplicativo *CheckOpApp*

Ao longo do *checklist*, é possível inserir imagens e observações adicionais referentes ao subgrupo que está sendo preenchido. Para tirar fotos usando o aplicativo, é necessário permitir o uso da câmera no aparelho celular ou *tablet* utilizado (Figura 3.9).

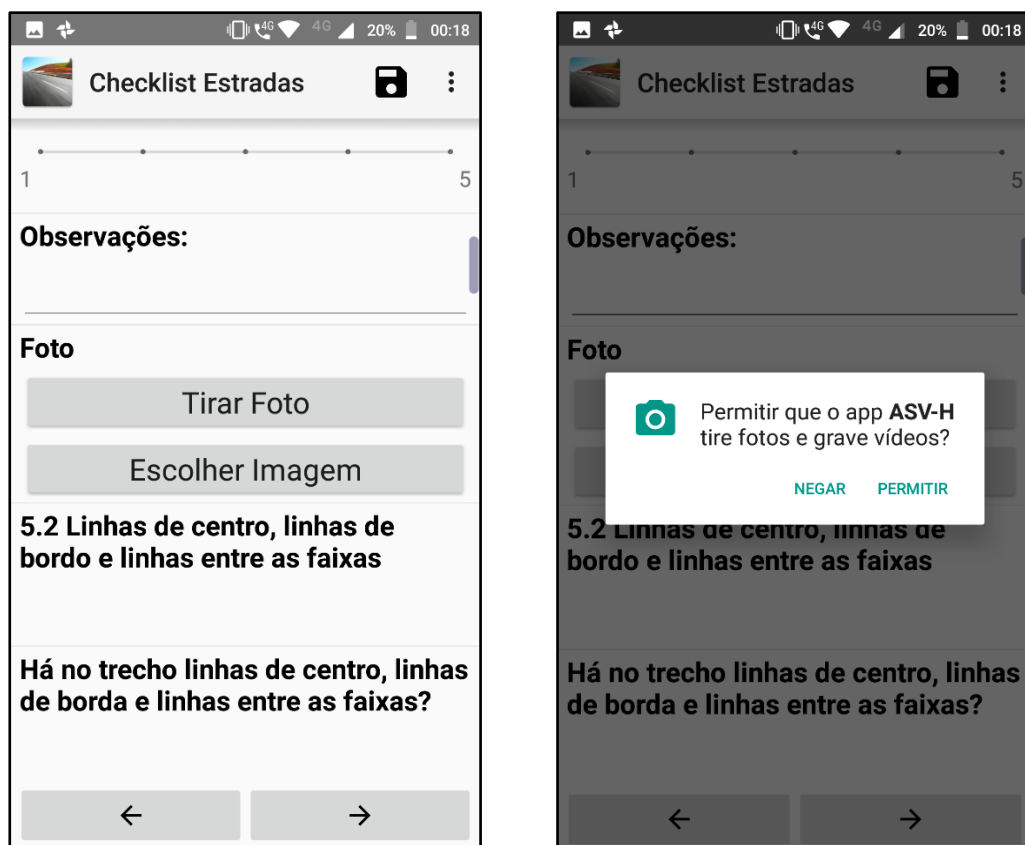


Figura 3.9: Funcionalidades do aplicativo *CheckOpApp*

Ao término do preenchimento, o auditor pode avançar para a direita pelas setas até a tela de finalização, onde deve selecionar os grupos a serem salvos. Em seguida, deve continuar avançando até atingir a tela com a opção de nomear o formulário. Depois de nomear, pode salvar e sair do aplicativo (Figura 3.10). Os formulários salvos podem ser editados ou finalizados posteriormente por intermédio do menu “Editar formulário salvo”.

Finalizada a coleta de dados, deve-se encaminhar as respostas para o servidor (ODK-*Aggregate*). Para esse procedimento, basta acessar a janela “Enviar formulário salvo”, selecionar os formulários a serem enviados e pressionar “Enviar selecionado”. Para esse procedimento, é necessária uma conexão estável com a internet.

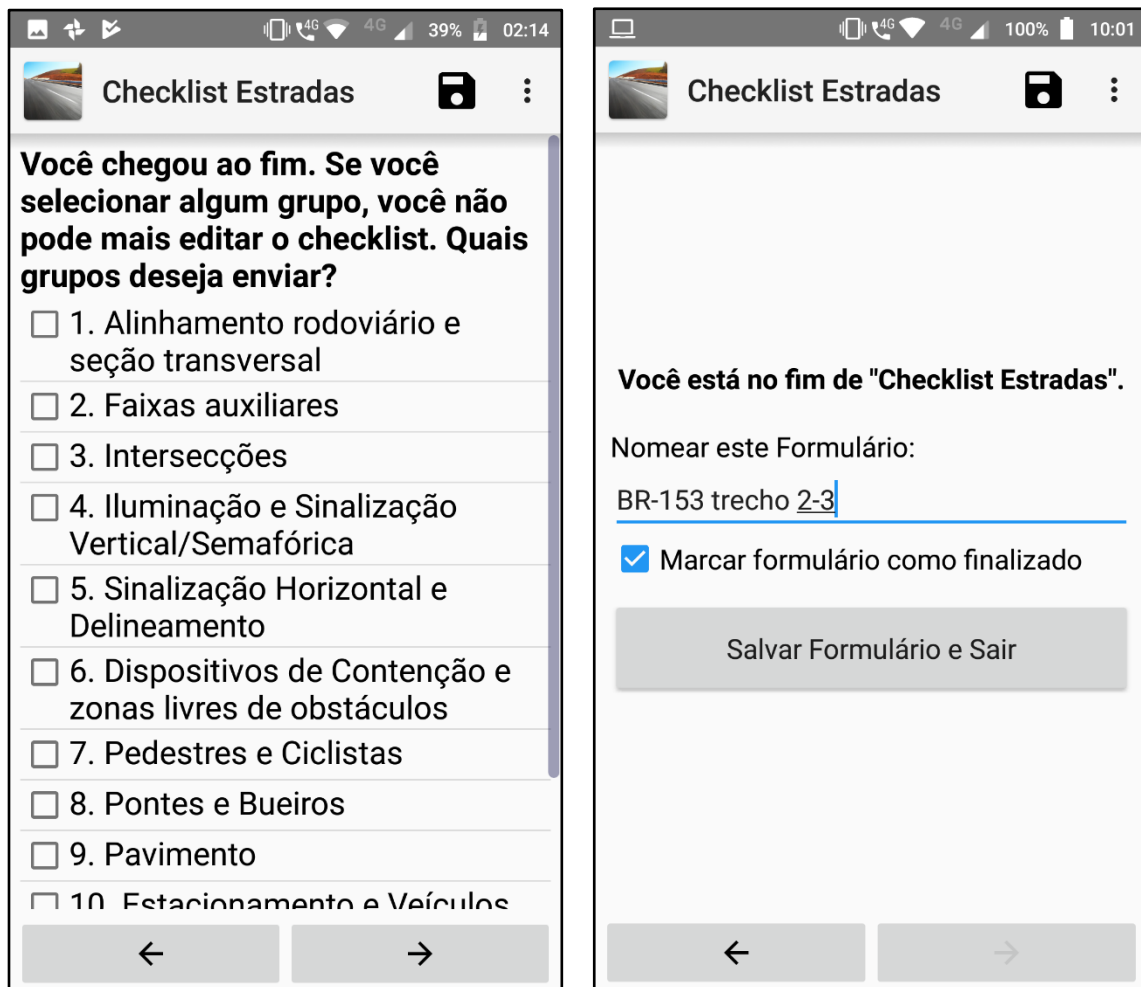


Figura 3.10: Telas finais do aplicativo *CheckOpApp*

Com essas informações no Excel®, é possível analisar as fotografias obtidas pelo aplicativo e gerar dados estatísticos.

### 3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 3

Este método limita-se a rodovias rurais duplicadas em operação, podendo-se estender a rodovias ainda em fase de planejamento. Ressalta-se que o emprego de novas tecnologias, em conjunto com o acréscimo do componente humano em ASV, constitui uma ferramenta nova, eficiente e complementar de apoio para as Auditorias de Segurança Viária tradicionais e visa contribuir com um novo procedimento para que órgãos fiscalizadores possam avaliar trechos viários em ambientes virtuais, auxiliando assim com subsídios técnicos para a elaboração do ordenamento legal antes da implantação de novos projetos e/ou da modificação de projetos existentes.

## CAPÍTULO 4

---

### 4. APLICAÇÃO DA ASV-H: UM ESTUDO DE CASO EM TRECHO RURAL DE RODOVIA DUPLICADA

Este Capítulo tem como finalidade a aplicação do método proposto de Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H), com a análise da potencialidade do uso de Óculos de Realidade Virtual (ORV) em inspeções em Auditorias de Segurança Viária. Para isso, o método de estudo de caso foi utilizado, pois permite compreender fenômenos individuais/grupais, preservando as características holísticas e significativas dos eventos da vida real. Assim, esse método deve estar em consonância com os objetivos propostos e com a questão da pesquisa (YIN, 2009). Como o objetivo do trabalho é propor um procedimento de ASV para rodovias rurais em operação que inclui, de modo complementar, avaliações em ambientes virtuais, surgiu a seguinte questão: “como fazer uso de ambientes virtuais para auxiliar a Auditoria de Segurança Viária?” A questão “como” favorece o uso de estudos de caso devido ao seu caráter explanatório (YIN, 2009).

Seguindo o modelo conceitual para ASV-H para cada unidade da via auditada proposto na Figura 3.6 da Seção 3.2 do Capítulo anterior, o presente Capítulo descreve as Etapas de 1 a 7, de modo a explorar a operacionalização do estudo de caso, como a coleta de documentos e projetos, a escolha da equipe, a geração dos cenários, a inspeção do local (*in loco* e através de ORV) e a definição do Índice de Verificação de Auditoria de Segurança Viária – IVASV.

Para avaliar o uso de ambientes virtuais para realizar inspeções de segurança viária, foi realizada uma análise comparativa dos resultados de inspeção realizada por meio de dois procedimentos: a) inspeção *in loco* (procedimento tradicional) e b) inspeção híbrida, ou seja, que emprega inspeções em ambientes virtuais e *in loco*. A primeira parte do estudo está estruturada conforme o esquema apresentado na Figura 4.1 e integra as Etapas 1 a 5. A segunda parte integra as Etapas 6 a 7.

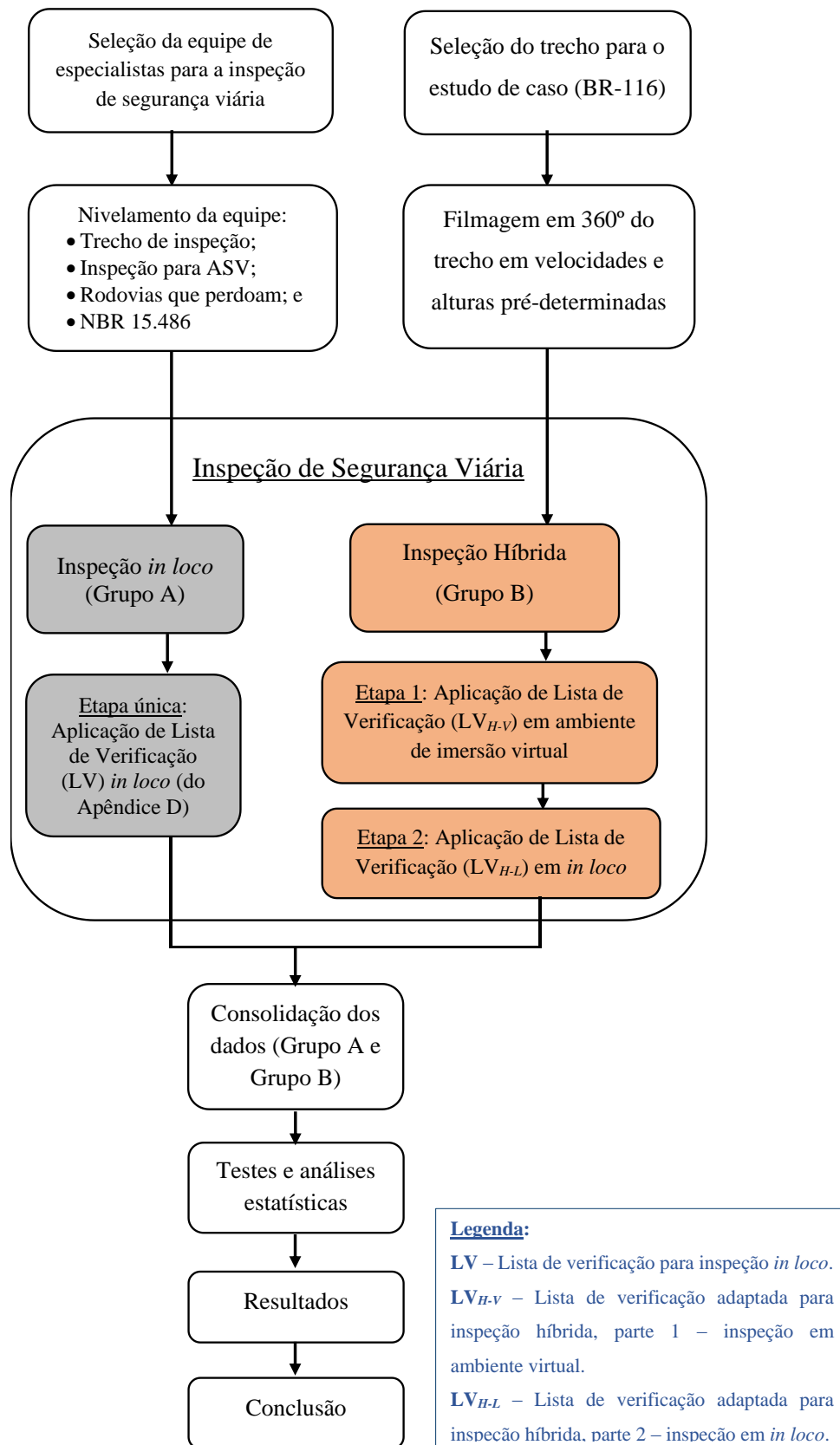


Figura 4.1: Fluxograma do método do estudo de caso para as Etapas 1 a 5

Com base em dados secundários produzidas por outras pesquisas realizadas no mesmo trecho (TORRES, 2015; CASTILLO RANGEL, 2015; MASSARO *et al.*, 2018), foi possível coletar dados sobre o perfil de velocidade praticado pelos motoristas, sobre a consistência do projeto no local (Etapas 6 e 7), e avaliar os documentos, os projetos e outras informações básicas, incluindo estudos sobre acidentes no trecho (Seção 4.1.3 da Etapa 4). Também é apresentada nesta Seção a área de estudo selecionada, suas características e os procedimentos utilizados para atingir o objetivo proposto pelo trabalho.

#### 4.1. ETAPA 1: ESCOLHA DA EQUIPE

Para compor os grupos de auditores, foram selecionados seis especialistas da área de segurança rodoviária. A equipe multidisciplinar contou com três engenheiros civis, um tecnólogo em movimento de terra e pavimentação, um engenheiro cartógrafo e um tecnólogo em logística. Os especialistas possuíam experiência média em engenharia de segurança de tráfego de 11,8 anos, mediana de 12 anos e desvio padrão de 3,97 anos ( $\bar{x} = 11,8 \text{ anos}$ ,  $\tilde{x} = 12,0 \text{ anos}$  e  $S = 3,97 \text{ anos}$ ). A aplicação do método para a coleta de dados em campo foi realizada em janeiro de 2019.

#### 4.2. ETAPA 2: FASES QUE ANTECEDEM AS INPEÇÕES

##### 4.2.1. Nivelamento da equipe

De forma a reproduzir as condições dos processos de auditoria de segurança viária que antecedem a atividade de inspeção, foi realizada uma reunião com os seis profissionais para apresentar o trecho a ser inspecionado, para fazer um nivelamento para uniformização conceitual das equipes, para planejar as vistorias em campo e em ambiente virtual e também para a utilização do aplicativo eletrônico em teste, denominado *CheckOpApp*. O nivelamento das equipes abordou ASV, os conceitos de *forgiving roads* (rodovias que perdoam) e a norma vigente no país sobre dispositivos de contenção viária da ABNT – a NBR 15486:2016 (ABNT, 2016). Nessa oportunidade, foram feitos os esclarecimentos referentes aos itens da lista de verificação que os auditores utilizariam nas inspeções, sendo elas: (a) a lista de verificação para inspeção *in loco*, a ser utilizada pelo grupo que realizaria a inspeção tradicional (a lista de

verificação completa se encontra no final desta tese, no APÊNDICE D); e aos itens da lista de verificação referentes à inspeção em ambiente virtual e à inspeção em campo (*in loco*), a serem utilizadas pelo grupo que realizaria a inspeção híbrida (itens estão devidamente identificados no Apêndice D). Explanou-se sobre o manuseio e a instalação do aplicativo eletrônico no *smartphone* e no *tablet* desenvolvidos para esse fim e a equipe de Engenharia de Segurança do Trabalho da Concessionária Autopista Régis Bittencourt (ARB) abordou os principais procedimentos de segurança que os auditores deveriam adotar nas inspeções em campo, assim como o uso obrigatório de Elementos de Proteção Individual – EPIs. A Figura 4.2 mostra a realização do nivelamento da equipe.



Figura 4.2: Nivelamento da equipe

Um dos aspectos importantes de esclarecimento referente às listas de verificação está relacionado à forma de o auditor responder após apreciar cada item de verificação. Em geral, as listas de verificação trazem três colunas associadas a cada item, com as seguintes alternativas: presente, ausente e observação. Para viabilizar a análise comparativa das avaliações realizadas, as listas de verificação foram estruturadas em uma escala de 5 pontos, correspondendo ao percentual de trecho da rodovia que continha o item em avaliação. Conforme mencionado na Seção 3.1, na escala, o valor 1 corresponde ao caso em que o item em avaliação estava presente no intervalo de 0 a 20 % do trecho analisado; o 2, no intervalo de 20 a 40 % do trecho; o 3, no intervalo de 40 a 60 %; o 4, no intervalo de 60 a 80 % do trecho; e, por fim, o 5, quando o item em avaliação estava presente no intervalo de 80 a 100% do trecho analisado.

Dessa forma, todos os especialistas tornaram-se aptos a irem a campo com os conceitos teóricos revisados e com o aplicativo *CheckOpApp* já instalado e testado no dispositivo móvel.

#### ***4.2.2. Reunião inicial entre a equipe de auditoria e o destinatário do relatório de auditoria***

Essa Etapa foi realizada na sede da concessionária ARB, tendo participado dela os especialistas, o gerente de tráfego e de operação da concessionária e o gerente de obra da rodovia. Foi esclarecido o motivo da pesquisa (no caso, a auditoria e o experimento utilizando novas tecnologias) e, na ocasião, solicitado apoio operacional para as inspeções e o fornecimento de documentos e projetos da rodovia, conforme mostra a Figura 4.3.



Figura 4.3: Reunião inicial entre auditores e equipe da concessionária da rodovia

#### ***4.2.3. Avaliação dos documentos, dos projetos e outras informações básicas***

O estudo de caso se deu em um trecho de 10 km de uma importante rodovia brasileira de pista dupla: a rodovia BR-116/SP, no estado de São Paulo. O trecho analisado situa-se entre os quilômetros 508+458 e 518+458, pista sul, considerando toda a faixa de domínio. É um trecho rural, sem a presença de vias marginais, com um único acesso regularizado, com canteiro central largo entre as pistas, acomodando, inclusive, ocupações residenciais irregulares. O fluxo é ininterrupto, pois não possui sinalização semafórica ou praças de pedágio, nem faixas de pedestres, interseções ou zonas livres (ZL) do lado externo das defensas e barreiras. São três as faixas de rolamento, não há acostamento, e, além, disso, é um trecho sinuoso, com raios pequenos próximos ao raio mínimo (150 m) e frequente incidência de neblina. A Figura 4.4



mostra o trecho escolhido para o estudo de caso, popularmente chamado de “Serra do Azeite”, e o perfil da elevação, cuja inclinação média é de 6 %.

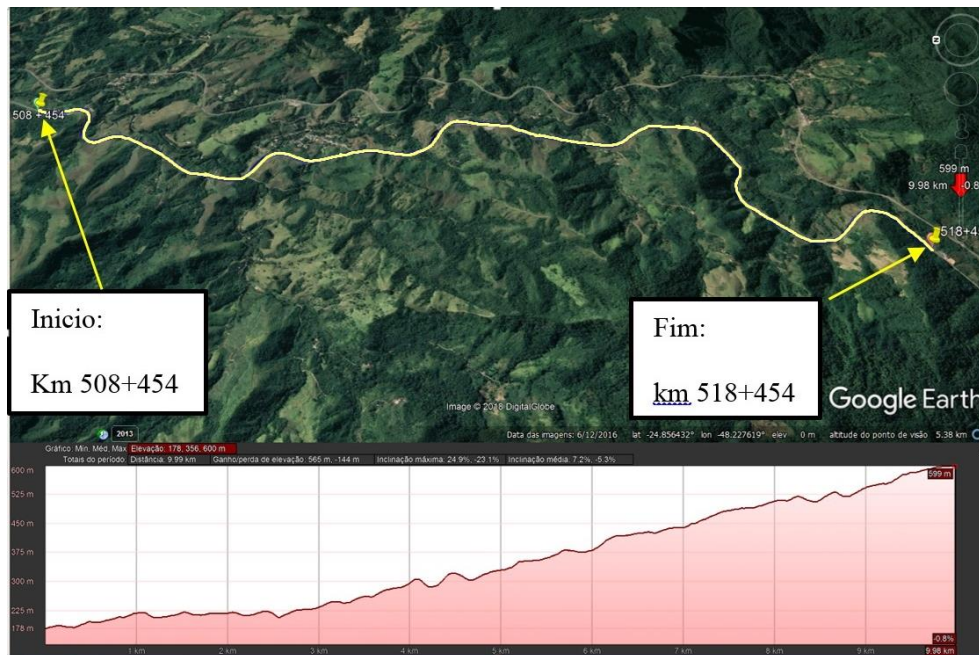


Figura 4.4: Representação geométrica do trecho de estudo

Fonte: *Google Earth* (2018)

Segundo dados fornecidos pela concessionária que administra a rodovia, no ano de 2017, o trecho contou com volume diário médio (VDM) de 8.950 veículos do km 508+454m ao km 513+00m, e de 11.050 veículos do km 513+00m ao km 518+454m. A composição de tráfego é de 36 % de veículos leves, 63 % de veículos pesados e 1 % de motocicletas. A velocidade de projeto é de 80 km/h, a velocidade regulamentada é de 60 km/h e a velocidade de operação (V85) obtida por Torres (2015) é de 94,8 km/h, ou seja, 18,5 % superior à velocidade de projeto e 58,0 % superior à velocidade regulamentada no trecho. A Tabela 4.1 mostra o VDM entre os anos de 2009 a 2017 para as pistas norte e sul.

Tabela 4.1: Volume Diário Médio

Rodovia	Sentido	Inicio (Km)	Fim (Km)	VDMA								
				2.009	2.010	2.011	2.012	2.013	2.014	2.015	2.016	2.017
SP-BR116	N	268,900	278,000	40.058	43.638	45.512	47.930	49.407	49.454	43.719	45.988	43.077
SP-BR116	N	278,000	288,000	31.060	33.835	35.289	37.163	38.308	38.345	33.360	34.255	32.150
SP-BR116	N	288,000	334,000	11.919	12.788	13.431	14.200	14.636	14.816	14.499	14.055	14.508
SP-BR116	N	334,000	398,000	8.373	9.049	9.135	10.050	10.351	10.377	9.988	9.514	9.978
SP-BR116	N	398,000	455,000	10.888	11.613	12.217	12.786	13.210	13.116	12.175	12.053	12.323
SP-BR116	N	455,000	513,000	9.582	10.573	10.972	11.451	11.843	11.871	11.167	10.760	11.209
SP-BR116	N	513,000	569,100	7.882	8.648	9.066	9.384	9.633	9.575	8.977	8.684	9.116
PR-BR116	N	0,000	71,100	8.293	9.354	9.869	10.256	10.553	10.538	9.936	9.727	10.191
ANC-BR116	N	0,000	18,600	8.044	8.763	9.139	9.625	9.922	9.931	9.258	8.465	9.519
<b>Média</b>				<b>10.559</b>	<b>11.519</b>	<b>12.010</b>	<b>12.649</b>	<b>13.038</b>	<b>13.045</b>	<b>12.212</b>	<b>11.961</b>	<b>12.272</b>
SP-BR116	S	268,900	278,000	40.120	44.628	46.388	47.614	48.842	48.966	43.815	45.510	44.710
SP-BR116	S	278,000	288,000	30.978	34.459	35.819	36.765	37.714	37.809	34.083	34.306	32.568
SP-BR116	S	288,000	334,000	12.042	12.996	13.411	13.895	14.233	14.369	14.055	13.747	13.939
SP-BR116	S	334,000	398,000	8.252	9.227	9.863	9.717	9.897	9.870	9.514	9.165	9.408
SP-BR116	S	398,000	455,000	8.895	10.210	10.458	10.734	10.919	11.111	10.836	9.973	10.307
SP-BR116	S	455,000	513,000	9.533	10.530	10.936	11.343	11.749	11.752	11.062	10.673	11.050
SP-BR116	S	513,000	569,100	7.945	8.680	8.963	9.276	9.538	9.453	8.877	8.593	8.950
PR-BR116	S	0,000	71,100	8.200	9.387	9.807	10.149	10.459	10.409	9.845	9.644	10.039
ANC-BR116	S	0,000	18,600	7.444	8.281	8.608	8.835	9.063	9.086	7.085	8.704	7.834
<b>Média</b>				<b>10.218</b>	<b>11.388</b>	<b>11.847</b>	<b>12.152</b>	<b>12.467</b>	<b>12.492</b>	<b>11.757</b>	<b>11.524</b>	<b>11.710</b>
<b>Média</b>				<b>20.777</b>	<b>22.907</b>	<b>23.856</b>	<b>24.801</b>	<b>25.505</b>	<b>25.538</b>	<b>23.969</b>	<b>23.486</b>	<b>23.983</b>

Fonte: ARB (2018)

Trecho da pesquisa

A Tabela 4.2 apresenta resumo com os elementos do alinhamento horizontal e do alinhamento vertical do trecho da rodovia. Os dados foram extraídos de Torres (2015), que dividiu o trecho em 20 segmentos em tangentes (T) e 20 segmentos em curvas (C), com raios variando de 130m a 625 m, com rampa máxima de 6,1 %.

Tabela 4.2: Característica geométrica do trecho

Seção	Extensão (m)	Raio (m)	Espiral (m)	Rampa (%)	CCR (m)
C1	187,04	-132,24	80,00	2,07	370,7
T1	59,29	0,00		2,07	0,0
C2	218,07	132,24	60,00	2,11	396,2
T2	37,76	0,00		2,11	0,0
C3	53,92	-132,24	60,00	2,90	315,5
T3	237,47	0,00		2,9; -1,04	0,0
C4	141,73	-615,25		-1,04	103,5
T4	308,61	0,00		-1,04	0,0
C5	5,94	190,98	80,00	-1,04	172,7
T5	272,18	0,00		-1,04	0,0
C6	100,71	132,24	80,00	5,99	333,9
T6	47,03	0,00		5,99	0,0
C7	220,66	-180,00	60,00	5,99	291,6
T7	63,43	0,00		5,99	0,0
C8	82,56	229,25	90,00	5,99	182,6
T8	208,53	0,00		4,03	0,0
C9	344,49	-615,44		4,03	103,5
T9	114,26	0,00		4,03	0,0
C10	188,93	190,98	90,00	4,03; 4,76	252,2
T10	52,61	0,00		4,76	0,0
C11	171,55	-190,98	90,00	4,76	248,2
T11	303,16	0,00		5,99	0,0
C12	2,03	-229,23	80,00	5,99	140,7
T12	51,39	0,00		5,99	0,0
C13	169,32	603,14		5,99	105,6
T13	573,68	0,00		5,99; 6,06	0,0
C14	44,77	132,24	80,00	6,06	293,5
T14	151,62	0,00		6,06; 3,90	0,0
C15	89,56	-229,25	90,00	1,80	185,1
T15	216,35	0,00		1,8; 6,01	0,0
C16	107,61	-190,98	90,00	6,01	229,2
T16	297,21	0,00		6,01	0,0
C17	56,79	-156,30	80,00	6,01	257,2
T17	44,80	0,00		6,01	0,0
C18	162,43	214,87	90,00	6,01; 2,93	218,5
T18	358,73	0,00		2,93; 3,38	0,0
C19	363,60	286,55	100,00	3,38	182,9
T19	127,82	0,00		3,38	0,0
C20	263,74	-185,00	80,00	3,38	279,3
T20	1446,74	0,00		3,38	0,0

Fonte: Torres (2015)

Embora a ASV não seja caracterizada como uma investigação de acidentes, recomenda-se, quando se tratar de uma rodovia existente, de fornecer ao auditor o maior número de informações possível, com a inclusão dos dados de acidentes ocorridos no trecho (AUSTROADS, 2009). Foram fornecidos pela concessionária que administra a rodovia os dados brutos de acidentes e do tráfego do local analisado. Uma análise mais profunda sobre os acidentes no trecho foi extraída de Massaro *et al.* (2018). Considerando o período de início da concessão (2008) até o início do ano 2015, ocorreram ali 879 acidentes. A Figura 4.5 ilustra a distribuição dos tipos de acidente, sendo os do tipo “saída de pista” predominantes, correspondendo a aproximadamente 40 % do total, seguido de “capotamentos” e “tombamento”. O excesso de velocidade, principalmente ao adentrar as curvas, pode ser o principal fator contribuinte para esses tipos de acidente. Tais dados corroboram o que se pretende fazer neste trabalho, conforme estabelecido nos objetivos apresentados na Seção 1.3, isto é, desenvolver um procedimento que inclua na auditoria informações sobre o comportamento dos condutores quanto à velocidade operacional desenvolvida e analisar a consistência de projeto da rodovia.

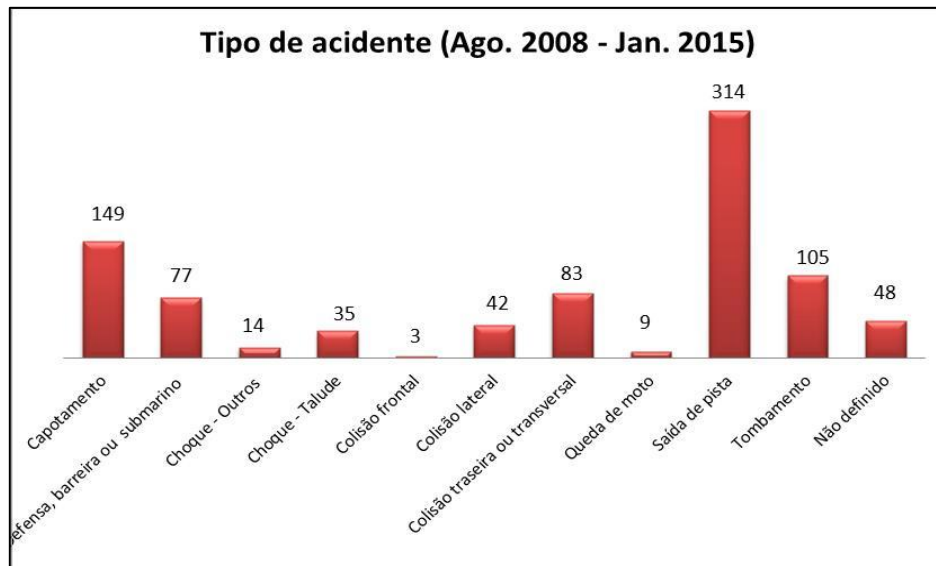


Figura 4.5: Tipos de acidentes registrados no período de 2008 a 2015

Fonte: Massaro *et al.* (2018)

Analisando também os dados abertos da Polícia Rodoviária Federal referentes aos anos de 2017 e 2018, pelo menos a metade dos acidentes ocorridos no trecho se deu em condições climáticas adversas, com presença de neblina ou chuva, e aproximadamente 40 % foi do tipo saída de pista

e tombamento, mantendo-se constante, durante os anos, essa porcentagem. Vale ressaltar que, apesar do número de ocorrências, os acidentes foram, em geral, sem vítimas fatais.

Também foi fornecido pela concessionária em questão o *as built* dos projetos de sinalização horizontal, vertical e os dispositivos de segurança do trecho (do km 508+454 ao km 518+454 – pista sul da BR-116/SP), conforme exemplo da Figura 4.6.

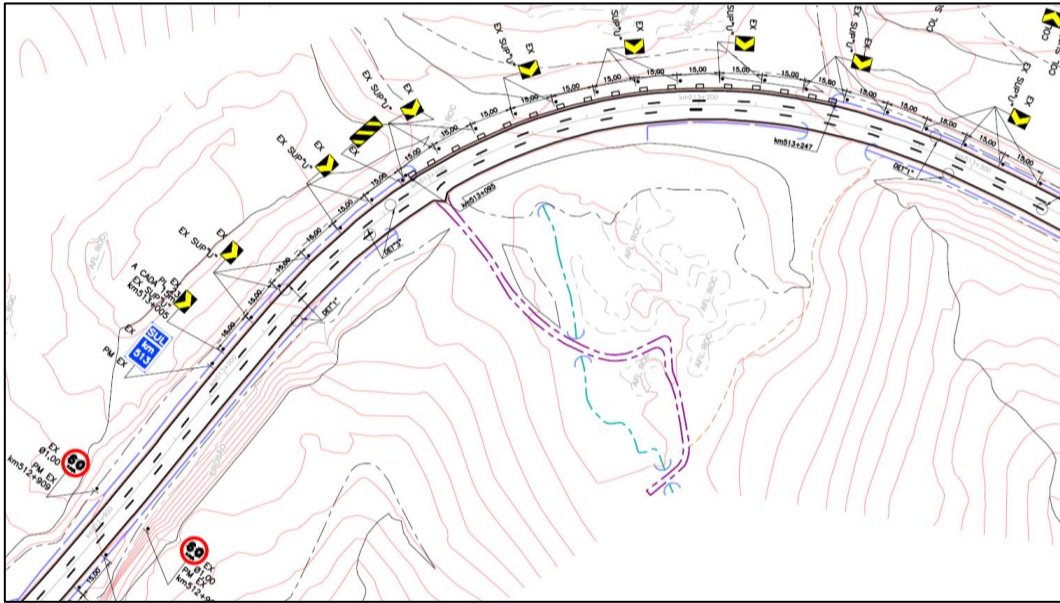


Figura 4.6: Exemplo de projeto “*as built*” de sinalização horizontal, vertical e dispositivos de segurança do trecho entre os km 512+880 ao km 513+320

Fonte: ARB (2018)

Ao final, no planejamento da coleta de dados, foram definidos os dias, os horários e os pontos de parada no trecho para as inspeções de campo a serem realizadas pelos dois grupos (A e B). Foram definidas ainda as equipes locais de apoio à realização das incursões em campo, as quais foram realizadas com o apoio operacional da concessionária local e da ANTT. Para a atividade foram disponibilizados dois veículos equipados com giroflex e identificação do órgão/da empresa (uma camionete e um caminhão) e com motorista, de modo a prover segurança às equipes.

### 4.3. ETAPA 3: GERAÇÃO DE CENÁRIOS

#### 4.3.1. Equipamento e Filmagem

Para a geração dos cenários, os vídeos foram gravados em 360° e, posteriormente, os auditores submetidos à ASV-H (próxima Etapa) puderam visitar o local quantas vezes desejaram através de checagem dos vídeos utilizando óculos de realidade virtual. Para isso, conforme mostra a Figura 4.7, os equipamentos usados neste trabalho consistiram em: (1) um celular S7 *Samsung*®; (2) uma câmera para a obtenção do cenário (câmera *Gear 360*, da marca *Samsung*®); (3) um óculos de realidade virtual (*Gear VR*®); (4) um computador *Dell Intel*® *Core*™ 3632QM 2.20 GHz, 8,00GB (RAM), com sistema operacional de 64 bits; e (5) um controle de mão de ORV.



Figura 4.7 - Equipamentos utilizados neste trabalho

Para realizar a filmagem em movimento com qualidade necessária para a inspeção, as definições técnicas utilizadas com a câmera *Gear 360*° foram:

- habilitação no modo *dual lens* – modo de lentes duplas, que utiliza ambas as lentes, frontal e traseira, simultaneamente para capturar fotos e vídeos em 360°;
- modo 4K UHD (*Ultra High Definition*) (3849 x 2160) – para a resolução da imagem; e

- modo HDR (*High Dynamic Range*) – para definição e nitidez da imagem e cores sob diferentes condições de luminosidade (dia/noite).

A câmera possui sensor de imagem CMOS, 8.4 MP x2 e resolução para a gravação dos vídeos em 360° (4096 x 2048 – 24fps) (INTERNACIONAL, 2017). Nela foi utilizado um cartão de memória *SanDisk Extreme PRO® SDXC™ UHS-I*, com velocidade de leitura de até 95 MB/s e velocidade de gravação de até 90 MB/s.

Para obter uma maior qualidade nas filmagens, a câmera Gear 360 foi configurada da seguinte maneira: as gravações foram realizadas utilizando como opção a velocidade de vídeo UHS Classe 30 (V30) e taxa de captura de vídeo contínua de 30 MB/s, o que permitiu realizar as filmagens em movimento. Foi selecionada a opção de utilizar uma resolução maior para resultar em melhor qualidade dos vídeos. Como a câmera estava posicionada em ambos os veículos do lado externo, optou-se pela configuração “reduzir o barulho do vento”. Tal configuração diminui o alcance permitido do ruído colocando-o em segundo plano durante a filmagem para melhorar a qualidade do som. A câmera foi conectada a um aparelho móvel via *bluetooth* e manuseada através do aplicativo *Samsung Gear 360®*, instalado no aparelho celular.

Para visualizar os vídeos em 360°, os auditores utilizaram ORV da marca Gear VR®. Para isso, foi instalado o aplicativo *Gear VR*, que é compatível e alimentado por um *smartphone Samsung Galaxy S7®* utilizado neste trabalho (Figura 4.7). Os óculos Gear VR® possuem um display Super AMOLED, com lentes ópticas que possuem um campo de visão de 96° graus. Já a resolução é de 2560 x 1440 pixels, o mesmo que 1280 x 720 pixels em cada olho, com taxa de atualização do display de 60 Hz. Há também sensores de proximidade, aceleração, geomagnético e giroscópio. Os óculos de imersão *Gear VR* possuem ajustes focais através de uma roda (para pequenos ajustes) e permite distância entre as pupilas dos auditores. Eles têm uma interface física com *touch pad*, botão e controle de volume do lado direito do fone de ouvido do dispositivo, além de controle de mão, e proporcionam uma maior imersão do usuário no ambiente virtual, uma vez que a visão do mundo real fica bloqueada. Conforme Santos (2006), esse equipamento permite que a visualização seja feita diretamente nele, possibilitando maior interação, considerando que o usuário fica livre para girar a cabeça e até mesmo para realizar pequenos movimentos sem perder a visualização.

Como o trecho possui três faixas de rolamento e não há acostamento, as filmagens foram realizadas nas faixas 1 e 3 (faixas externas), para que os auditores pudessem ter uma visão em 360° das laterais direita e esquerda da rodovia. Para realizar as filmagens, foram utilizados dois tipos de veículo: um veículo de passeio e um veículo pesado (caminhão pipa) nos períodos diurno e noturno. Para isso, a câmera foi instalada no teto dos veículos, do lado externo, como mostra a Figura 4.8. As filmagens foram realizadas em condições de tempo bom e sem chuva (devido à limitação da câmera). O caminhão possibilitou aos auditores uma melhor visualização da área lateral à pista de rolamento (zona livre) para melhor análise de áreas transpassáveis, isto é, sem obstruções, podendo ser utilizadas por veículos errantes para recobrar o controle ou chegar a uma parada segura, de acordo com o Quadro D.6-*checklist* para dispositivos de contenção e zonas livres de obstáculos (APÊNDICE D).



Figura 4.8: Disposição da câmera para filmagem do trecho: veículo de passeio (à esquerda), posicionamento da câmera (centro) e caminhão (à direita)

A Tabela 4.3 mostra o detalhamento das predefinições das filmagens no trecho (quatro diferentes velocidades), com a câmera portada em dois tipos de veículo (veículo de passeio e caminhão), em diferentes condições de luminosidade natural (dia e noite) e em duas faixas de trânsito distintas (faixa interna e faixa externa à pista).



Tabela 4.3: Definições para a filmagem do trecho

<b>Tipo de veículo</b>	<b>Período</b>	<b>Velocidade<sup>(1)</sup></b>	<b>Justificativa</b>
Passeio (H= 1,53 m) <sup>(2)</sup>	Dia e noite	50 km/h	Velocidade preconizada na metodologia de Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2017) para realizar inspeções em movimento
	Dia e noite	60 km/h	Velocidade regulamentada no trecho
	Dia e noite	72 km/h	Velocidade 20 % acima da velocidade regulamentada do trecho
Caminhão (H= 2,95m) <sup>(2)</sup>	Dia	30km/h	Solicitada pelos auditores para melhorar visibilidade da área lateral à via

<sup>(1)</sup> Velocidade – velocidade de percurso do veículo para a filmagem do trecho.

<sup>(2)</sup> H – altura de fixação da câmera no veículo.

Esse procedimento foi necessário, pois permite ao auditor analisar a melhor opção de velocidade para realizar as auditorias. Para controle da velocidade (manter as filmagens constantes), foi utilizado o aplicativo para *smartphone Speedometer 55 PRO KIT GPS®*, e configurada, para cada filmagem, a velocidade máxima em que se desejava trafegar. Esse aplicativo tem a opção de alertar sobre o limite de velocidade e de monitorar os dados de viagem via *smartphone*, pois quando se ultrapassa o limite de velocidade definido dígitos grandes mudam da cor verde para o vermelho, e o dispositivo emite um som para alertar sobre tal fato. Também possui um rastreador GPS onde registra, em conjunto com a velocidade, o posicionamento (latitude e longitude) e a altitude. Como exemplo, a Figura 4.9 mostra a velocidade percorrida para 50 km/h, no período noturno, em um horário em que não havia mais luz natural (18h e 41min), com velocidade média de 49,17 km/h e desvio padrão de 2,66. A Figura 4.10 ilustra dados do aplicativo utilizado nesta pesquisa.

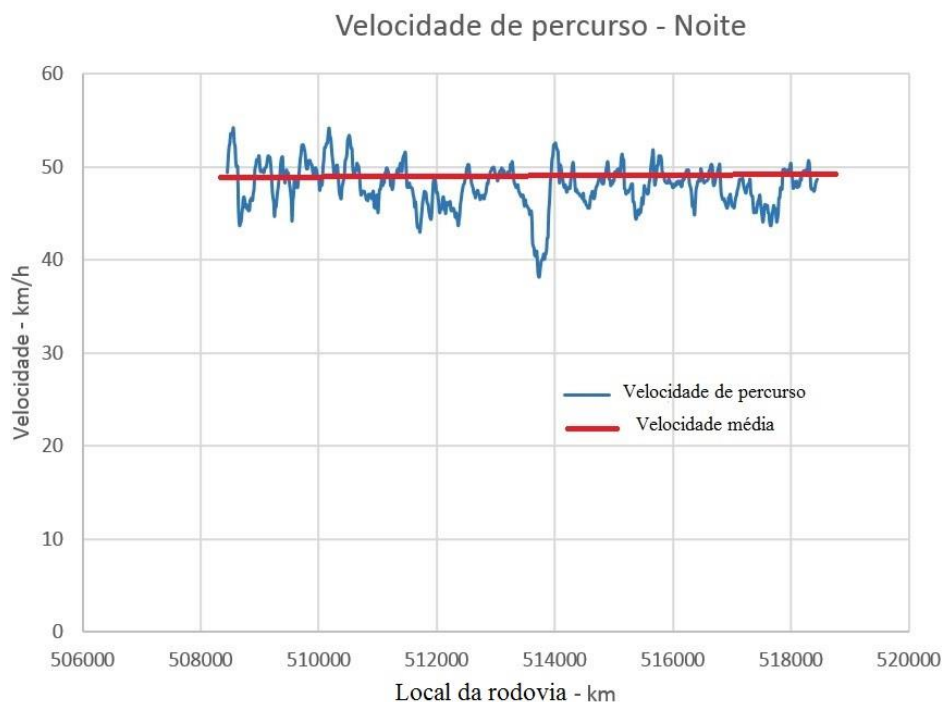


Figura 4.9: Velocidade de percurso – Noite



Figura 4.10: Aplicativo para *smartphone Speedometer 55 Pro Kit GPS*

Fonte: *iTunes* (2019)

## 4.4. ETAPA 4: INSPEÇÃO DO LOCAL

### 4.4.1. Inspeções virtuais e “in loco”

Nesta Etapa, foi analisada, de forma pioneira, a potencialidade de realizar inspeções em ambientes virtuais de acordo com os procedimentos propostos para ASV-H (Etapa 4 do modelo proposto). As inspeções (virtuais e *in loco*) foram apoiadas por uma lista de verificação

desenvolvida para essa finalidade (apresentada no APÊNDICE D) e implementadas com o auxílio do aplicativo eletrônico *CheckOpApp*. Como mencionado no item anterior, o cenário do ambiente virtual foi obtido a partir de vídeos filmados em 360° e visualizados por meio de ORV. Os resultados dessa análise foram comparados com os obtidos por meio de levantamentos realizados em campo – de modo a avaliar a efetividade do procedimento proposto – e apresentados no Capítulo 5.

Conforme apresentado no Capítulo 1, este trabalho limitou-se ao tipo de interação mais simples: a imersão do usuário através da navegação. Como o objetivo desta tese foi analisar as inspeções em rodovias através de ambientes virtuais, imagens reais foram gravadas em movimento, o que reflete as inspeções realizadas de forma tradicional.

#### **4.4.2. Experimento**

A equipe de seis especialistas foi dividida aleatoriamente em dois grupos, contendo três profissionais cada um. Foram assim compostos os grupos A e B, que realizaram as inspeções, respectivamente, pelo procedimento tradicional (inspeção exclusivamente *in loco*) e pelo procedimento proposto no estudo e denominado “híbrido” (inspeção em ambiente virtual e *in loco*). O experimento foi realizado da seguinte forma:

a) Grupo A (inspeção exclusivamente *in loco*) – o processo de inspeção *in loco* consiste em uma única Etapa com o preenchimento de uma lista de verificação LV que contém 234 itens (*checklist* completo no Apêndice D). A equipe seguiu para o trecho de análise com três pontos predefinidos para parada. O trecho foi percorrido sete vezes durante o dia e uma vez no período noturno. O deslocamento na via se deu na velocidade regulamentada (60 km/h). A concessionária do trecho e a ANTT forneceram todo o apoio operacional visando à segurança dos auditores, e as inspeções foram realizadas em viaturas da fiscalização e com escolta de viatura de tráfego e de caminhão-pipa (Figuras 4.11a e 4.11b). A Figura 4.11c mostra os auditores realizando inspeções *in loco*. A Figura 4.11d mostra detalhe de bairro irregular no canteiro central.



(a) Apoio operacional de viatura de fiscalização



(b) Apoio operacional de caminhão pipa



(c) Detalhe de inspeção *in loco*



(d) Detalhe de bairro irregular em canteiro central

Figura 4.11: Aplicação do *checklist* na inspeção em campo

Considerando o tempo total empregado pelo Grupo A, ou seja, o tempo de deslocamento da base (sede da ANTT, no km 446+070 m) até o trecho de inspeção, e as oito viagens no trecho de 10 km com as paradas programadas, foram necessários dois dias e meio de mobilização de equipe para realizar as vistorias.

b) Grupo B (inspeção em ambiente virtual e *in loco*) – o processo de inspeção híbrido consistiu em duas Etapas, sendo a Etapa 1 correspondente à inspeção realizada em ambiente virtual e ao preenchimento dos itens da lista de verificação ( $LV_{H-V}$ ) adaptados para inspeção virtual (com 191 itens destacados na cor “cinza” do Apêndice D); e a Etapa 2, a inspeção em campo e o preenchimento da lista de verificação  $LV_{H-I}$  (com 43 itens devidamente identificados no Apêndice D).

Inicialmente, os auditores visualizaram o trecho completo de 10 km, usando as imagens em 360° obtidas pela filmagem do trecho. A imersão para proceder à inspeção virtual foi realizada através dos óculos de realidade virtual (ORV), sem interrupção, de modo a permitir a adaptação ao equipamento bem como o reconhecimento do ambiente a ser avaliado no *checklist*. Em

seguida os auditores puderam visualizar o trecho filmado em três diferentes velocidades (30 km/h, 50 km/h e 60 km/h), em duas faixas de rolamento distintas (faixa interna e faixa externa à pista) e a duas alturas de captura distintas (1,53 m e 2,95 m).

*A priori*, foram definidas as velocidades de 50 km, 60 km e 72km/h por serem, respectivamente, a velocidade preconizada na metodologia de Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2017) para realizar inspeções em movimento (50 km/h), a velocidade regulamentada do trecho (60 km/h) e a velocidade 20 % superior à velocidade regulamentada. Porém a experiência imersiva permitiu aos especialistas concluir que utilizando as velocidades de 50 km/h e 60 km/h foi possível analisar elementos geométricos, de sinalização horizontal e de área lindeira satisfatoriamente. Já a avaliação da sinalização vertical ficou prejudicada, o que os levou a solicitarem filmagens à velocidade de 30 km/h. A velocidade de 72km/h não foi utilizada para inspeção, pois causou o efeito de *motion-sickness* em dois auditores logo ao início da imersão. Esse efeito era esperado, pois Torres *et al.* (2018) observaram que experimentos realizados em ambientes virtuais estáticos causam maior severidade de mal-estar que os realizados em ambientes virtuais dinâmicos.

Outro aspecto redefinido após a inspeção virtual realizada foi a necessidade de captação da imagem de vídeo a uma altura maior, de forma a viabilizar a visualização das áreas lindeiras à pista, que não ficaram visíveis nos vídeos obtidos com a câmera fixada a 1,53 m. Diante dessas demandas, foi realizada uma filmagem do trecho com a câmera instalada a 2,95 m de altura e com velocidade de 30 km/h. A inspeção realizada com essa filmagem ( $V = 30$  km/h e  $H = 2,95$ m) mostrou-se a mais adequada para a atividade, permitindo a adequada visualização de todos os elementos geométricos, de sinalização horizontal, vertical e da área lindeira à pista. Dessa forma, a Etapa 1 da inspeção híbrida foi finalizada após oito passagens pelo trecho no período diurno e duas no período noturno. O tempo médio dispendido por cada passagem nesse trecho de 10 km foi de 15 min, totalizando 2,5 horas “em trânsito”. Após a observação do trecho, os membros preencheram a lista de verificação  $LV_{H-V}$ .

Finalizada a Etapa 1, a equipe seguiu para o trecho para realizar a segunda Etapa prevista para a inspeção híbrida, a vistoria *in loco*. Como os especialistas já haviam realizado várias incursões virtuais no trecho, eles já tinham conhecimento da região suficiente para fazer a vistoria *in loco* com apenas uma passagem. Dessa forma, o trecho foi percorrido apenas duas vezes, sendo uma

vez à luz do dia e outra no período noturno. A Figura 4.12 mostra as Etapas de inspeção da ASV realizada de maneira híbrida, com inspeções virtuais (Figura 4.12a) e inspeções *in loco* (Figura 4.12b) realizadas pela mesma equipe. As inspeções *in loco* foram realizadas após as inspeções virtuais. Tal procedimento foi necessário para não influenciar o experimento.



(a) Inspeção em ambiente virtual



(b) Inspeção *in loco*

Figura 4.12: Aplicação do *checklist* em ambiente virtual e *in loco*

Assim, considerando o tempo total dispendido pelo Grupo B, sendo o tempo de inspeção no ambiente virtual em escritório e o tempo de inspeção de campo com deslocamento da base (sede da ANTT, no km 446+070m) até o trecho de inspeção, conclui-se que um dia é suficiente para realizar as duas Etapas da vistoria: inspeção em ambiente virtual no período da manhã e inspeção em campo no período da tarde e início da noite. Cabe ressaltar que neste estudo a equipe envolvida na inspeção híbrida permaneceu dois dias trabalhando no processo de inspeção por ter sido necessário realizar a filmagem adicional ( $V = 30 \text{ km/h}$  e  $H = 2,95 \text{ m}$ ). Ressalta-se também que foram seguidos todos os requisitos para a segurança da equipe e para a realização dessa atividade, incluindo a utilização de equipamentos de segurança individual e coletivo.

#### 4.5. ETAPA 5: DEFINIÇÃO DOS ÍNDICES DE AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA – IVASV

Foram calculados os Índices de Auditoria de Segurança Viária (IVASV) para posterior acompanhamento. A fim de poder averiguar se havia diferenças significativas entre as respostas

dos auditores dos grupos A e B, os itens de verificação foram respondidos dentro de uma escala de valores inteiros (1 a 5), para posterior cálculo do Índice Médio de Verificação de Auditoria de Segurança Viária – IMVASV (Equação 3.1) e do Índice Médio de cada Grupo de Verificação – IGVASV (Equação 3.2), vistos no Capítulo anterior.

Para viabilizar a análise comparativa dos resultados obtidos pelas inspeções realizadas pelos grupos A e B, a pesquisa foi conduzida de modo que:

- a) todos os auditores fizeram as observações sob as mesmas condições;
- b) não houve interação entre os auditores, tanto entre os grupos quanto entre os membros do mesmo grupo na ocasião de preenchimento das listas de verificação.

Para testar a hipótese de igualdade das respostas obtidas pelos dois grupos, foi utilizado o teste “t”, bicaudal, sobre as médias dos resultados, com nível de significância de 5 %, isto é,  $\alpha = 0,05$  (BARBETTA, 2003). Assim, a probabilidade de significância ( $\rho$ ) pode estar compreendida por duas situações: a)  $\rho > \alpha$  – não rejeita  $H_0$  (os dados estavam em conformidade com a hipótese nula, isto é, eles não mostraram evidência suficiente para rejeitá-la); e b)  $\rho \leq \alpha$  – rejeita  $H_0$ . Os resultados são apresentados na Seção 5.1

#### **4.6. ETAPA 6: DEFINIÇÃO DO PERFIL DE VELOCIDADE DOS MOTORISTAS NO TRECHO DA RODOVIA**

O objetivo desta Etapa foi obter dados sobre o comportamento dos motoristas que trafegam pela via, de modo a corroborar o diagnóstico dos problemas existentes encontrados na inspeção. Seguindo o modelo proposto na Seção 3.1, este Capítulo descreve a Etapa 6, que consiste em analisar o perfil de velocidade praticado pelos condutores. Os dados foram extraídos através de pesquisas secundárias no trecho realizadas por Torres (2015) e Castillo Rangel (2015), analisados e adotados neste estudo de caso.

#### 4.6.1. Perfil da velocidade praticada pelos condutores – modelos existentes na via

Para o cálculo da velocidade operacional, Torres (2015) obteve, para esse trecho, os dados de velocidade de veículos leves em condições de fluxo livre. Os dados de V85 foram obtidos utilizando equipamento de medição eletrônica Metro Count MC-5600, de operação automática, composto por duas mangueiras fixadas no pavimento distantes um metro entre si ( $\Delta s$ ) (TORRES, 2015). Esse equipamento possui sensores pneumáticos que emitem pulsos elétricos através da passagem dos veículos, registrando a diferença de tempo entre as duas mangueiras ( $\Delta t$ ). Com esses dados, estima-se a velocidade dos veículos ( $v = \Delta s / \Delta t$ ) por meio da diferença de tempo de acionamento da primeira e da segunda mangueira pela pressão dos pneus. Os dados são mostrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Velocidade de operação obtida *in loco*

Local	km	km	km	km	Km	km	km	km	km	km	km
	509,4	510,1	511,1	511,8	513,6	514,1	514,5	515,2	515,7	516,3	518,1
Geometria	curva	curva	curva	curva	tangente	curva	tangente	curva	curva	curva	curva
V85											
km/h*	88,7	108,7	90,1	88,0	90,4	92,0	96,7	101,9	99,5	87,2	99,6

(\*) A velocidade de operação praticada no trecho (V85) é a velocidade de operação mais alta praticada por 85 % dos usuários, medida *in loco*

Fonte: Torres (2015)

Pela análise de regressão, Torres (2015) desenvolveu o modelo de velocidade operacional para o trecho, como mostra a equação 4.1.

$$V85 = 107,534 - 0,02CCRs - 2,06 * i; \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0,59$$

Em que:

CCRs = taxa de mudança de curvatura (gon/km);

I = rampa (%).

Pelo modelo proposto por Torres (2015), a velocidade operacional sofre maior influência do alinhamento vertical que do alinhamento horizontal.



#### 4.6.2. Perfil da velocidade praticada pelos condutores – simuladores de direção

Em uma pesquisa realizada no trecho de estudo em um simulador de direção considerado de nível de realismo intermediário (base fixa), situado na Escola de Engenharia de São Carlos, identificou-se e analisou-se o comportamento dos condutores em testes no simulador de direção. Participaram do experimento 21 condutores, sendo 80 % homens e 20 % mulheres. A idade média dos condutores era de 39 anos, e a experiência média dirigindo, de 15 anos (CASTILLO RANGEL, 2015; CASTILLO RANGEL *et al.*, 2015; ANTT, 2016; SANTOS *et al.*, 2017). O Apêndice C apresenta a descrição técnica do simulador de direção mencionado neste estudo.

Para validar o comportamento dos condutores no simulador em relação ao observado nas medições realizadas *in loco*, os autores compararam as velocidades de operação medidas em dez locais do trecho e as respectivas velocidades de operação no simulador, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Comparação das velocidades de operação e *in loco*

Local	km	km	km	km	Km	km	km	km	km	km	Média	Desvio padrão
$V_{85}$ km/h* <i>in loco</i>	509,4	511,8	513,6	514,0	514,5	511,1	515,2	515,7	516,3	518,1	93	7
$V_{85}$ km/h* no simulador	95	107	110	111	111	101	112	125	116	114	110	8
Diferença (%)	13	20	22	23	25	11	9	20	32	16	19	7

(\*) A velocidade de operação praticada no trecho ( $V_{85}$ ) é a velocidade de operação mais alta praticada por 85 % dos usuários, medida *in loco*.

Fonte: Castillo Rangel (2015)

Os dados da Tabela mostram que as velocidades operacionais medidas no simulador de direção foram superiores quando comparadas às velocidades medidas *in loco*. Algumas hipóteses levantadas que poderiam explicar essa diferença entre as velocidades são: o tipo de veículo

utilizado (o que representa a dinâmica veicular); a ausência de aceleração lateral e de rampas ascendentes e descendentes; a falta de consequência física; e o fato de não haver, no ambiente virtual, impacto financeiro para o condutor (o que poderia impactar seu comportamento).

Castillo Rangel (2015) aplicou o teste *t-student* para dados pareados ( $t=9,13$  e  $p<0,01$ ) e verificou que houve uma diferença estatisticamente significativa entre as velocidades de operação *in loco* e no simulador de direção, com média de  $110\pm 8$  km/h contra  $93\pm 7$  km/h na rodovia. Entretanto, ao se analisar a correlação entre as velocidades de operação medidas *in loco* e no simulador, encontrou-se uma relação positiva, linear e significativa ( $r=0,68$  e  $p=0,03$ ). Ao comparar a curva de distribuição das velocidades *in loco* e no simulador de direção, apesar de as velocidades no simulador serem superiores, a distribuição delas foi semelhante. Com isso, Castillo Rangel (2015) concluiu que, embora as velocidades de operação no simulador tenham sido significativamente maiores que as velocidades medidas *in loco* (não atingindo a validade absoluta), a distribuição das velocidades foi semelhante, e quanto maior a velocidade de operação medida *in loco*, maior a velocidade de operação medida no simulador (atingindo a validade relativa entre as velocidades no simulador e no trecho real). A Figura 4.13 mostra a comparação das curvas de velocidades operacionais medidas pelo simulador e *in loco* no km 509+400 (CASTILLO RANGEL, 2015).

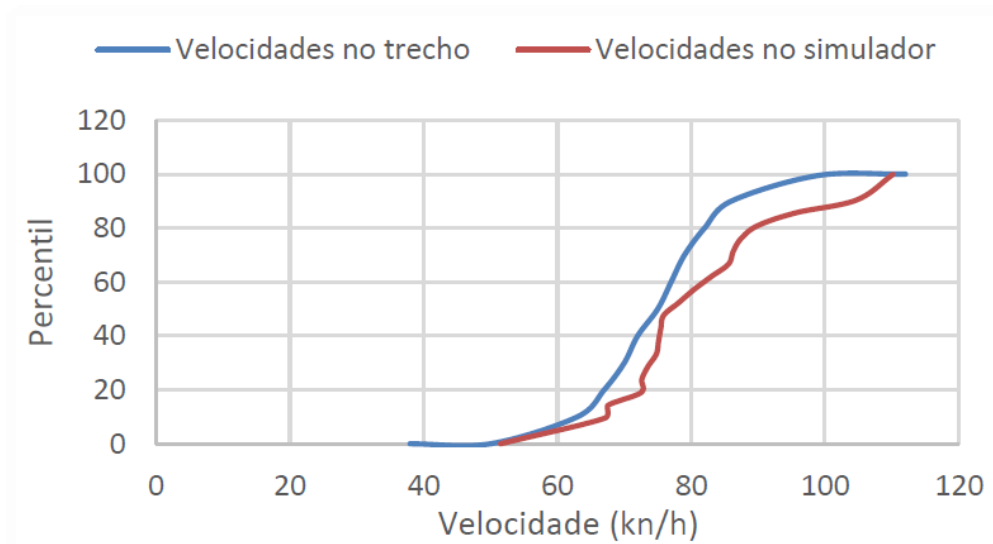


Figura 4.13: Comparação das curvas das velocidades no km 509+400m

Fonte: Castillo Rangel (2015)

Os simuladores de condução interativos são considerados ferramentas úteis para estudos sobre o comportamento do motorista em diferentes configurações de rodovia. Eles possuem

vantagens como bons níveis de realismo (de intermediário a alto grau), baixos custos de realização de experimentos, fácil coleta de dados, maior segurança para os condutores de testes e a possibilidade de realizar experiências em condições controladas.

#### 4.7. ETAPA 7: CONSISTÊNCIA DO PROJETO

Conforme mencionado na Seção 2.5, os critérios de segurança propostos por Lamm *et al.* (1999) para a análise da consistência do projeto são: critério de segurança I (compara a velocidade operacional e a velocidade de projeto para cada segmento); critério de segurança II (compara a velocidade operacional entre os elementos sucessivos do alinhamento) e critério de segurança III (analisa os aspectos dinâmicos do traçado, comparando os fatores de atrito assumidos e demandados). De acordo com Chai *et al.* (2013) e Zhong (2010), o diferencial de velocidade operacional entre dois elementos sucessivos da estrada é um indicador importante para avaliar a qualidade do projeto do alinhamento geométrico. Assim, conforme visto na Seção 2.3 e ainda com o método proposto na Seção 3.1, o critério de segurança II proposto por Lamm *et al.* (1999) é o que demonstra ser o mais adequado para este trabalho, pois permite analisar a diferença entre as velocidades operacionais em elementos sucessivos do alinhamento, refletindo o comportamento dos motoristas em relação às características geométricas da rodovia.

Para o desenvolvimento do modelo de previsão de velocidade operacional, Torres (2015) utilizou a taxa de mudança de curvatura (CCRs) para cada ponto coletado e rampa, conforme a Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Taxa de mudança de curvatura e rampa

Local	CCRs (gon <sup>1</sup> /km)	i (%)
509+400	396,2	2,111
511+100	334	5,986
511+800	182,6	5,986
513+600	0	5,985
514+100	105,6	5,985
514+500	0	6,060
515+200	185,1	1,802
515+700	229,2	6,010

<sup>1</sup>Gon é o símbolo de grado, uma unidade de ângulos planos equivalente a 0,9 do grau

Fonte: Torres (2015)

Para isso, Torres (2015) considerou a taxa de mudança de curvatura (CCR) como a soma absoluta das mudanças angulares por unidade de comprimento de um trecho de via, obtido através da Equação 4.2, proposta por Lamm *et al.* (1999).

$$CCRs = \frac{\left(\frac{L_{CL1}}{2R} + \frac{L_{CR}}{R} + \frac{L_{CL2}}{2R}\right) \times 63.700}{L} \quad (4.2)$$

Em que:

CCRs = taxa de mudança de curvatura de uma curva circular com curvas de transição (gon/km);

$L = L_{CL1} + L_{CR} + L_{CL2}$  = comprimento da curva (m);

R = raio da curva (m);

$L_{CL1}, L_{CL2}$  = comprimento das clotoides (antes e após a curva circular) (m);

$63.700 = 200/\pi \times 103$ .

A Figura 4.14 mostra os parâmetros da curva para o cálculo da clotoide.

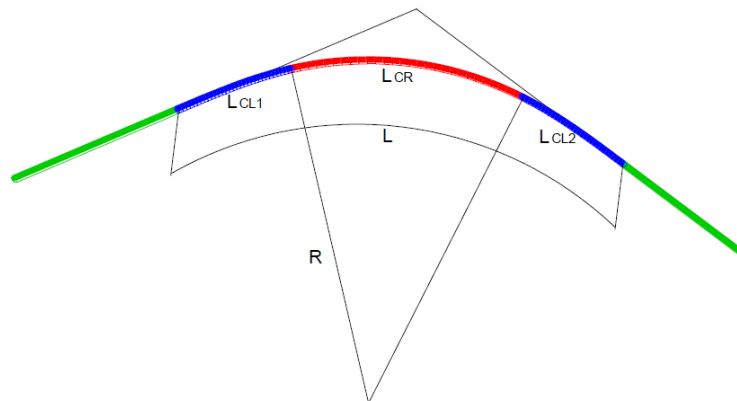


Figura 4.14: Parâmetros da curva para o cálculo da clotoide

Fonte: Torres (2015)

Ainda, com os dados da taxa de mudança de curvatura (CCR) e rampas (I), Torres (2015) estimou a velocidade operacional para todos os segmentos da rodovia por meio da Equação 4.1, conforme mostra a Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Velocidade operacional estimada para todos os segmentos do trecho analisado

Seção	Extensão (m)	Rampa (%)	CCR (m)	V85 (km/h)
C1	187,04	2,07	370,7	95,9
T1	59,29	2,07	0,0	103,3
C2	218,07	2,11	396,2	95,3
T2	37,76	2,11	0,0	103,2
C3	53,92	2,90	315,5	95,2
T3	237,47	2,9; -1,04	0,0	101,6
C4	141,73	-1,04	103,5	107,6
T4	308,61	-1,04	0,0	109,7
C5	5,94	-1,04	172,7	106,2
T5	272,18	-1,04	0,0	108,9
C6	100,71	5,99	333,9	88,5
T6	47,03	5,99	0,0	95,2
C7	220,66	5,99	291,6	89,4
T7	63,43	5,99	0,0	95,2
C8	82,56	5,99	182,6	91,6
T8	208,53	4,03	0,0	99,2
C9	344,49	4,03	103,5	97,2
T9	114,26	4,03	0,0	99,2
C10	188,93	4,03; 4,76	252,2	92,7
T10	52,61	4,76	0,0	97,7
C11	171,55	4,76	248,2	92,8
T11	303,16	5,99	0,0	95,2
C12	2,03	5,99	140,7	92,4
T12	51,39	5,99	0,0	95,2
C13	169,32	5,99	105,6	93,1
T13	573,68	5,99; 6,06	0,0	95,1
C14	44,77	6,06	293,5	89,2
T14	151,62	6,06; 3,90	0,0	99,5
C15	89,56	1,80	185,1	100,1
T15	216,35	1,8; 6,01	0,0	103,8
C16	107,61	6,01	229,2	90,6
T16	297,21	6,01	0,0	95,2
C17	56,79	6,01	257,2	90,0
T17	44,80	6,01	0,0	95,2
C18	162,43	6,01; 2,93	218,5	97,1
T18	358,73	2,93; 3,38	0,0	101,5
C19	363,60	3,38	182,9	96,9
T19	127,82	3,38	0,0	100,6
C20	263,74	3,38	279,3	95,0
T20	1446,74	3,38	0,0	100,6

Fonte: Torres (2015)

Com base nesses dados, foi possível aplicar o critério de segurança II proposto por Lamm (1999) para posterior análise dos auditores, conforme apresentado na Seção 5.3.

#### **4.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 4**

Este Capítulo apresentou a aplicação do método proposto para Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H) em que, de maneira pioneira no Brasil, os auditores puderam realizar inspeções na rodovia em ambientes virtuais e *in loco*. Para isso, foram gerados cenários da rodovia através de filmagens em 360° em períodos diurno e noturno, sob diferentes velocidades. Esta primeira parte do estudo corresponde as Etapas 1 a 5.

Ainda, a ASV-H propõe fornecer aos auditores informações quantificáveis sobre o comportamento dos motoristas diante dos elementos planimétricos sucessivos, isto é, sobre a consistência de projeto. Para isso, dados secundários produzidos por outras pesquisas, realizadas no mesmo trecho, foram utilizados neste trabalho, onde foi possível obter dados sobre o perfil de velocidade praticado pelos motoristas, integrando a segunda parte do método proposto (Etapas 6 e 7). Os resultados são apresentados no Capítulo 5.

## CAPÍTULO 5

---

### 5. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Este Capítulo tem como objetivo apresentar e analisar os resultados obtidos por meio da aplicação do método de Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H) e, ainda, verificar a hipótese do estudo através da realização de testes estatísticos com base nos resultados das inspeções efetuadas pelos Grupos A e B.

#### 5.1. RESULTADOS PARA INSPEÇÕES EM AMBIENTES VIRTUAIS E *IN LOCO*

Do total dos 234 itens propostos da lista de verificação desenvolvida neste trabalho (APÊNDICE D), foram utilizados para as análises estatísticas apenas os itens com respostas de todos os auditores. Sendo assim, 126 itens foram analisados (53,84 % dos itens propostos). O restante (46,15 %) não foi avaliado por dois motivos. Porque: a) o item não se aplicava ao trecho inspecionado, por exemplo, a presença de controle semafórico e de interseção; ou b) porque não havia resposta de todos os auditores, de ambos os grupos, para posterior análise.

Nas inspeções do Grupo A, todos os 126 itens foram checados somente *in loco*. Nas inspeções do Grupo B, 111 itens foram checados de modo virtual (88,1 % das inspeções) e 15 *in loco* (11,9% das inspeções). A Tabela 5.1 mostra a quantidade de itens de verificação avaliados neste trabalho de acordo com o grupo da lista de verificação (*checklist*) e com o método de inspeção utilizado.

Tabela 5.1: Quantidade de itens de verificação avaliados

Grupos	Itens de verificação	Grupo A (tradicional)	Grupo B (híbrida)	
		Itens avaliados <i>in loco</i>	Itens inspecionados em ambientes virtuais	Itens inspecionados <i>in loco</i>
1	Alinhamento rodoviário e Seção transversal	19	15	4
2	Faixas auxiliares	5	5	0
3	Interseções		Não se aplica	
4	Iluminação e sinalização vertical/semafórica	16	16	0
5	Sinalização horizontal e delineamento	21	20	1
6	Dispositivos de contenção e zonas livres de obstáculos	14	13	1
7	Pedestres e ciclistas	10	9	1
8	Pontes e bueiros	8	7	1
9	Pavimento	5	1	4
10	Estacionamento e veículos pesados	10	9	1
11	Drenagem superficial	2	1	1
12	Diversos	16	15	1
Total inspecionado		126	111	15
Total de itens da lista completa (Apêndice D)		234	191	43
Porcentagem (%) em relação à lista completa (Apêndice D)		53,84	58,12	34,88

Este trabalho buscou analisar se os resultados obtidos nas inspeções híbrida e tradicional são iguais, isto é, pretende-se verificar se as avaliações feitas utilizando óculos de realidade virtual



(ORV) combinadas com as avaliações feitas em campo são idênticas à avaliação feita integralmente em campo.

### 5.1.1. Análise gráfica e por medidas de dispersão

Neste trabalho, optou-se pela apresentação gráfica do *boxplot* pelo fato de ele permitir visualizar, além das medidas de posição, a variabilidade e a simetria dos dados. Esse tipo de gráfico é útil para localizar e detectar diferenças nos comportamentos de grupos de variáveis em relação à variabilidade, à simetria e à distribuição, bem como para averiguar a existência de valores dispersos no conjunto de dados (GRANATO *et al.*, 2018). As medidas de estatísticas descritivas como o mínimo, o máximo, o primeiro quartil, o segundo quartil ou a mediana e o terceiro quartil formam o *boxplot*, construído com as respostas obtidas por intermédio das inspeções realizadas pelo Grupo A, com inspeções de campo; e pelo Grupo B, com inspeções híbridas; e mostrado na Figura 5.1. Pelo gráfico, observa-se que os valores das medianas dos dois grupos são praticamente iguais, porém é possível notar uma maior variabilidade entre o primeiro quartil e o segundo quartil nos valores, resultado das inspeções híbridas em relação às inspeções de campo.

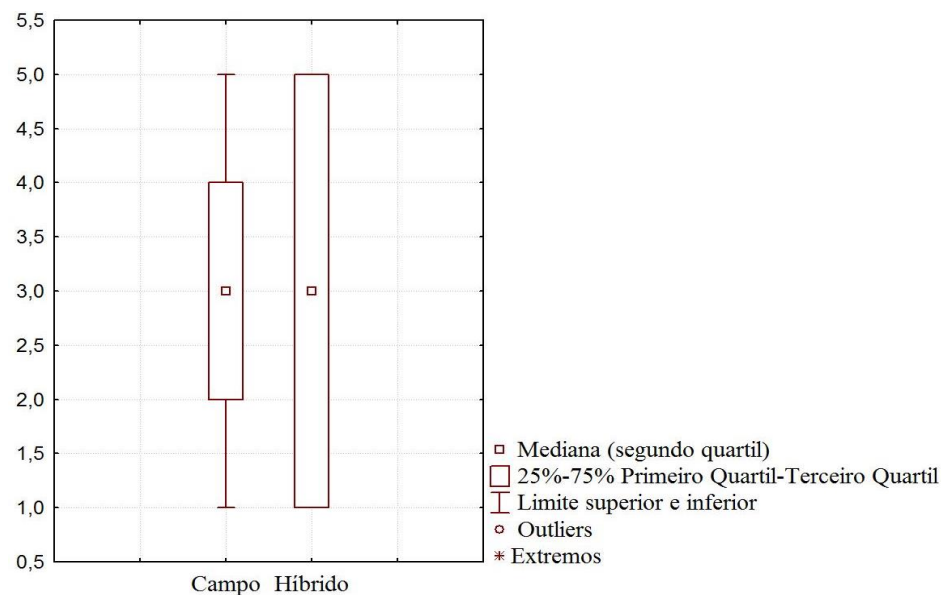


Figura 5.1: *Boxplot* comparativo do conjunto de itens inspecionados em campo (à esquerda) e em inspeção híbrida (direita)

A equipe de auditoria, de posse do *boxplot* dos itens dos grupos do *checklist*, juntamente com a atualização constante dos projetos e com os documentos listados na Etapa 2 da Seção 3.1, pode organizar o prontuário da Auditoria de Segurança Viária – PASV, conforme recomenda a Etapa 10 da mesma Seção.

O Coeficiente de Variação (CV) indica a dispersão dos dados de forma relativa, pois quanto menor o valor do coeficiente de variação, mais homogêneas são as respostas, ou seja, menor será a dispersão em torno da média. O CV é dado pela Equação 5.1.

$$CV = 100x \left( \frac{DP}{\bar{X}} \right) \quad 5.1$$

Em que:

CV = Coeficiente de Variação (%);

DP = Desvio Padrão;

$\bar{X}$  = Média do grupo de verificação (nesse caso, IGASV).

A Tabela 5.2 mostra os Coeficientes de Variação (CV) para todos os itens dos grupos do *checklist* (Tradicional e Híbrido), e também para cada grupo do *checklist* em separado. Analisando separadamente o CV para as respostas totais obtidas para os grupos, nota-se a semelhança entre os resultados obtidos das inspeções tradicionais (em campo) (CV=47,59%) e das inspeções híbridas (CV=49,1 %), indicando níveis de dispersão similares para os resultados obtidos para os dois procedimentos de inspeção. Ao analisar a dispersão por grupo da lista de verificação (coluna CV da Tabela 5.2), em geral, os resultados obtidos para a inspeção híbrida apresentam os menores valores de CV. Somente no caso dos Grupos 1, 4, 6, 8 e 12 essa situação não ocorre. Esse resultado pode ser em virtude das condições mais controladas disponíveis para a realização da inspeção com ORV, o que pode deixar o auditor mais tranquilo para observar os elementos em análise.

Tabela 5.2: Coeficiente de Variação para os grupos do *checklist*

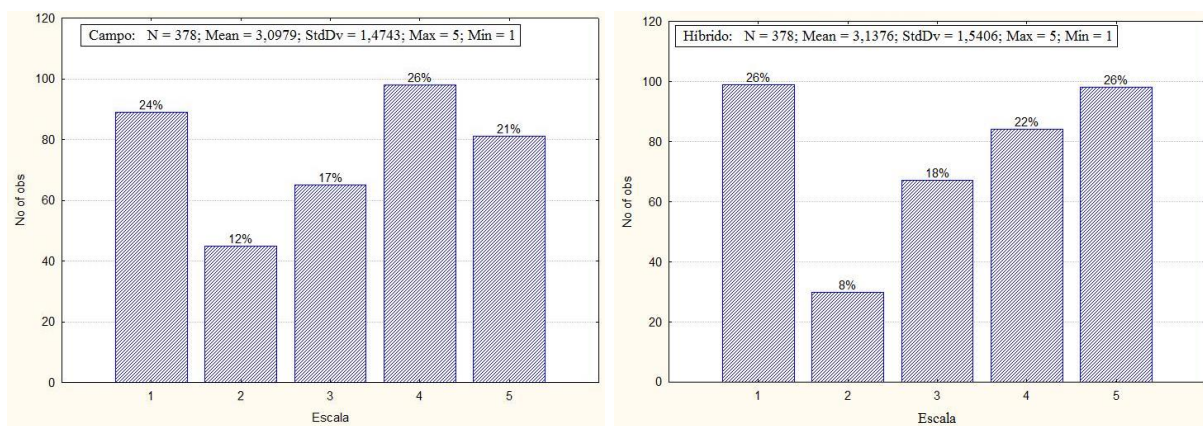
Grupo do <i>checklist</i>	Mét. de aval.	IGASV (Média)	DP	CV
Grupo 1	Tradicional	3,456	1,582	45,77%*
	Híbrido	3,281	1,521	46,35%
Grupo 2	Tradicional	3,067	1,033	33,68%
	Híbrido	4,267	0,594	13,91%*
Grupo 3	Não avaliado			
Grupo 4	Tradicional	3,250	1,246	38,35%*
	Híbrido	3,333	1,478	44,34%
Grupo 5	Tradicional	3,603	1,314	36,47%
	Híbrido	4,190	1,120	26,72%*
Grupo 6	Tradicional	2,571	1,328	51,64%*
	Híbrido	2,310	1,278	55,34%
Grupo 7	Tradicional	1,200	0,551	45,91%
	Híbrido	1,000	0,000	0,00%*
Grupo 8	Tradicional	3,792	1,103	29,08%*
	Híbrido	3,958	1,367	34,53%
Grupo 9	Tradicional	3,333	1,397	41,92%
	Híbrido	3,067	0,884	28,82%*
Grupo 10	Tradicional	3,700	1,368	36,98%
	Híbrido	3,533	1,167	33,02%*
Grupo 11	Tradicional	1,500	1,225	81,65%
	Híbrido	1,167	0,408	34,99%*
Grupo 12	Tradicional	2,917	1,471	50,43%*
	Híbrido	2,708	1,515	55,95%
Total	Tradicional	3,098	1,474	47,59%*
	Híbrido	3,138	1,541	49,10%

(\*) menor dispersão

Ainda na Tabela 5.2, vale destacar o CV de 81,65 % observado para a inspeção em campo dos itens do Grupo 11, referente aos elementos de Drenagem. Ao buscar os dados de inspeção dos auditores, foi possível verificar um resultado discrepante dentre as três avaliações realizadas. Porém o item veio com uma anotação que indica a marcação inadequada na escala, pois foi atribuída a gradação 4 com a observação: “O relevo impossibilita a adequada posição dos bueiros”. Para essa conclusão, o auditor deveria ter atribuído a gradação 1 ou, no máximo, 2.

A Figura 5.2 traz o diagrama de barras gerado para os resultados obtidos por gradação da escala para cada tipo de inspeção (*in loco* e híbrida). As médias e o desvio padrão observados para os dois grupos foram também próximos, indicando que as inspeções trouxeram, em média, respostas similares:

- Inspeção *in loco*: média = 3,10; desvio-padrão = 1,47;
- Inspeção híbrida: média = 3,14; desvio-padrão = 1,54.



(a) Inspeção de campo

(b) Inspeção híbrida

Figura 5.2: Diagrama de barras da frequência de observações por valor da escala

A Figura 5.3 mostra detalhes da sinalização horizontal e dos dispositivos de segurança através das imagens geradas pela câmera Gear 360° da Samsung® e posicionada em um caminhão pipa na velocidade de 30 km/h.



Figura 5.3: Imagem obtida pela câmera Gear 360° referente à sinalização horizontal e aos dispositivos de segurança

A Figura 5.4 mostra detalhes da sinalização vertical obtidos pela mesma câmera a 30 km/h.



Figura 5.4: Imagem obtida pela câmera Gear 360° referente à sinalização vertical

Como feedback dos auditores sobre as inspeções virtuais, foi relatado que as filmagens em 360° em caminhão, a 30 km/h, proporcionaram maior riqueza de detalhes, principalmente quando da análise da sinalização horizontal, da conspicuidade dos sinais verticais e da área lateral à pista de rolamento (zonas livres).

### ***5.1.2. Análise Estatística***

Foi utilizado o teste *t* de *Student* sobre as médias das respostas obtidas para os dois grupos com duas amostras independentes (grupos A e B) com valor de significância de  $p < 0,05$ . Os testes

foram realizados no *software* Statistica (STATSOFT INC, 2005). Os parâmetros com nível de significância do teste *t* de *Student* superior a 5 %, considerados não significativos, indicaram a potencialidade do uso de ORV para realizar inspeções de segurança viária.

A Tabela 5.3 traz os resultados do teste de significância para todos os grupos dos itens de verificação, e nela são apresentadas as médias de cada grupo (Índice Médio de cada Grupo de Verificação – IGASV, obtido pela Equação 3.2), o intervalo de confiança, a mediana, a moda, a frequência da moda, os valores mínimo e máximo, a variância, o desvio padrão e o erro padrão, além dos valores de  $\rho$ , em que  $\rho > \alpha$  – não rejeita  $H_0$  e  $\rho \leq \alpha$  – rejeita  $H_0$ . O item 3, referente às interseções, não pôde ser verificado, pois não se aplicava ao trecho selecionado.

Tabela 5.3: Cálculo do IGASV e teste de significância para os grupos da lista de verificação

Grupo do checklist	Mét. de aval.	IGASV (Méd)	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq.da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Padr.	Erro Pad.	<i>p</i>	Região de rejeição
grupo 1	Tradicional	3,456	3,036	3,876	4	5	21	1	5	2,503	1,582	0,210	0,547	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	3,281	2,877	3,684	4	5	16	1	5	2,313	1,521	0,201		
grupo 2	Tradicional	3,067	2,495	3,639	3	3	6	1	5	1,067	1,033	0,267	0,001*	Rejeita $H_0$
	Híbrido	4,267	3,938	4,595	4	4	9	3	5	0,352	0,594	0,153		
grupo 3	Não avaliado													
grupo 4	Tradicional	3,250	2,888	3,612	3	4	16	1	5	1,553	1,246	0,180	0,766	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	3,333	2,904	3,762	4	4	14	1	5	2,184	1,478	0,213		
grupo 5	Tradicional	3,603	3,272	3,934	4	4	20	1	5	1,727	1,314	0,166	0,008*	Rejeita $H_0$
	Híbrido	4,190	3,909	4,472	5	5	35	1	5	1,253	1,120	0,141		
grupo 6	Tradicional	2,571	2,158	2,985	3	1	13	1	5	1,763	1,328	0,205	0,360	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	2,310	1,911	2,708	2	1	17	1	5	1,634	1,278	0,197		
grupo 7	Tradicional	1,200	0,994	1,406	1	1	26	1	3	0,303	0,551	0,101	0,052	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	1,000			1	1	30	1	1	0,000	0,000	0,000		
grupo 8	Tradicional	3,792	3,326	4,257	4	5	8	2	5	1,216	1,103	0,225	0,644	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	3,958	3,381	4,535	5	5	12	1	5	1,868	1,367	0,279		
grupo 9	Tradicional	3,333	2,560	4,107	4	2	5	1	5	1,952	1,397	0,361	0,537	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	3,067	2,577	3,556	3	3	10	1	5	0,781	0,884	0,228		
grupo 10	Tradicional	3,700	3,189	4,211	4	5	11	1	5	1,872	1,368	0,250	0,614	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	3,533	3,098	3,969	4	Mult.	9	1	5	1,361	1,167	0,213		
grupo 11	Tradicional	1,500	0,215	2,785	1	1	5	1	4	1,500	1,225	0,500	0,541	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	1,167	0,738	1,595	1	1	5	1	2	0,167	0,408	0,167		
grupo 12	Tradicional	2,917	2,490	3,344	3	4	15	1	5	2,163	1,471	0,212	0,496	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	2,708	2,268	3,148	3	1	16	1	5	2,296	1,515	0,219		
Total	Tradicional	3,098	2,949	3,247	3	4	98	1	5	2,173	1,474	0,076	0,718	Não rejeita $H_0$
	Híbrido	3,138	2,982	3,293	3	1	99	1	5	2,374	1,541	0,079		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

Nota-se, pela Tabela 5.3, que, no geral, não há diferenças significativas entre as avaliações realizadas de maneira tradicional (em campo) e as avaliações realizadas de maneira híbrida

(campo e com uso dos ORV), exceto para os itens do Grupo 2 (Faixas auxiliares) e do Grupo 5 (Sinalização horizontal e delineamento).

Ao analisar todos os itens de verificação do Grupo 2 (Faixas auxiliares), notam-se diferenças significativas relativas aos posicionamentos dos *tapers* e à distância de visibilidade, correspondendo às médias do item 2.1.1 – “Os *tapers* de início e fim estão corretamente localizados e alinhados?” – e do item 2.1.2 – “Há distância de visibilidade suficiente para o final das faixas auxiliares?”. A Tabela 5.4 mostra o teste de significância para o Grupo 2 com o cálculo das médias de cada item do grupo (Índice Médio de Verificação de Auditoria de Segurança Viária – IMVASV, obtido pela Equação 3.1), o intervalo de confiança, a mediana, a moda, a frequência da moda, os valores mínimo e máximo, a variância, o desvio padrão e o erro padrão, bem como os valores de  $p$ , em que  $p > \alpha$  – não rejeita  $H_0$ , e  $p \leq \alpha$  – rejeita  $H_0$ .

Tabela 5.4: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do Grupo 2 (Faixas auxiliares)

Grupo 2	IMVASV (Méd)	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.Máx.	Var.	Desv. Pad.	Erro Pad.	Assim.	$p$	Região de Rejeição
2.1.1	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2 3	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,024*	Rejeita $H_0$
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4 5	0,333	0,577	0,333	1,732		
2.1.2	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2 3	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,013*	Rejeita $H_0$
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4 5	0,333	0,577	0,333	-1,732		
2.3.1	2,333	-1,461	6,128	2	Mult.	1	1 4	2,333	1,528	0,882	0,935	0,132	Não rejeita $H_0$
	4,000			4	4	3	4 4	0,000	0,000	0,000			
2.3.2	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4 5	0,333	0,577	0,333	1,732	0,519	Não rejeita $H_0$
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4 5	0,333	0,577	0,333	-1,732		
2.3.3	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3 4	0,333	0,577	0,333	1,732	0,519	Não rejeita $H_0$
	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3 4	0,333	0,577	0,333	-1,732		
Total Tradicional	3,067	2,495	3,639	3	3	6	1 5	1,067	1,033	0,267	-0,149	0,001*	Rejeita $H_0$
Total Híbrido	4,267	3,938	4,595	4	4	9	3 5	0,352	0,594	0,153	-0,091		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

Para o Grupo 5, as diferenças foram observadas para três itens: a) adequação da sinalização horizontal para diferentes condições (dia, noite, molhado, seco, neblina, nascer e pôr do sol, faróis do tráfego oposto etc.); b) condições das tachas refletivas; e c) adequada visibilidade da sinalização horizontal em termos de contraste em relação ao pavimento. Os itens onde se notaram diferenças significativas foram o item 5.1.3 – “A sinalização horizontal e o delineamento estão eficazes em todas as condições esperadas (dia, noite, molhado, seco, neblina, nascer e pôr do sol, faróis do tráfego oposto etc.)?” –; o item 5.2.4 – “Se há tachas refletivas, elas estão implantadas corretamente, nas cores corretas, e estão em boas condições?”

–; e o item 5.2.8 – “Existe contraste suficiente entre a sinalização horizontal e a cor do pavimento?”. A Tabela 5.5 mostra o teste de significância para o Grupo 5 (Sinalização horizontal e Delineamento), com o cálculo das médias (IMVASV), o intervalo de confiança, a mediana, a moda, a frequência da moda, os valores mínimo e máximo, o desvio padrão e o erro padrão, além dos valores de  $\rho$ , em que  $\rho > \alpha$  – não rejeita  $H_0$  e  $\rho \leq \alpha$  – rejeita  $H_0$ .



Tabela 5.5: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do Grupo 5  
(Sinalização horizontal e delineamento)

Item	IMVASV (Méd)	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Pad.	Erro Pad.	Assim.	<i>p</i>	Região de rejeição
5.1.1	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,000	1,000	Não rejeita H0
	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,000		
5.1.2	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2	3	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,116	Não rejeita H0
	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,000		
5.1.3	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		0,002*	Rejeita H0
	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3	4	0,333	0,577	0,333	1,732		
5.1.4	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.2.1	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,732	0,116	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.2.3	2,667	-2,504	7,838	2	Mult.	1	1	5	4,333	2,082	1,202	1,293	0,345	Não rejeita H0
	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333	1,732		
5.2.4	1,667	0,232	3,101	2	2	2	1	2	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,016*	Rejeita H0
	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000			
5.2.5	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2	3	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,101	Não rejeita H0
	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	-1,732		
5.2.6	1,667	-1,202	4,535	1	1	2	1	3	1,333	1,155	0,667	1,732	0,725	Não rejeita H0
	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577	0,000		
5.2.7	3,000	0,516	5,484	3	Mult.	1	2	4	1,000	1,000	0,577	0,000	0,116	Não rejeita H0
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,732		
5.2.8	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3	4	0,333	0,577	0,333	1,732	0,047*	Rejeita H0
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	-1,732		
5.3.2	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,116	Não rejeita H0
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000			
5.3.3	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.4.1	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,422	Não rejeita H0
	4,333	1,465	7,202	5	5	2	3	5	1,333	1,155	0,667	-1,732		
5.4.2	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.4.3	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.4.4	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	-1,732	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.4.5	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,000	0,643	Não rejeita H0
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,732		
5.4.6	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,732	0,116	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.4.7	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,732	0,116	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
5.4.8	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,732	0,116	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000			
Total Tradicional	3,603	3,272	3,934	4	4	20	1	5	1,727	1,314	0,166	-0,716	0,008*	Rejeita H0
Total Híbrido	4,190	3,909	4,472	5	5	35	1	5	1,253	1,120	0,141	-1,387		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

Quanto às diferenças observadas para os itens do Grupo 2, é válido ressaltar a observação dos especialistas que fizeram a inspeção híbrida e indicaram a adequação de incluir nos vídeos imagens com detalhes de elementos como *tapers*, faixas auxiliares e interseções. Já em relação

às diferenças observada no Grupo 5, suspeita-se que ocorreram devido ao fato de não terem sido feitas filmagens com tempo chuvoso, situação essa presenciada pela equipe que realizou a ASV tradicional quando da vistoria à noite.

A Tabela 5.6 mostra o teste de significância para o Grupo 9 (Pavimentos), com o cálculo das médias (IMVASV), o intervalo de confiança, a mediana, a moda, a frequência da moda, os valores mínimo e máximo, o desvio padrão e o erro padrão, assim como os valores de  $p$ , em que  $p > \alpha$  – não rejeita  $H_0$  e  $p \leq \alpha$  – rejeita  $H_0$ .

Tabela 5.6: Cálculo do IMVASV e teste de significância para os itens do Grupo 9 (Pavimento)

Item	IMVASV (Méd)	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Pad.	Erro Pad.	Assim.	$p$	Região de Rejeição
9.1.1	2,667	-0,202	5,535	2	2	2	2	4	1,333	1,155	0,667	1,732	0,643	Não rejeita $H_0$
	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000			
9.1.3	3,667	-0,128	7,461	4	Mult.	1	2	5	2,333	1,528	0,882	-0,935	0,492	Não rejeita $H_0$
	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000			
9.2.1	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,732	0,230	Não rejeita $H_0$
	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	-1,732		
9.3.1	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577	0,000	0,725	Não rejeita $H_0$
	2,333	-0,535	5,202	3	3	2	1	3	1,333	1,155	0,667	-1,732		
9.4.1	4,000	-0,303	8,303	5	5	2	2	5	3,000	1,732	1,000	-1,732	0,643	Não rejeita $H_0$
	3,333	-0,461	7,128	3	Mult.	1	2	5	2,333	1,528	0,882	0,935		
Total Tradicional	3,333	2,560	4,107	4	2	5	1	5	1,952	1,397	0,361	-0,148	0,537	Não rejeita $H_0$
Total Híbrido	3,067	2,577	3,556	3	3	10	1	5	0,781	0,884	0,228	-0,142		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

Para o Grupo 9 (Pavimentos), como era esperado, não houve diferença significativa entre a média das respostas (IMVASV), pois grande parte dos itens desse grupo foi avaliada pelas duas equipes da mesma forma, ou seja, *in loco*. Dos itens referentes ao pavimento, apenas um, relativo à presença de defeitos do pavimento, foi inspecionado de forma diferente pelos dois grupos (em campo e por ORV): o item 9.1.3 – “o pavimento está livre de defeitos (por exemplo, rugosidade excessiva, desagregação, buracos, material solto etc.) que poderiam resultar em problemas de segurança (por exemplo, perda do controle de direção)?”. Mesmo assim, as diferenças das médias das respostas não apresentaram diferenças significativas.

A Tabela 5.7 apresenta a síntese com os itens de todos os grupos cujas diferenças foram significativas (13,5% dos itens avaliados), onde o grupo 4 apresentar a maior quantidade de itens cujas diferenças foram significativas (iluminação e sinalização semafórica), seguido pelo grupo 5 (sinalização horizontal) e grupo 12 (diversos).

Tabela 5.7: Resumo de itens significativos para todos os grupos

Grupo do checklist	itens cujas diferenças foram significativas	Quantidade dos itens cujas diferenças foram significativas	<i>p</i>	Resumo do item
grupo 1	1.8.1	2	0,016	se há superelevação apropriada prevista
	1.8.3		0,000	se as inclinações da seção transversal permitem uma drenagem adequada
grupo 2	2.1.1	2	0,024	se os tapers de início e fim estão corretamente localizados e alinhados
	2.1.2		0,013	se há distância de visibilidade suficiente para o final das faixas auxiliares
grupo 3	grupo não avaliado			-
grupo 4	4.1.2	5	0,016	se a iluminação no trecho está adequada
	4.2.6		0,007	se os sinais verticais e dispositivos de balizamento são visíveis (dia e noite)
	4.2.8		0,047	se a distância de legibilidade dos sinais verticais e dispositivos de balizamento estão satisfatórios
	4.2.10		0,047	se os sinais verticais e dispositivos de balizamento estão livres de obstruções ou distrações adjacentes
	4.2.14		0,008	se os sinais verticais estão protegidos (defensas, barreiras ou amortecedores de impacto)
grupo 5	5.1.3	3	0,002	se a sinalização horizontal e delineamento estão eficazes em todas as condições (dia, noite, chuva)
	5.2.4		0,016	se as tachas refletivas estão implantadas corretamente, nas cores corretas e em boas condições
	5.2.8		0,047	se existe contraste suficiente entre a sinalização horizontal e a cor do pavimento
grupo 6	6.1.1	1	0,000	se a via atende as normas vigentes quanto a instalação de dispositivos de contenção central e lateral
grupo 7	-	-		-
grupo 8	-	-		-
grupo 9	-	-		-
grupo 10	10.1.1	1	0,047	se a permissão ou restrição de estacionamento é satisfatória em relação à segurança da via
grupo 11	-	-		-
grupo 12	12.1.2	3	0,035	se as distâncias de visibilidade existentes serão mantidas após o crescimento futuro das plantas
	12.5.2		0,026	se a área lateral à pista encontra-se sem obstruções e pode ser utilizada por veículos errantes
	12.7.1		0,002	se a via está livre de animais
Total de itens avaliados		126		
Total de itens significativos		17		
Porcentagem de itens significativos (%)		13,5		
Porcentagem de itens não significativos (%)		86,5		

Observando os itens cujas as diferenças foram significativas da Tabela 5.7, suspeita-se, também, que ocorreram devido ao fato de não haver filmagens com tempo chuvoso, interferindo na análise da equipe de ASV tradicional em comparação com a equipe de ASV híbrida. O restante da análise dos itens de verificação com os respectivos testes de significância e IMVASV podem ser encontrados no Apêndice E.

### ***5.1.3. Considerações finais sobre inspeções híbridas***

Os resultados obtidos com as inspeções híbridas não apresentaram diferenças significativas das médias das respostas em comparação com as inspeções realizadas de maneira tradicional (86,5% dos itens avaliados), indicando o forte potencial de utilização desse procedimento de ASV, sem prejuízo dos resultados. Os resultados obtidos indicam que o uso dessa tecnologia para apoiar a ASV é promissor. Dessa forma, propõe-se a utilização do procedimento de ASV-H, de modo a agilizar e aumentar a segurança dos auditores (que ficariam expostos ao tráfego por menos tempo), diminuindo assim o tempo e os custos das futuras auditorias, auxiliando os auditores a identificar, priorizar e implementar melhorias de segurança. Destaca-se a implementação prática e eficiente desse novo método, auxiliando os auditores nas análises para as tomadas de decisão quanto à segurança viária da rodovia.

## **5.2. AVALIAÇÃO DO APLICATIVO *CHECKOPAPP***

Para facilitar a coleta de dados no processo de inspeção foi desenvolvido e implementado o aplicativo de *checklist* para vias em operação intitulado *CheckOpApp*. O aplicativo foi utilizado neste estudo de caso, isto é, no trecho de 10 km da rodovia BR-116/SP – Rodovia Régis Bittencourt. Tal trecho foi escolhido devido às dificuldades inerentes às inspeções *in loco*, sendo essa rodovia considerada uma das mais críticas em número de acidentes, figurando no grupo daquelas que operam com os maiores volumes de tráfego de veículos pesados do país (MASSARO *et al.*, 2018).

De modo a garantir a segurança da equipe envolvida no trabalho de campo, a concessionária que administra o trecho e a ANTT forneceram apoio operacional. Dessa forma, as inspeções em campo foram realizadas com o apoio de viaturas de fiscalização (ANTT) e com escolta de viatura de tráfego e de caminhão-pipa da concessionária. A Figura 5.5 mostra os auditores

realizando as inspeções da segurança da rodovia *in loco* (Figura 5.5a) utilizando o aplicativo móvel *CheckOpApp* através de *Smartphone* (Figura 5.5b).



(a) Inspeção *in loco*

(b) Smartphone utilizado

Figura 5.5: Teste do aplicativo móvel *CheckOpApp* em inspeção *in loco*

A fim de validar a ferramenta móvel *CheckOpApp*, os mesmos especialistas que participaram da coleta de dados referente às inspeções (*in loco* e em ambiente virtual) responderam, posteriormente, a um questionário de avaliação do aplicativo. Esse questionário trouxe elementos relativos à aplicabilidade dos itens que compõem o *checklist* para a inspeção realizada, ao formato da lista de verificação em aplicativo móvel (facilidade, comodidade) e ao desempenho do aplicativo no *smartphone* utilizado (velocidade, travamento etc.). O questionário é composto de sete questões de múltipla escolha, com cinco alternativas, na escala de (1), para a opinião “discordo totalmente”, até (5), para “concordo totalmente”. As questões aplicadas foram:

Questão 1) O aplicativo atende aos requisitos propostos?

Questão 2) Você usaria esse aplicativo no dia a dia de trabalho da rodovia?

Questão 3) A interface do aplicativo é de fácil compreensão?

Questão 4) O aplicativo é executado sem problemas no seu telefone celular?

Questão 5) A velocidade de execução do aplicativo é boa?

Questão 6) O layout é agradável?

Questão 7) O aplicativo possui um alto grau de utilidade dentro das atividades do departamento?

Dentre as sete questões que compõem o questionário de avaliação do aplicativo *CheckOpApp*,

cinco são relacionadas à aplicabilidade da ferramenta e duas visam avaliar o desempenho do *software* no aparelho celular utilizado por cada um dos especialistas na ocasião da coleta dos dados. A Tabela 5.8 traz as respostas obtidas com os auditores após sua experiência de utilização do aplicativo *CheckOpApp*, que mostra o desvio padrão das respostas de cada questão e o coeficiente de variação (CV) para medir a dispersão de forma relativa, pois, conforme já dito, quanto menor for o valor do CV, mais homogêneas são as respostas, ou seja, menor será a dispersão em torno da média (RIGONATTO, 2019).

Tabela 5.8: Respostas às questões sobre a utilização do aplicativo *CheckOpApp*

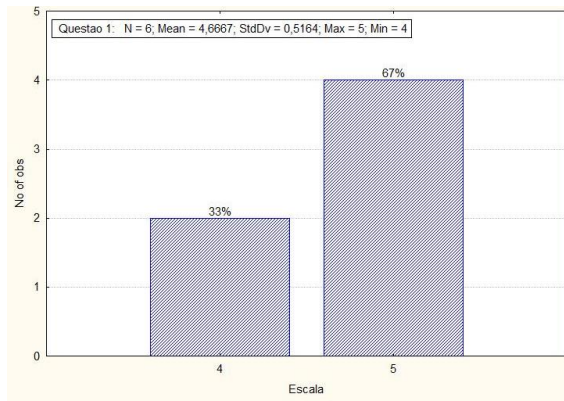
Questões sobre a utilização do Aplicativo <i>CheckOpApp</i>							
Auditores	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6	Questão 7
1	4	3	2	5	5	3	2
2	4	4	3	5	5	3	4
3	5	5	4	5	5	5	5
4	5	4	4	2	4	4	4
5	5	4	3	5	5	3	4
6	5	5	4	5	4	4	5
Média	04,67	04,17	03,33	04,50	04,67	03,67	04,00
Desvio padrão	00,52	00,75	00,82	01,22	00,52	00,82	01,10
Coef. Variação	11,07%	18,07%	24,49%	27,22%	11,07%	22,27%	27,39%

A estatística descritiva foi utilizada com o intuito de subsidiar o processo de validação em função dos objetivos. Como produto final da validação do questionário, obteve-se a estatística descritiva dos fatores. A Tabela 5.9 traz o resumo da análise estatística descritiva para todas as questões, com n=6 avaliadores (especialistas), com o cálculo da média, o intervalo de confiança, a mediana, a moda, a frequência da moda, os valores mínimo e máximo e o desvio padrão.

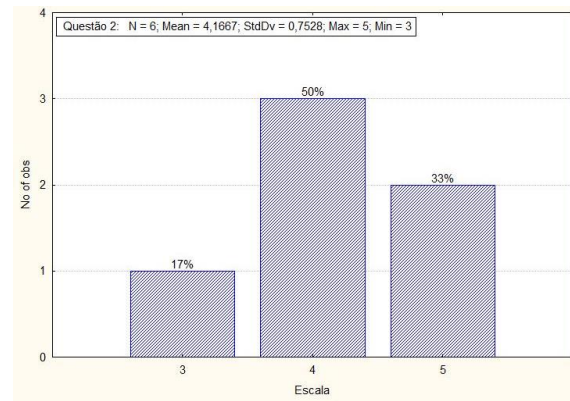
Tabela 5.9: Resultados sobre a utilização do aplicativo *CheckOpApp*

Questões	Nº Avaliadores	Média	Mediana	Moda	Frequência da Moda	Soma	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão
1	6	4,67	5,00	5,00	4,00	28,00	4,00	5,00	0,27	0,52
2	6	4,17	4,00	4,00	3,00	25,00	3,00	5,00	0,57	0,75
3	6	3,33	3,50	4,00	3,00	20,00	2,00	4,00	0,67	0,82
4	6	4,50	5,00	5,00	5,00	27,00	2,00	5,00	1,50	1,22
5	6	4,67	5,00	5,00	4,00	28,00	4,00	5,00	0,27	0,52
6	6	3,67	3,50	3,00	3,00	22,00	3,00	5,00	0,67	0,82
7	6	4,00	4,00	4,00	3,00	24,00	2,00	5,00	1,20	1,10

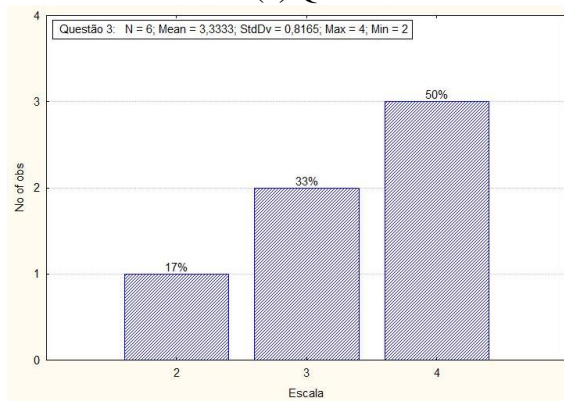
A Figura 5.6 traz os diagramas de barras de frequência das respostas, em que o eixo das abscissas mostra a escala da resposta dos avaliadores, e o eixo das ordenadas, o respectivo número de observações para as respostas proferidas. Os picos, que são os agrupamentos mais altos de barras, representam os valores mais comuns (respostas dos avaliadores).



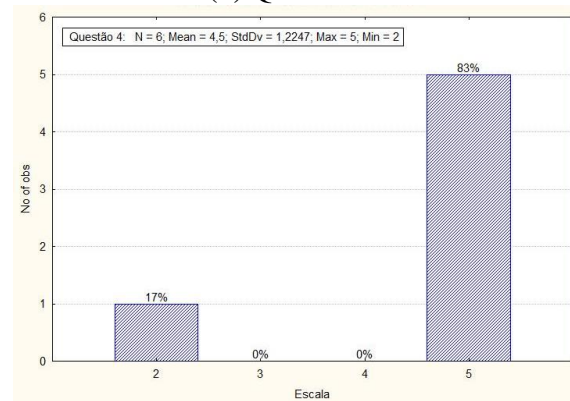
(a) Questão 1



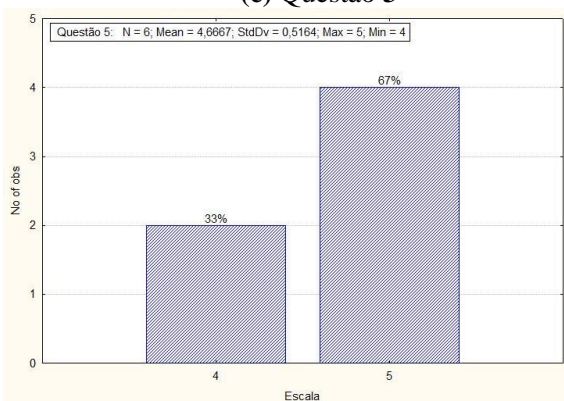
(b) Questão 2



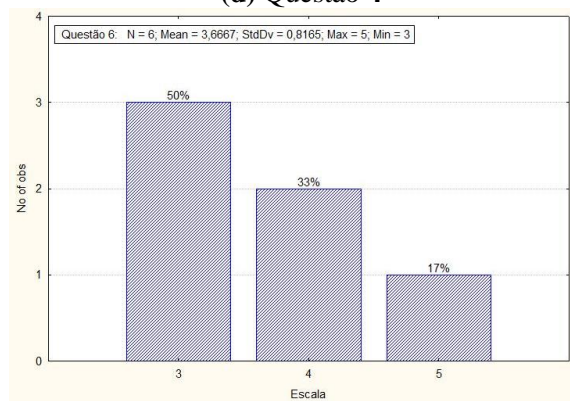
(c) Questão 3



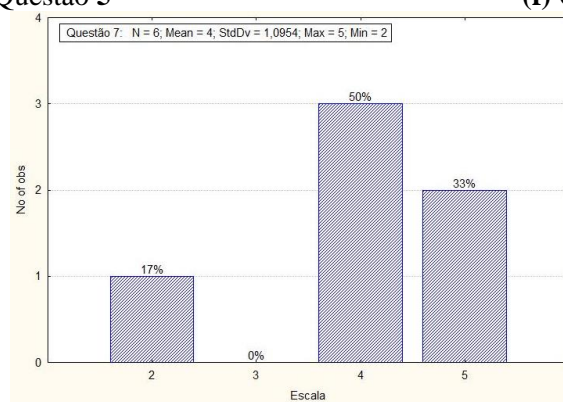
(d) Questão 4



(e) Questão 5



(f) Questão 6



(g) Questão 7

Figura 5.6: Avaliação sobre a utilização do aplicativo *CheckOpApp*

Analisando a Figura 5.6 e as Tabelas 5.8 e 5.9, nota-se uma menor dispersão das respostas para a questão 1 (O aplicativo atende aos requisitos propostos?) e para a questão 5 (A velocidade de execução do aplicativo é boa?), havendo maior homogeneidade entre as respostas e as maiores médias das respostas ( $\bar{x} = 4,67, S = 0,52$  e  $CV = 11,07\%$ ). O restante das questões (2, 3 e 6) obteve médias dispersões entre as respostas, havendo maior variação das médias das respostas e menores médias entre os auditores. A questão 3 foi a que obteve menor média das respostas, isto é, com mais avaliações neutras ( $\bar{x} = 3,33, S = 0,82$  e  $CV = 24,49\%$ ), com a sugestão de melhorar a interface do aplicativo em termos de compreensão e alguns problemas relatados quanto à sua execução no telefone celular (questão 4).

Como proposta de melhorias, os auditores que utilizaram o aplicativo sugeriram:

- a) incluir a gradação 0 (zero) para especificar que algum item de verificação do *checklist* “não se aplica” ou que é um “item ausente”;
- b) salvamento automático dos itens;
- c) inclusão de um botão com os dizeres “Voltar ao início” no final de cada item;
- d) evitar que quando o *smartphone* entre na tela de descanso (tela escura), o *checklist* volte à primeira questão do grupo de perguntas;
- e) que em vez de ir para “Finalização do formulário” quando se tecla para avançar, que se vá para o grupo de perguntas seguintes. Para a “Finalização” (ou conclusão do *checklist*), sugere-se que se coloque: “dupla seta a direita”;
- f) ao selecionar os itens para enviar as respostas, a inclusão de um botão “selecionar todos”;
- g) reduzir a área sensível ao toque para evitar alterações indesejadas de nota (uma vez que não dá para desmarcar o item selecionado);
- h) incluir a opção de “Salvar o *checklist* em .pdf”;
- i) aumentar o botão de deslize das gradações;
- j) aprimorar a transição do menu para os formulários (especialmente o retorno ao menu finalizar);
- k) que mesmo que se deixe de responder a alguma questão (por não ser aplicável), o aplicativo vá para o próximo item (em vez de encerrar quando se clicar na seta à direita).



### **5.2.1. Considerações finais sobre o aplicativo CHECKOPAPP**

No geral, o aplicativo obteve boa aceitação dentre os auditores, com base especialmente nas respostas às questões 1 e 2, denotando ser um instrumento útil e ágil para a coleta de dados no trecho da rodovia auditada, acelerando o processo de ASV e a análise dos dados. Quanto as respostas às questões 3 e 6, estas foram as que apresentaram menores médias (avaliações mais neutras), sugerindo melhorar a interface do aplicativo em termos de compreensão e *layout*.

Esse aplicativo sistematiza os procedimentos, complementando a gestão da ASV e proporcionando rotinas bem definidas, as quais podem também ser transmitidas nos cursos de capacitação de profissionais dessa área, enriquecendo-os. Portanto, conclui-se que o instrumento para a coleta de dados desenvolvido neste trabalho apresentou ganhos significativos nas práticas e nos resultados de ASV, pois proporciona complementações nas sistematizações dos procedimentos, facilitando a sua gestão, o acesso e a comunicação de informações, favorecendo o rigor necessário para a precisão das análises de desempenho das rodovias, e, principalmente, auxiliando as concessionárias de rodovias e as agências reguladoras em relação às melhorias necessárias quanto à segurança viária.

### **5.3. ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA DO PROJETO ATRAVÉS DO CRITÉRIO DE SEGURANÇA II**

Com os dados de velocidade operacional obtido por Torres (2015) e apresentados na Seção 4.7, foi possível obter o diferencial de velocidade operacional dos segmentos e classificar os segmentos da rodovia de acordo com o critério de segurança II, analisado e adotado neste trabalho (Tabela 5.10). Nota-se que quase todos os segmentos obtiveram a classificação BOM (95 % do trecho analisado), e apenas 5 %, RAZOÁVEL (ou regular). Isso significa dizer que as velocidades operacionais entre elementos sucessivos do alinhamento horizontal são homogêneas.

A Figura 5.7 mostra o diagrama esquemático sobre o trecho de rodovia correspondente aos segmentos C1 ao C13. Observa-se que, nesse trecho, apenas no segmento em tangente T5 houve razoável variação de velocidade operacional (20 km/h) em relação à curva seguinte (C6 – no km 511), com raio de 132 m e rampa variando de 1 % (declive) a 6 % (aclive). Ele apresenta, portanto, classificação razoável de consistência de projeto, segundo o critério adotado.

Tabela 5.10: Classificação conforme o critério de segurança II proposto por Lamm (1999)

Seção	Extensão (m)	V85 (km/h)	$ V85i - V(85i+1) ^*$ (km/h)	Classificação CS II
C1	187,04	95,9	7	Bom
T1	59,29	103,3	8	Bom
C2	218,07	95,3	8	Bom
T2	37,76	103,2	8	Bom
C3	53,92	95,2	6	Bom
T3	237,47	101,6	6	Bom
C4	141,73	107,6	2	Bom
T4	308,61	109,7	4	Bom
C5	5,94	106,2	3	Bom
T5	272,18	108,9	20	Razoável
C6	0,00	88,5	7	Bom
T6	47,03	95,2	6	Bom
C7	220,66	89,4	6	Bom
T7	63,43	95,2	4	Bom
C8	82,56	91,6	8	Bom
T8	208,53	99,2	2	Bom
C9	344,49	97,2	2	Bom
T9	114,26	99,2	7	Bom
C10	188,93	92,7	5	Bom
T10	52,61	97,7	5	Bom
C11	171,55	92,8	2	Bom
T11	303,16	95,2	3	Bom
C12	2,03	92,4	3	Bom
T12	51,39	95,2	2	Bom
C13	169,32	93,1	2	Bom
T13	573,68	95,1	6	Bom
C14	44,77	89,2	10	Bom
T14	151,62	99,5	1	Bom
C15	89,56	100,1	4	Bom
T15	216,35	103,8	13	Razoável
C16	107,61	90,6	5	Bom
T16	297,21	95,2	5	Bom
C17	56,79	90	5	Bom
T17	44,80	95,2	2	Bom
C18	162,43	97,1	4	Bom
T18	358,73	101,5	5	Bom
C19	363,60	96,9	4	Bom
T19	127,82	100,6	6	Bom
C20	263,74	95	6	Bom
T20	1446,74	100,6	-	-

(\*) arredondamento para cima ou para baixo do número inteiro mais próximo

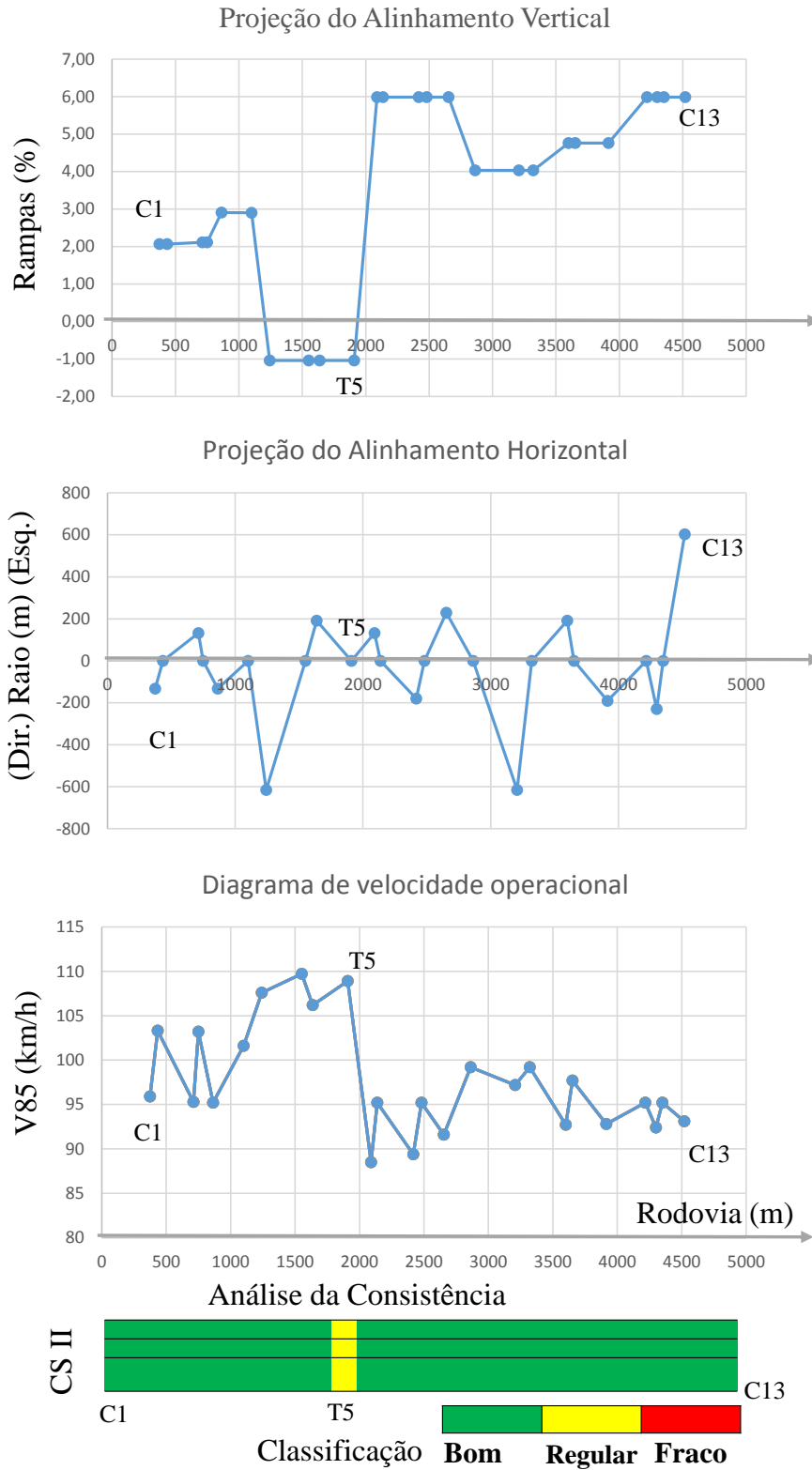


Figura 5.7: Diagrama esquemático para análise da consistência de projeto (C1 ao C13)

A Figura 5.8 mostra o diagrama esquemático sobre o trecho de rodovia correspondente aos segmentos T13 ao T20. Observa-se que, nesse trecho, apenas no segmento em tangente T15

houve razoável variação de velocidade operacional (13 km/h) em relação à curva seguinte (C16 no km 515), com raio de 191 m e rampa de 6 % (aclive). Ele apresenta, portanto, classificação razoável de consistência de projeto (regular), segundo o critério adotado.

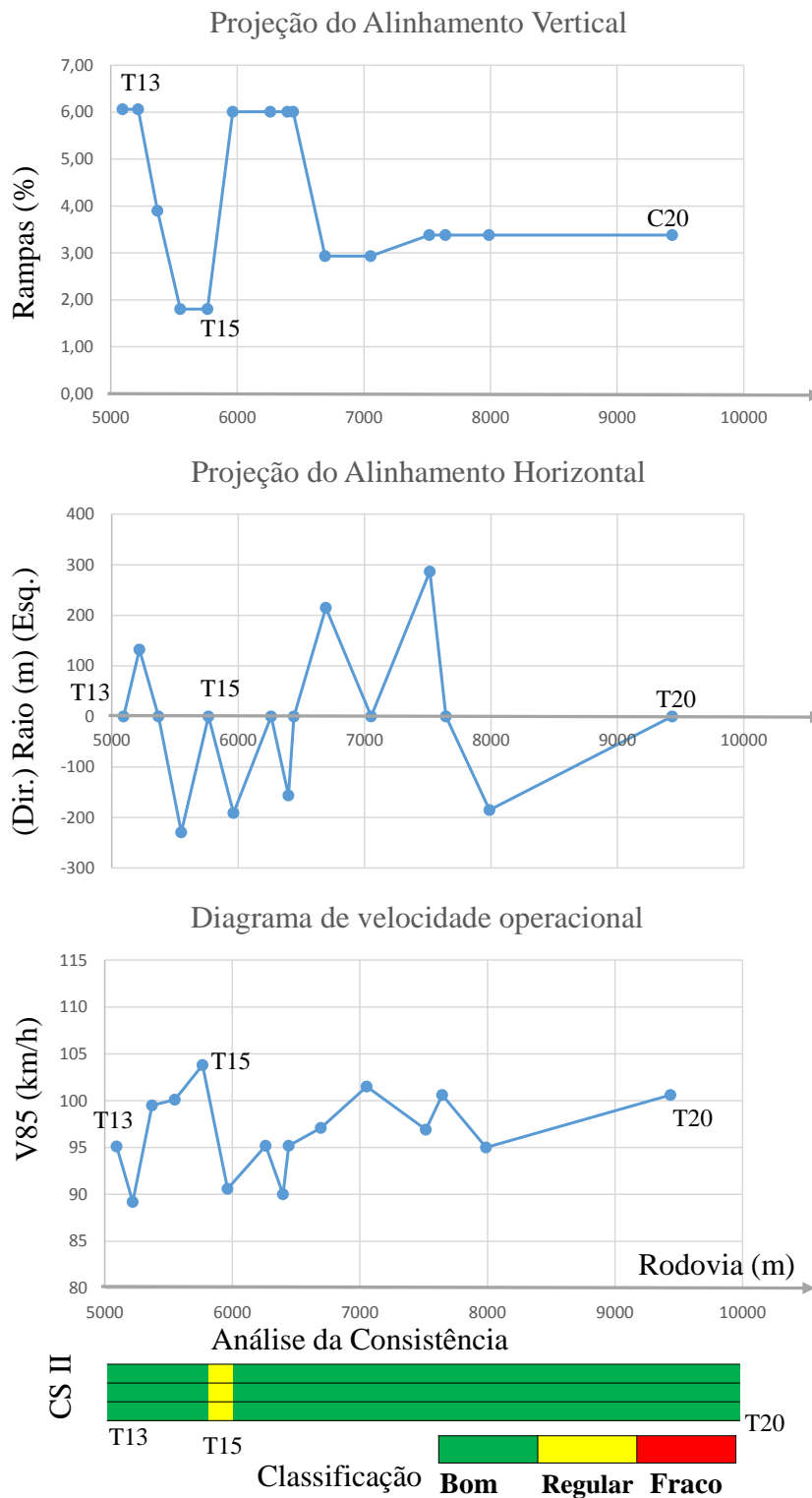


Figura 5.8: Diagrama esquemático para a análise da consistência de projeto (T13 ao T20)

De posse dessa informação, os auditores podem constatar que o trecho possui BOA consistência de projeto, segundo o critério de segurança II adotado (LAMM *et al.*, 1999), isto é, os módulos da diferença entre as velocidades operacionais de elementos planimétricos sucessivos eram menores que 10 km/h na maior parte do trecho (95 % do trecho). Assim, com base nessa análise, pode-se concluir que há consistência no alinhamento horizontal quanto à sucessão de curvas e tangentes, e os elementos do projeto geométrico não causam surpresas aos motoristas, de forma tal que não ocorrem mudanças repentinas de velocidade em segmentos sucessivos da rodovia em função das características geométricas com as quais os condutores se deparam.

#### 5.4. ETAPAS FINAIS DA ASV-H

Diante dos dados levantados pelas inspeções de segurança viária (IMVASV e IGASV), pela análise dos projetos, pelos dados de acidentes e pelas demais informações, em conjunto com a análise do comportamento dos motoristas diante dos elementos do projeto geométrico da rodovia, os auditores elaboram o relatório final (**Etapa 8**), onde são registrados os potenciais perigos da via e também as recomendações deles contra o cenário alternativo “*do- nothing*” (nada fazer). Esse relatório fornece ao órgão contratante, através de uma reunião final (**Etapa 9**), subsídios para a tomada de decisões sobre as medidas de segurança. E, para acompanhamento do histórico das auditorias, recomenda-se que seja realizado um Prontuário de Auditoria de Segurança Viária – PASV da rodovia (**Etapa 10**), contribuindo com a gestão da segurança viária ao longo dos anos.

#### 5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO 5

Este Capítulo apresentou os resultados obtidos no que se refere à utilização de novas tecnologias para a inspeção de segurança viária. Com a utilização de tecnologias comuns e acessíveis, constataram-se as seguintes contribuições: a) facilidade na transmissão de conhecimentos para nivelamento dos profissionais nessas atividades; b) análise de requisitos de segurança na condução da ASV; c) conferência da qualidade das inspeções; d) rastreabilidade das auditorias em relação ao histórico das rodovias; e) repetibilidade dos resultados visando à diminuição de equívocos nos procedimentos; f) praticidade de acesso proporcionado pelas ferramentas computacionais.

Com relação à inclusão da análise da consistência de projeto nas Auditorias de Segurança Viária, os auditores podem contar com esse dado nas tomadas de decisão quanto aos aspectos relacionados ao comportamento dos motoristas diante dos elementos geométricos sucessíveis da via. Para isso, basta obter o perfil de velocidade praticada pelos condutores que trafegam na rodovia, seja por intermédio de modelos existentes (construídos através de medidas de velocidade operacional obtidas em campo), seja por meio de modelos obtidos com base em experimentos utilizando simuladores de direção realístico, ou, ainda, através de levantamento em campo por meio de estudos realísticos.

## CAPÍTULO 6

---

### 6. CONCLUSÕES

A realização de inspeções *in loco* em rodovias construídas é uma etapa constante na realização de Auditorias de Segurança Viária (ASV). A quantidade de itens de avaliação de campo, somada às questões comuns ao espaço rodoviário – tais como o fluxo veicular intenso, as condições meteorológicas adversas ou mesmo condições geométricas desfavoráveis –, pode dificultar a adequada observação dos elementos, demandando revisitação ou mesmo a exposição das equipes de auditores a riscos. O uso de tecnologias imersivas para viabilizar a avaliação de cenários é uma opção em uso em diferentes áreas do conhecimento, porém sem relatos na literatura para inspeção de segurança viária. Sendo assim, o objetivo desta tese foi trazer um estudo sobre a potencialidade de emprego da tecnologia de ambientes virtuais para realizar inspeções de segurança viária, com vistas a agilizar o trabalho, a aumentar a segurança dos auditores – por reduzir seu tempo de exposição em trechos rodoviários em operação – e a reduzir os custos de tais inspeções.

Destarte, este trabalho apresentou um estudo sobre a potencialidade da utilização de ambientes virtuais nas Auditorias de Segurança Viária (ASV - Híbrida), com o intuito de agilizar e aumentar a segurança dos auditores, possibilitando que estes fiquem expostos ao tráfego por menos tempo. Apesar dos custos associados ao desenvolvimento dos modelos virtuais e do próprio equipamento de simulação, essa alternativa tem potencial para reduzir os custos da ASV, uma vez que pode reduzir o tempo e promover a segurança das equipes, sem diminuir a qualidade das inspeções.

#### 6.1. QUANTO À AVALIAÇÃO DA ASV-H E AO TESTE DA HIPÓTESE DA PESQUISA

Com base na revisão da literatura, foi proposto o Modelo Conceitual para a Auditoria de Segurança Viária Híbrida (ASV-H), incluindo avaliações em ambientes virtuais (Capítulo 3). O modelo objetivou estabelecer critérios para auxiliar a tomada de decisão na avaliação de aspectos relacionados à segurança dos usuários de uma via. Para testar a eficácia do modelo, um trecho de 10 km da pista sul da rodovia BR-116/SP (Rodovia Régis Bittencourt) foi

utilizado no estudo de caso (Capítulo 4). Essa rodovia é considerada uma das mais críticas em número de acidentes, e possui um dos maiores volumes de tráfego de veículos pesados do país. O trecho onde se realizou a pesquisa possui três faixas de rolamento, não tem acostamento, as rampas possuem mais de 6 % de inclinação e os raios são pequenos (130 m).

Para averiguar a efetividade desta proposta, foi realizado um experimento de campo (Seção 4.4) envolvendo seis especialistas divididos em dois grupos. Um grupo foi designado a realizar a inspeção do trecho pelo método tradicional, *in loco*; e o outro, pelo método proposto, ou seja, empregando a tecnologia de ambientes virtuais. Para viabilizar a inspeção virtual, foi realizada a filmagem em 360° do trecho de estudo, visualizado pelos auditores através do uso de óculos de realidade virtual que proporciona experiência imersiva de caráter audiovisual, sem interferência do ambiente externo. Os auditores tinham as listas de verificação disponíveis para fazerem as anotações referentes ao processo de inspeção.

Os resultados obtidos pelo estudo indicaram que a inspeção híbrida não prejudica a capacidade de observação e julgamento dos especialistas, confirmaram a potencial redução do tempo dispendido na atividade de inspeção, o incremento da segurança para as equipes e, ainda, trouxeram indicativos adicionais relacionados ao conforto e à possibilidade de revisitação do espaço viário virtual para esclarecimentos, demonstrando os impactos positivos desses fatores com os resultados obtidos.

Sendo assim, a hipótese da pesquisa de que o emprego de tecnologia de ambiente virtual é adequado para complementar as Auditorias de Segurança Viária (ASV) tradicionais, resultando em uma ASV híbrida (ASV-H), sem prejuízo dos resultados quando comparada ao procedimento de ASV tradicional, foi confirmada, pois a aplicação do teste *t*, no geral, apontou não haver diferenças significativas das médias das respostas obtidas para os dois procedimentos de inspeção (86,5 % dos itens avaliados), indicando o potencial de utilização da tecnologia de Realidade Virtual nos moldes aplicados (ASV-H), e confirmando a hipótese sobre a potencialidade do uso de Realidade Virtual (RV) em Auditorias de Segurança Viária (Seção 5.1). Os resultados obtidos com o uso dessa tecnologia, com destaque para a contribuição e o ineditismo desse novo método, indicam o potencial para a realização de ASV, bem como subsidiam estudos futuros.



## 6.2. QUANTO AO TEMPO DE REALIZAÇÃO DE ASV-H E À SEGURANÇA DOS AUDITORES

Ao avaliar o tempo dispendido pelas equipes envolvidas nas duas formas de inspeção testadas, foi possível observar o menor tempo de mobilização da equipe de inspeção híbrida. Enquanto foram necessários cinco períodos (manhã e/ou tarde e/ou noite) para realizar todas as observações de campo pela equipe de inspeção tradicional, a equipe de inspeção híbrida dispendeu apenas um período para as incursões virtuais (em escritório) e dois (tarde e noite) para as inspeções *in loco* requeridas pelo método proposto. Dessa forma, enquanto uma equipe demandou 2,5 dias de dedicação para a inspeção, a outra pôde realizar a inspeção em apenas um dia.

O estudo viabilizou observar ainda que as condições de conforto e segurança dos auditores quando realizam as inspeções em locais controlados contribuem para um resultado mais acurado. Um caso observado nesta pesquisa indica esse potencial do procedimento ao analisar pormenorizadamente o resultado de coeficiente de variação de 81,65 %. Pela análise realizada, tem-se indicativos de equívoco na escolha da gradação na lista de verificação, confirmada pela observação realizada pelo próprio auditor. Aspectos similares podem ser decorrentes do estresse causado pelo ambiente. Ademais, com o processo de coleta de dados apoiado por equipamentos que viabilizam a consolidação das respostas das listas de verificação em tempo real, casos dessa natureza poderiam ser corrigidos mediante reavaliação imediata, sobretudo em se tratando de ambiente virtual.

## 6.3. QUANTO AO INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

A Seção 5.2 mostrou os resultados obtidos da proposta e a validação de um instrumento para a coleta dos dados utilizado no estudo de caso. Para isso, foi desenvolvido um aplicativo eletrônico denominado *CheckOpApp*. No geral, o aplicativo obteve boa aceitação junto aos especialistas, denotando ser um instrumento útil e ágil para a coleta de dados no trecho da rodovia auditada, acelerando processos intermediários da ASV e a tabulação de dados de campo. Esta constatação foi observada com base nas respostas dos auditores submetidos a um questionário de avaliação do aplicativo, onde a médias das respostas às questões apresentaram-se maiores que 4 (em uma escala de 1 a 5) em 5 das 7 questões de múltipla escolha avaliadas.

Quanto as respostas às questões 3 e 6, estas foram as que apresentaram menores médias (avaliações mais neutras), sugerindo melhorar a interface do aplicativo em termos de compreensão e *layout*.

A observação do pesquisador sobre a atuação dos avaliadores nas diferentes fases do estudo de caso, diante da utilização de tecnologias comuns e acessíveis, revelou as seguintes contribuições desse instrumento: a) facilidade na transmissão de conhecimentos para nivelamento de profissionais nessas atividades; b) análise de requisitos de segurança na condução da ASV; c) conferência da qualidade das inspeções em tempo real; d) rastreabilidade das auditorias em relação ao histórico das rodovias; e) verificação dos resultados visando à redução de equívocos nos procedimentos; f) praticidade de acesso proporcionada pelas ferramentas computacionais.

Portanto, conclui-se que o instrumento para a coleta de dados desenvolvido neste trabalho pode contribuir de modo significativo nas práticas e nos resultados de ASV, pois proporcionou complementações nas sistematizações dos procedimentos, facilitando a sua gestão, acesso e a comunicação de informações, favorecendo o rigor necessário para a precisão das análises de desempenho das rodovias, e, principalmente, auxiliando as concessionárias e as agências reguladoras em relação às melhorias necessárias no que se refere à segurança viária.

#### **6.4. QUANTO À ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA GEOMÉTRICA DA RODOVIA**

Diferentemente das outras áreas da Engenharia, a Engenharia de Tráfego trata de problemas que não dependem apenas de fatores físicos, mas frequentemente incluem o comportamento humano do motorista e suas inter-relações com o ambiente. O comportamento humano deve ser o ponto de partida ao se projetar o sistema de transporte rodoviário, tanto na perspectiva de curto como de longo prazo. Com o objetivo de avaliar o desempenho do condutor e sua percepção sobre elementos da via e combinações geométricas inesperadas que possam causar efeitos ópticos indesejáveis e ocasionar mudanças de comportamento, refletindo em variação de velocidade, esta tese buscou preencher uma lacuna existente nos procedimentos de forma a auxiliar os técnicos em segurança viária a aplicarem os conceitos fundamentais de ASV em

conjunto com dados sobre a consistência do projeto, com base na velocidade de operação praticada pelos motoristas (rodovias existentes).

Para facilitar a análise dos auditores, foi desenvolvido e apresentado neste trabalho, conforme mostra a Seção 5.3, um diagrama contendo as características geométricas dos segmentos, identificando a projeção do alinhamento vertical, a projeção do alinhamento horizontal, o diagrama de velocidade operacional dos elementos geométricos sucessíveis e o diagrama para a análise da consistência de projeto segundo o critério de segurança II de Lamm *et al.* (1999). Tal diagrama possibilitou avaliar que, no trecho em questão, no segmento em tangente T5, houve razoável variação de velocidade operacional (20 km/h) em relação à curva seguinte (C6), com raio pequeno ( $R=132$  m) e rampa descendente (-1 %) seguida de rampa ascendente (+6 %), apresentando razoável classificação de consistência de projeto. Da mesma forma, no segmento em tangente T15 houve razoável variação de velocidade operacional (13 km/h) em relação à curva seguinte (C16), com raio de 191 m, apresentando razoável classificação de consistência de projeto, segundo o critério de segurança adotado. Contudo, avalia-se que quase todos os segmentos obtiveram a classificação BOM (95 % do trecho analisado); e apenas 5%, RAZOÁVEL. Isso significa dizer que as velocidades operacionais entre elementos sucessivos do alinhamento horizontal são homogêneas. Tal análise possibilita aos auditores fundamentarem com mais precisão suas observações quanto ao comportamento dos motoristas perante sua percepção dos elementos da via, contribuindo com subsídios técnicos para a elaboração de recomendações no que se refere à segurança da via. E a velocidade operacional entre os segmentos sucessivos reflete o comportamento dos condutores. Ela pode ser obtida através de modelos analíticos, seja por dados obtidos em campo ou em simuladores de direção realístico, ou, ainda, por levantamento de velocidade através de veículo instrumentado.

## **6.5. QUANTO AOS OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÃO DA TESE**

Com a crescente demanda e os desafios da ampliação e as inovações na área de segurança, torna-se importante a implementação de estratégias e de métodos eficientes em relação à ASV, como os procedimentos e instrumentos desenvolvidos neste trabalho, facilitando a padronização, a confiabilidade e auxiliando as equipes, com a utilização de recursos digitais que favoreçam e se adéquem com facilidade à realidade dos auditores.

Construir uma metodologia eficiente sobre Auditoria de Segurança Viária em rodovias duplicadas/construídas mediante a integração de diferentes técnicas como uso de realidade virtual nas inspeções de segurança, inclusão de consistência geométrica nas análises de ASV, proposta de lista de verificação para inspeções híbridas, utilização de instrumento para a coleta de dados (aplicativo) por parte de técnicos e a proposta de um Prontuário da Auditoria de Segurança Viária configura o ineditismo e a originalidade dentro da área de segurança viária. Assim, esta tese tem como contribuição principal auxiliar planejadores a conceber projetos viários seguros antes que acidentes de trânsito ocorram.

Sendo assim, conclui-se que os resultados desta tese evidenciam a eficiência desse método e auxiliam gestores e órgãos fiscalizadores de rodovias com uma ferramenta útil nas inspeções de Auditoria de Segurança Viária (ASV), melhorando a análise dos projetos de segurança viária no Brasil, contribuindo para a diminuição do número de acidentes no país.

## **6.6. LIMITAÇÃO DO TRABALHO**

A principal limitação para o estudo apresentado foi a constituição da equipe de especialistas para realizar as inspeções em campo. É sabido que o Brasil não é um país adepto da prática de auditorias de segurança viária, o que dificulta a localização de profissionais com experiência nessa área. Porém, apesar disso, os resultados trouxeram indicativos positivos para a continuidade de pesquisas nesse campo e para a aplicação do procedimento que, pelo baixo custo dos recursos empregados, é passível de emprego sem dificuldades.

## **6.7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com o resultado da contribuição deste novo método (ASV-H), pretende-se subsidiar pesquisas futuras sobre procedimentos mais rápidos e eficientes de ASV para rodovias construídas ou em processo de construção/duplicação. Convém ressaltar a importância e a oportunidade de explorar novas tecnologias sem prejuízo da qualidade ao complementar uma Auditoria de Segurança Viária tradicional.

Para pesquisas futuras, recomenda-se realizar o experimento em trechos diferentes para possibilitar a análise dos itens não avaliados nesta pesquisa, por exemplo, realizando a análise

de interseções (Grupo 3) e inspeções virtuais com filmagens obtidas em período de chuva e sob neblina (pois o tipo de câmera utilizada não permitiu que isso fosse feito). Recomendam-se também novos estudos para a obtenção de modelos de previsão de velocidade operacional em diversas regiões do país, seja por meio de simuladores de direção ou por intermédio de estudos realísticos envolvendo veículos instrumentados. Ainda, recomenda-se realizar estudos para aperfeiçoamento do instrumento de coleta de dados utilizado nesta pesquisa, contribuindo assim para a segurança viária do país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AARTS, L. T., & DAVIDSE, R. J. (2008) Behavioural effects of predictable rural road layout: A driving simulator study. *Advances in Transportation Studies*, 14(14), 25–34.
- AASHTO (2004) A policy on geometric design of highways and streets. Washington D.C., USA.
- AASHTO (2010) Highway Safety Manual- HSM. American Association of State Highway and Transportation Officials (1ª edição). Washington DC, USA.
- AASHTO (2001) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Green Book. (4ed ed). Washington D.C., USA.
- AASHTO (2011) A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - Green Book. (6ed.). Washington, DC. USA. Obtido de [www.transportation.org](http://www.transportation.org).
- ABNT (2016) ABNT NBR 15486: 2016 - Segurança no tráfego - Dispositivos de Contenção Viária - Diretrizes de projeto e ensaios de impacto. Rio de Janeiro/RJ.
- ANDRADE, C. M. (2011) O Modelo Qrsp Para a Quantificação Do Risco. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos/SP, 268p. Obtido de [www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br).
- ANTT (2016) Agência Nacional de Transportes Terrestres. Avaliação da sinalização viária através do uso de simulador de direção. Recursos para desenvolvimento tecnológico - RDT. Brasília, DF. 183. Obtido de [http://antt.gov.br/rodovias/Concessoes\\_Rodoviaras/Autopista\\_Regis\\_Bittencourt/Autopista\\_Regis\\_Bittencourt\\_Relatorio\\_de\\_Pesquisa\\_RDT.html](http://antt.gov.br/rodovias/Concessoes_Rodoviaras/Autopista_Regis_Bittencourt/Autopista_Regis_Bittencourt_Relatorio_de_Pesquisa_RDT.html). Acesso em 13/12/2018.
- ARB (2018) Autopista Régis Bittencourt. Concessionária de rodovia. Obtido em 13/12/2018.
- ARCHER, J. (2004) Methods for the assessment and prediction of traffic safety at urban intersections and their application in micro-simulation modelling. Academic thesis, Royal Institute of Technology. Obtido de [http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2004\\_15.pdf](http://www.ctr.kth.se/publications/ctr2004_15.pdf).
- ASSUNÇÃO, L. T. de. (2015) Instrumento de auditoria de segurança viária para projetos rodoviários. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Transportes - PPGT. Universidade de Brasília. Brasília/DF, 337p.
- AUSTROADS (2009) GUIDE TO ROAD SAFETY Part 6 : Road Safety Audit. Austroads Publication Nº AGRS06/09. Sydney, Austrália.
- BARBETTA, P. A. (2003) Estatística aplicada às ciências sociais. (E. da UFSC, Ed) (5ª Edição.). Florianópolis. Obtido de <http://www.editora.ufsc.br>.
- BARROZO, M. A. S. (2016) Notas de Aula da disciplina Planejamento de Experimentos. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

- BELLA, F. (2005) Driving simulation for analyzing the driver perception of road alignments. *Advances in Transportation Studies*, 8 (SPEC.ISSUE), 87–96.
- BELLA, F. (2008) Driving simulator for speed research on two-lane rural roads. *Accident Analysis and Prevention*, 40(3), 1078–1087. doi:10.1016/j.aap.2007.10.015.
- BELLA, F. (2009) Can Driving Simulators Contribute to Solving Critical Issues in Geometric Design? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2138(2138), 120–126. doi:10.3141/2138-16.
- BELLA, F., CALVI, A., & D'AMICO, F. (2014) Analysis of driver speeds under night driving conditions using a driving simulator. *Journal of Safety Research*, 49(February), 45–52. doi:10.1016/j.jsr.2014.02.007.
- BELLA, F., & D'AGOSTINI, G. (2010) Combined Effect of Traffic and Geometrics on Rear-End Collision Risk. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2165, 96–103. doi:10.3141/2165-11.
- BOTTESINI, G., & NODARI, T. (2011) Influência de medidas de segurança de trânsito no Comportamento Dos Motoristas. *Transportes*, 1, 77–86.
- CARDOSO, A., & LAMOUNIER JUNIOR, E. (2004) Realidade Virtual na Educação e Treinamento. (R. Tori & C. Kirner, Eds) *Realidade Virtual - Conceitos e Tendências* (01 edição.). Volume 01, São Paulo-SP-Brasil.
- CASTILLO RANGEL, M. A. (2015) Análise da percepção da sinalização vertical por parte do condutor, utilizando ambientes simulados de direção: um estudo de caso na rodovia BR-116. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos/SP.
- CASTILLO RANGEL, M. A., LAROCCA, A. P. C., & RIBEIRO, R. L. (2015) Avaliação de projetos de sinalização viária através do uso de simulador de direção. ANAIS XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET. Ouro Preto, MG.
- CASTRILLÓN, A. D., & CANDIA, J. S. (2003) Guía para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial. Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito CONASET, Santiago, Chile.
- CHAI, H., XIE, J., & ZHAO, X. L. (2013) Operating Speed Based Criteria for Design Consistency Evaluation on Motorways in China. *Applied Mechanics and Materials*, 361–363, 2092–2095. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.361-363.2092.
- CHARLTON, S. G., ALLEY, B. D., BAAS, P. H., & NEWMAN, J. E. (2002) Human Factors Testing Issues in Road Safety. S. G. Charlton & T. G. O'Brien (Eds), *Handbook of Human Factors Testing and Evaluation* (second edi., p. 563). Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, Mahwah, New Jersey. Obtido de [www.eBookstore.tandf.co.uk](http://www.eBookstore.tandf.co.uk).
- CHARLTON, S. G., & STARKEY, N. J. (2016) Risk in our midst: Centrelines, perceived risk, and speed choice. *Accident Analysis and Prevention*, 95, 192–201. doi:10.1016/j.aap.2016.07.019.
- CHEN, T., & WEI, L. (2008) Road safety evaluation system based on virtual simulation.

- Proceedings - International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2008 (Vol. 2, p. 446–450). Key Laboratory of Automotive Transportation, Safety of MOC, Chang'an University, Xi'an, China. doi:10.1109/ICICTA.2008.451.
- CHENG, W., & WASHINGTON, S. P. (2005) Experimental evaluation of hotspot identification methods. *Accident Analysis and Prevention*, 37(5), 870–881. doi:10.1016/j.aap.2005.04.015.
- CNT (2017) Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa CNT de rodovias 2017: Relatório Gerencial. (CNT, SEST, & SENAT, Eds) (Vol. 1). Brasília, DF.
- COSTA, H. G. (2010) Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. *Revista da FAE*, v. 13(n. 1), 115-126.
- CUNHA, T. M. F., & MAINENTE, C. A. (2011) Utilização de ambientes virtuais 3D no ensino de ciência da computação : estado da arte. Universidade municipal de São Caetano do Sul - USCS. São Caetano do Sul, SP.
- DOT (2014) Road Safety Audits (RSA). U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Washington, D.C. Obtido 9 de novembro de 2017, de <https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/Road>.
- EASA, S. M., & HE, W. (2006) Modeling Driver Visual Demand on Three-Dimensional Highway Alignments. *Journal of Transportation Engineering*, 132(5), 357–365. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2006)132:5(357).
- ELVIK, R., HØYE, A., VAA, T., & SØRENSEN, M. (2009) The Handbook of Road Safety Measures. (B. L. C. in P. Data, Ed) (Second Ed.). Emerald Group Publishing Limited, Howard House, Wagon Lane, Bingley BD16 1WA, UK.
- FHWA (2006) FHWA Road Safety Audit Guidelines. U. S. Department of Transportation. Obtido de [https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/appendix\\_a.htm](https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/appendix_a.htm).
- FILLIZOLA, P., & TECH, S. (2019) Como trabalhar a tecnologia na educação e melhorar a qualidade do ensino. Sistema Mineiro de Inovação - SIMI. Obtido 4 de outubro de 2019, de <http://www.simi.org.br/noticia/Artigo-como-trabalhar-a-tecnologia-na-educacao-e-melhorar-a-qualidade-do-ensino>.
- FITZPATRICK, K., ELEFTERIADOU, L., HARWOOD, D., COLLINS, J., McFADDEN, J., ANDERSON, I. B., KRAMES, R. A., IRIZARRY, N., PARMA, K., BAUER, K., & PASSETTI, K. (2000) Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways. Report FHWA-RD-99- 171, Federal Highway Administration. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- FLEITER, J., & WATSON, B. (2006) The speed paradox: the misalignment between driver attitudes and speeding behaviour. *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 17(2), 23–29.
- GARBER, N. J., & GADIRAJU, R. (1988) Speed variance and its influence on accident. Research Report, AAA Foundation for Traffic Safety. Washington, D.C.



- GARCÍA, D. S. P. (2008) Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 353p.
- GIBREEL, G. M., EASA, S. M., HASSAN, Y., & EL-DIMEERY, I. A. (1999) J. of Transportation Eng. J. of Transportation Eng., 125, 305.
- GLENNON, J. C., & HARWOOD, D. W. (1978) “Highway design consistency and systematic design related to highway safety.” Transportation Research Record 681, Transportation Research Board, (p. 77–88). Transportation Research Board, Washington, D.C.
- GOBBETTI, E., & SCATENI, R. (1998) Virtual Reality : Past , Present , and Future.
- GONÇALVES, A. B. (2011) Estudo da velocidade operacional dos veículos em trechos viários de rodovias rurais de pista simples. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Transportes - PPGT. Universidade de Brasília. Brasília/DF.
- GRANATO, D., OLIVEIRA, C. C. DE, & KIST, A. (2018) Análise estatística descritiva aplicada à ciência e tecnologia de alimentos usando programas estatísticos. (IAL, Ed) (1<sup>a</sup>). São Paulo.
- GOOGLE EARTH (2018) O globo mais detalhado do mundo. Obtido de <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>
- GUEDES, V. L., & BORSCHIVER, S. (2005) Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. Encontro Nacional de Ciência da Informação, v. 6, 1–18.
- HASHIM, I. H., & BIRD, R. N. (2004) Exploring the relationship between the geometric design consistency and safety in rural single carriageway in the UK. U. of Newcastle (Ed), 36th UTSG Annu. Meeting, University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, UK. Newcastle, UK.
- HASSAN, Y., & EASA, S. M. (2003) Effect of Vertical Alignment on Driver Perception of Horizontal Curves. Journal of Transportation Engineering, 129(4), 399–407. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:4(399).
- HILDEBRAND, E., & WILSON, F. (1999) Road safety audit guidelines. University of New Brunswick Transportation Group (Ed), University of New Brunswick Transportation Group. Canada.
- HOFFMANN, M. H., & GONZÁLEZ, L. M. (2003) Acidentes de trânsito e fator humano. Comportamento humano no trânsito (p. 377–391).
- HORBERRY, T., GARCÍA-FERNÁNDEZ, P., VENTSISLAVOVA-PETROVA, P., & CASTRO, C. (2014) Psychological Road Audits : Background , Development and Initial Findings. Ergonomics Australia, 6:1(January).
- HUVARINEN, Y., SVATKOVA, E., OLESHCHENKO, E., & PUSHCHINA, S. (2017) Road

- Safety Audit. *Transportation Research Procedia*, 20(September 2016), 236–241. doi:10.1016/j.trpro.2017.01.061.
- IDE, D. D. (2014) Considerações iniciais sobre a experiência da realidade aumentada. *Revista Geminis*, 177–190.
- INTERNACIONAL (2017) Samsung - Manual do Usuário ISBN. Obtido de <http://www.samsung.com.br>. Acesso em: 15/09/2018.
- IZKARA, J. L., PÉREZ, J., BASOGAIN, X., & BORRO, D. (2007) Mobile augmented Reality, an advanced tool for the construction sector. *Proceedings of CIB 24th W78 Conference*, (October 2014), 453–460. doi:10.1.1.113.3717.
- KABBACH JUNIOR, F. I. (2000) 2nd International Symposiu on Highway Geometric Design. *Transportes*, 8(2), 7. doi:<https://doi.org/10.14295/transportes.v8i2.191>.
- KANELLAIDIS, G. (1999) Aspects of road safety audits. *Journal of Transportation Engineering*, 125(6), 481–486. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(1999)125:6(481).
- KEMENY, A. (1999) Simulation and perception. *Driving Simulation Conference (Ed), Driving Simulation Conference* (p. 13–20). Paris, France.
- KIRNER, C., & SISCOOTTO, R. (2007) Realidade Virtual e Aumentada : Conceitos , Projeto e Aplicações. (C. Kirner & R. Siscoutto, Eds) (Editora SB.). Petrópolis - RJ. Obtido de [http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2007\\_svrps.pdf](http://www.de.ufpb.br/~labteve/publi/2007_svrps.pdf).
- KUSTRA, W., & MICHALSKI, L. (2017) Tools for road infrastructure safety management in poland. *MATEC Web of Conferences*, 122, 02008. doi:10.1051/mateconf/201712202008.
- LAMM, R., PSARIANOS, B., & MAILAENDER, T. (1999) Highway design and traffic safety engineering handbook. (McGraw-Hill Professional Publishing, Ed). McGraw-Hill Professional Publishing, New York, NY United States.
- LAMM, RUEDIGER, HAYWARD, J. C., & CARGIN, J. G. (1986) Comparison of Different Procedures for Evaluating Speed Consistency. In *Transportation Research Record* , TRB, National Research Council, 1100, 10–20.
- LAROCCA, A. P. C., RIBEIRO, R. L., FIGUEIRA, A. DA C., OLIVEIRA, P. T. M. E S. DE, LULIO, L. C., & RANGEL, M. A. C. (2018) Analysis of perception of vertical signaling of highways by drivers in a simulated driving environment. *Transportation Research Part F*, 58, 471–487. doi:10.1016/j.trf.2018.06.034.
- LLOPIS-CASTELLÓ, D., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, B., PÉREZ-ZURIAGA, A. M., & GARCÍA, A. (2019) Speed Prediction Models for Trucks on Horizontal Curves of Two-Lane Rural Roads. *Transportation Research Record*, Article in(May), 2019. doi:10.1177/0361198118776111.
- LOPES, D. L., & MARTINEZ FILHO, A. (2010) Auditoria de Segurança Viária (ASV) Conceito e importância. Companhia de Engenharia de Tráfego. Notas Técnicas.

- LOZIA, Z. (2008) Symulatory jazdy samochodem. Driving simulators WKL (p. 16). Warszawa.
- LOZIA, Z. (2011) Driving Simulator - a supplementary tool in testing and training of drivers. Zbigniew Lozia., 95–102.
- LUCAS, F. R., RUSSO, L. E. A., KAWASHIMA, R. S., FIGUEIRA, A. D. C., LAROCCA, A. P. C., & KABBACH, F. I. (2013) Uso de simuladores de direcao aplicado ao projeto de seguranca viaria. Boletim de Ciencias Geodesicas, 19(2), 341–352.
- LV, Z., LI, X., & LI, W. (2017) Virtual reality geographical interactive scene semantics research for immersive geography learning. Neurocomputing, 254, 1339–1351. doi:10.1016/j.neucom.2016.07.078.
- MAJI, A., SINGH, D., AGRAWAL, N., & ZAMAN, M. (2018) Operating speed prediction models for tangent sections of two-lane rural highways in Oklahoma State. Transportation Letters, 00(00), 1–8. doi:10.1080/19427867.2018.1536424.
- MASSARO, C. M., RIBEIRO, R. L., NARDEZ, N. D. N., LAROCCA, A. P. C., & ANDRADE, M. (2018) Análises dos acidentes de trânsito em um trecho de rodovia de pista dupla da BR-116 / SP : Abordagem segundo o programa “ Pare ” e o “ Highway Safety Manual – HSM ”. Transportes, 26(4), 144–157. doi:10.14295/transportes.v26i4.1549.
- MASSIGLI, M. (2009) Estrutura de prática e validade ecológica no processo adaptativo de aprendizagem motora. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica do Movimento Humano) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/D.39.2009.tde-04062009-101719. Acesso em: 2019-12-20. Obtido de www.teses.usp.br.
- MONTELLA, A., GALANTE, F., IMBRIANI, L. L., & MAURIELLO, F. (2015) Simulator evaluation of drivers ’ behaviour on horizontal curves of two-lane rural highways Simulator evaluation of drivers ’ behaviour on horizontal curves of two-lane rural highways. Advances in Transportation Studies, (July 2016).
- MOURA, J. A. D. S. (2010) A Realidade Virtual como uma ferramenta para o ensino da Geometria Molecular. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia/MG, 92p.
- NABORS, D., & SOIKA, J. (2013) Road Safety Audit Case Studies : Using Three-Dimensional Design Visualization in the Road Safety Audit Process. Washington DC, USA.
- NICHOLSON, A. (1998) J. of Transportation Eng. J. of Transportation Eng., 124, 411.
- NODARI, C. T. (2003) Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 215p.
- NOGUEIRA, K. L. (2013) Um framework de realidade virtual e aumentada para o apoio a sistemas de reabilitação. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG.

- OH, H., & MUN, S. (2012) Design Speed Based Reliability Index Model for Roadway Safety Evaluation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16, 845–854. doi:10.1007/s12205-012-1469-9.
- OLIVEIRA, M. C. DE, NODARI, C. T., VERONEZ, M. R., BORDIN, F., & GONZAGA JR., L. (2018) Efeito das linhas de centro e bordo de uma rodovia sobre a velocidade praticada por condutores em simulador de direção imersivo. 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET (p. 3390–3401). Gramado-RS.
- OLSON, P. L. (1996) Forensic aspects of driver perception and response. T. : L. & Judges (Ed), Lawyers and Judges Publishing Company, Inc. Tucson, Ariz. United States.
- OXLEY, J., & JOHNSTON, I. (2004) Cost-Effective Infrastructure by., (217).
- PIETRANTONIO, H., & BORNSZTEIN, L. L. (2015) Evaluating road safety audit procedures: some questions and a new method of study. *Transportation Planning and Technology*, 38(8), 909–934. doi:10.1080/03081060.2015.1079390.
- PINTO, R. P. C. (2016) SightSurfers VR : Navegação e Interação em Vídeo Imersivo com Óculos de VR e AR. Dissertação de Mestrado. Departamento de Informática. Universidade de Lisboa. Lisboa. Portugal, 99p.
- POST, T., & LUNENFELD, H. (1991) “A users’ guide to positive guidance.”. Rep. FHWA-TO-81–1, Federal Highway Administration. Washington, D.C.
- RAM, T., & CHAND, K. (2016) Effect of drivers’ risk perception and perception of driving tasks on road safety attitude. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 42, 162–176. doi:10.1016/j.trf.2016.07.012.
- REGAN, M. A., LEE, J. D., & YOUNG, K. L. (Eds). (2009) Driver distraction Theory, Effects, and Mitigation. CRC Press Taylor & Francis Group, New York. Obtido de <http://www.taylorandfrancis.com>.
- RIGONATTO, M. (2019) Mundo Educação. Obtido de <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/matematica/coeficiente-variacao.htm>.
- RUSSO, F., & BIANCARDO, S. A. (2017) Countermeasures to improve road alignment consistency of undivided rural roads. *Baltic Journal of Road & Bridge Engineering*, 12(4), p211-217. 9p.
- RUSSO, F., BIANCARDO, S. A., & BUSIELLO, M. (2016) Operating speed as a key factor in studying the driver behaviour in a rural context. *Transport*, 31(2), 260–270. doi:10.3846/16484142.2016.1193054.
- SANTIAGO-CHAPARRO, K., DEAMICO, M., BILL, A., CHITTURI, M., & NOYCE, D. (2011a) A framework for conducting virtual road safety audits using driving simulators. *Advances in Transportation Studies*, (SPEC).
- SANTIAGO-CHAPARRO, K., DEAMICO, M., BILL, A., CHITTURI, M., & NOYCE, D. (2011b) Realistic-scenario creation process for virtual road safety audits. *Advances in Transportation Studies*, (SPEC), 19–28. doi:10.4399/97888548465793.

- SANTIAGO-CHAPARRO, K. R., DEAMICO, M., BILL, A., CHITTURI, M., & NOYCE, D. (2011c) Virtual Road Safety Audits Using Driving Simulators : A Framework. *Road Safety and Simulation*.
- SANTIAGO-CHAPARRO, K. R., & KHAN, G. (2008) Conducting Road Inventory, Road Conditions and Safety Audits in: A Virtual Environment. *Institute of Transportation Engineers Annual Meeting and Exhibit 2008* (p. 442–452). Obtido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84873485560&partnerID=40&md5=d451d3256c05936f9da60ae27e95595f>.
- SANTOS, M. C. C. DOS (2006) Avaliação do uso de Realidade Virtual na Robótica. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 107p.
- SANTOS, M. I. DOS, OLIVEIRA, P. T. M. E S. DE, RIBEIRO, R. L., LAROCCA, A. P. C., & KABBACH JUNIOR, F. I. (2017) Conceito, configuração e aplicação de um simulador de direção no Brasil – Estudo de caso. *Transportes*, 25(2), 1. doi:10.14295/transportes.v25i2.1174.
- SCHOPF, A. R. (2006) Proposição de uma lista de verificação para revisão de segurança viária de rodovias. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, 189p.
- SEMEIDA, A. M. (2014) Application of artificial neural networks for operating speed prediction at horizontal curves : a case study in Egypt. *Journal of Modern Transportation*, 22, 20–29. doi:10.1007/s40534-014-0033-3.
- SILVA, F. C. DA (2017) Espaço do Trânsito: Fatores Humanos e a Percepção de Riscos no Trânsito. Obtido 2 de março de 2018, de <http://www.espacodotransito.com.br/site/dica/detalhes/sobre/5/fatores-humanos-e-a-percepcao-de-riscos-no-transito.html>.
- SONI, G., & KODALI, R. (2011) A critical analysis of supply chain management content in empirical research. *Business Process Management Journal*, V. 17, N.(DOI: 10.1108/14637151111122338), P. 238-266.
- STATSOFT INC (2005) STATISTICA (data analysis software system). USA. Obtido de [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com). Acesso em: 02/10/2019.
- TORI, R., KIRNER, C., & SISCOOTTO, R. (2006) Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. (C. U. do P. (CESUPA), Ed) (Editora SB.). “Livro do pré-simpósio, VIII Symposium on Virtual Reality”, Belém, PA.
- TORRES, A. L. M. (2015) Análise de consistência de traçado de uma rodovia de múltiplas faixas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 149p.
- TORRES, T. B., KAPPLER, L. B., NODARI, C. T., & FRAMARIM, C. DA S. (2018) O mal-estar em condução simulada: comparação entre simuladores imersivos de direção com plataforma estática e dinâmica. *Anais do XXXII Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET*, u (November), 13.

- TRANFIELD, D., DENYER, D., & SMART, P. (2003) Toward a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, n. 14(DOI: 10.1111/1467-8551.00375), 207–222.
- TRANSFUND (1998) *Safety Audit Procedures For Existing Roads*. (T. N. Zealand, Ed). Transfund New Zealand, Wellington, New Zealand.
- UNDERWOOD, G., CRUNDALL, D., & CHAPMAN, P. (2011) Driving simulator validation with hazard perception. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14(6), 435–446. doi:10.1016/j.trf.2011.04.008
- VELASCO, J. P. N., FARAH, H., AREM, B. VAN, & HAGENZIEKER, M. P. (2019) Studying pedestrians ' crossing behavior when interacting with automated vehicles using virtual reality. *Transportation Research Part F*, 66, 1–14. doi:10.1016/j.trf.2019.08.015
- WHO (2018) *Global status report on road safety 2018*. Geneva. Obtido de [https://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2018/en/](https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/). Acesso em: 27/08/2019.
- YIN, R. K. (2009) *Case Study Research: Design and Methods*. (Sage Publications of London, Ed) (4th edition). London.
- ZHONG, X. (2010) Applying safety audit and speed management concept in freeway project. *Proceedings - 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing, ICOIP 2010*, 1(20), 292–297. doi:10.1109/ICOIP.2010.157.

# APÊNDICE A: AVALIAÇÃO TÉCNICA DOS ITENS DE VERIFICAÇÃO

## PROPOSTA DE LISTA DE VERIFICAÇÃO COMPLETA (*CHECKLIST*) EM AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA.

**INSTRUÇÕES.** A seguir encontra-se proposta de *checklist* completo para Auditoria de Segurança Viária, com base em revisão bibliográfica e experiência relatada por profissionais auditores.

**OBJETIVO:** O objetivo deste teste é propor um *checklist* completo para Auditoria em Segurança Viária. Para isso, gostaríamos de saber sua opinião, através de sua expertise no assunto “Segurança Viária”, se uma parte do *checklist* pode ser analisado através de inspeção em Ambientes Virtuais (vídeos gravados em 360 graus, onde o técnico pode visitar o local quantas vezes desejar através de checagem dos vídeos utilizando óculos de realidade virtual), diminuindo assim a necessidade de visitar a rodovia várias vezes no processo de auditoria.

**JUSTIFICATIVA:** Embora a Auditoria de Segurança Viária seja um processo relativamente simples, com passos bem definidos, quando colocado em prática, apresenta algumas dificuldades. Desenvolver e testar versões mais simplificadas do processo de Auditoria é importante, para que proporcione uma maior aceitação da sua prática junto aos órgãos e às operadoras rodoviárias (SCHOPF, 2006). Porém, tal procedimento torna-se complexo e, em muitos casos, inviável, devido as dificuldades encontradas por técnicos e auditores a irem a campo sempre que uma dúvida apareça sobre determinado elemento que possa causar insegurança aos usuários da via.

Com base no exposto, por favor analisar cada item do *checklist*, respondendo as questões:

a) Para esta avaliação, assinale com um “X” no caso de a resposta ser “**CONCORDO**”, se o item em análise pode ser avaliado em Ambientes Virtuais. Caso você julgue que tal item somente pode ser checado em campo, marque a resposta como “**DISCORDO**”.

b) Para avaliar a clareza dos itens da lista de verificação (diretos, claros e objetivos), se os itens são compreensíveis ou incompreensíveis, onde serão analisadas as sugestões, assinale com um

“X” no caso de a resposta for para “SIM”. Caso você julgue que tal item falta clareza, marque a resposta como “NÃO” e comente a seguir.

Segue, para preenchimento, os Quadros A.1 a A.13. Vale ressaltar que os auditores, independentemente da avaliação ser em campo ou virtual, têm acesso aos levantamentos das características geométricas e operacionais da via em operação.



Quadro A.1: Checklist para alinhamento rodoviário e Seção transversal

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Avaliador 1				Avaliador 2				Avaliador 3				Resultado					
Item	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	ASV
1. Alinhamento rodoviário e seção transversal																		
1.1 Visibilidade; distância de visibilidade:																		
A distância de visibilidade é adequada para a velocidade da via?	x			x	Em situações específicas, necessita de verificação "in loco"	x		x			x		x			3	0	virtual
Há distância de visibilidade adequada para as interseções e cruzamentos? (por exemplo, pedestres, ciclistas, animais na pista, ferrovia).		x	x		Nesse caso há necessidade de levantamento "in loco"	x		x			x		x			2	1	virtual
Há distância de visibilidade adequada para todos os acessos?	x			x	Explicar conceito	x		x			x		x			3	0	virtual
1.2. Velocidade de projeto																		
O alinhamento horizontal e vertical é adequado para a velocidade de tráfego (percentil 85)?	x			x	Avaliação do projeto geométrico	x		x		Explicar percentil 85 (V85 estabelece a velocidade mais alta praticada por 85% dos usuários.)	x		x		Deixar claro o que é 85 percentil para quem não é da área (nota de rodapé por exemplo).	2	1	virtual
Se não: Há sinais de advertência implantados?	x				Mas se houver tráfego cobrindo a imagem necessário rever.	x		x		Ficou confuso "se não"	x		x			3	0	virtual
Se não: Há sinais de regulamentação de velocidade implantados?	x		x		Se houver obstrução das imagens, prever outra vistoria	x		x		Confuso	x		x			3	0	virtual
Os sinais de velocidade estão adequados para as curvas?	x		x		idem anterior	x		x			x		x			3	0	virtual
1.3. Limite de velocidade																		
O limite de velocidade é compatível com a função da via, geometria da estrada, uso do solo e distância de visibilidade?	x		x		para isso ser verificado, necessário trafegar pela velocidade máxima.	x		x			x		x			1	2	in loco
1.4. Condições de Ultrapassagem																		
São oferecidas oportunidades de ultrapassagem seguras?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
1.5. Legibilidade por parte dos motoristas																		
A via possui elementos que possa confundir o motorista?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
O alinhamento da via é claramente definido?	x		x			x	x	x		Não entendi			x		Não ficou claro que aspecto é para verificar se esta definido (coordenação entre alinhamento horizontal e vertical?)	2	1	virtual
O pavimento em desuso (se houver) foi removido ou tratado?	x		x		Em parte possível, mas superficialmente.	x	x	x		não entendi			x	x		2	2	virtual
Marcações de sinalização horizontal antigas foram adequadamente removidas?	x		x		Fico na dúvida com relação da capa asfáltica.	x		x					x	x		2	1	virtual
O alinhamento das árvores segue o alinhamento da rodovia?	x		x			x		x		confuso	x		x			3	0	virtual
O alinhamento dos postes segue o alinhamento da rodovia?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
A rodovia está livre de curvas, ou combinação de curvas que possam conduzir ao erro?	x		x		Recomendo em curvas críticas a vistoria "in loco" complementar.	x		x		Sugestão: A rodovia apresenta curvas ou combinação de curvas que possam induzir o usuário ao erro?	x		x			3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

Quadro A.1: Checklist para alinhamento rodoviário e Seção transversal (continuação)

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Avaliador 1				Há clareza nos itens de verificação?	Avaliador 2				Há clareza nos itens de verificação?	Avaliador 3				Há clareza nos itens de verificação?	Resultado		
Item	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	ASV
1.6. Largura da via:																		
Os canteiros centrais e as ilhas têm largura adequada para possíveis usuários (pedestres e ciclistas)?	x		x		Em parte. Mas a demanda de usuários pode variar conforme o horário - Vistoriar em campo.	x		x		Ver sugestão 1ª coluna. (Os canteiros centrais e as ilhas têm largura adequada (para pedestres e ciclistas)?		x		x		2	1	virtual
A largura das faixas de tráfego é adequada para o volume e a composição de tráfego?	x		x		Em parte. Mas a demanda de usuários pode variar conforme o horário - Vistoriar em campo.	x		x			x		x			3	0	virtual
A largura das pontes é adequada?	x		x		Vídeo + projeto.	x		x			x		x			3	0	virtual
1.7 Presença de Acostamentos																		
No trecho há acostamento?	x		x		Filmagem pela faixa direita.	x		x			x					3	0	virtual
Os acostamentos são largos o suficiente para permitir que os motoristas recuperem o controle de veículos errantes?	x		x		Vídeo + projetos.	x		x			x		x			2	1	virtual
Os acostamentos são largos o suficiente para que veículos quebrados ou de emergência parem com segurança?	x		x		Vídeo + projetos.	x		x			x		x			2	1	virtual
Os acostamentos são pavimentados?	x		x		Filmagem pela faixa direita.	x		x			x		x			3	0	virtual
Os acostamentos são trafegáveis para todos os veículos e usuários? (ou seja, os acostamentos estão em boas condições).	x		x		Filmagem pela faixa direita.	x		x		Acostamento é para parada de emergência - dá idéia que é feito para trafegar. Eu colocaria apenas a sugestão da coluna (Os acostamentos estão em boas condições?)	x			x		3	0	virtual
A transição da rodovia para o acostamento é segura? (sem degraus).		x		x	necessidade de inspeção "in loco "	x			x		x			x		2	1	virtual
1.8. Inclinação/Declividade da pista de rolamento																		
Há superelevação apropriada prevista para as curvas?	x		x		Em parte, fica claro com valores elevados apenas.		x		x			x		x		1	2	in loco
As declividades deficientes estão sendo gerenciadas com segurança (para carros, caminhões, etc.)?	x				Aclives e declives estão bem sinalizados?	x		x	x	x	Não entendi		x		x	2	2	virtual
As declividades (pista e acostamento) permitem uma drenagem adequada?		x		x	Projeto + vistoria com chuva. Dificil coincidir a filmagem com o evento chuva.		x		x			x		x		0	3	in loco
1.9 Taludes laterais																		
Os taludes laterais são atravessáveis por carros e caminhões caso saiam da rodovia?	x			x	Necessita dos pontos mais criticos avaliacao "in loco "	x			x	Achei mal escrito. E se for corte?		x		x		2	1	virtual
1.10 Drenagem																		
A drenagem lateral e os bueiros são atravessáveis por carros e caminhões caso saiam da rodovia?		x			Até 10 cm de h são tolerados - o vídeo dificilmente dará essa informação com precisão.	x			x	sarjetas, valetas?		x		x		1	2	in loco

(\*) Proposto pelo Autor.

## Quadro A.2: Checklist para Faixas Auxiliares

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Avaliador 1				Há clareza nos itens de verificação?	Avaliador 2				Há clareza nos itens de verificação?	Avaliador 3				Resultado				
Item	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISCOR	ASV	
<b>2. Faixas auxiliares</b>																			
<b>2.1 Tapers</b>																			
Os tapers de início e fim estão corretamente localizados e alinhados?	x		x		Necessidade da filmagem incluir a entrada e saída destes pontos + análise geométrica dos projetos.	x			x	"Tapers" - Talvez explicar.	x			x			3	0	virtual
Há distância de visibilidade suficiente para o final das faixas auxiliares?	x		x		Necessidade da filmagem incluir a entrada e saída destes pontos + análise geométrica dos projetos.	x			x		x			x			3	0	virtual
<b>2.2 Acostamentos</b>																			
Os acostamentos possuem largura adequada nas junções?	x		x		Auxilia na detecção de distorções. Estas deverão ser avaliadas "in loco".	x			x	Confuso	x			x			3	0	virtual
A largura dos acostamentos está mantida nas faixas auxiliares?	x		x		Auxilia na detecção de distorções. Estas deverão ser avaliadas "in loco".	x			x		x			x			3	0	virtual
<b>2.3 Sinalização Horizontal e Vertical</b>																			
Todos os sinais verticais estão instalados de acordo com os manuais vigentes?	x		x		Projeto + vídeo. Pontos obscuros avaliar "in loco".	x			x		x			x			3	0	virtual
Todos os sinais são conspícuos e claros?	x		x			x			x		x			x			3	0	virtual
Todos os sinais horizontais estão de acordo com os manuais vigentes?	x				Verificar por amostragem se as dimensões implantadas estão dentro dos parâmetros.	x			x		x			x			3	0	virtual
Há sinalização advertindo sobre a aproximação das faixas auxiliares?	x		x			x			x		x			x			3	0	virtual
<b>2.4 Retornos</b>																			
Os retornos em nível foram evitados?*	x			x	Colocaria: Há retornos em nível na via?	x			x		x			x			3	0	virtual
Há sinalização advertindo sobre as faixas de retorno?	x				Normalmente são informações (Fundo verde)	x			x		x			x			3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

Quadro A.3: Checklist para Interseções

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Resultado				
	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV			
3. Interseções														
3.1 Localização														
Todas as interseções estão localizadas com segurança em relação ao alinhamento horizontal e vertical?	x			precisa filmar todos os movimentos.	x		x		x		x	3	0	virtual
Quando as interseções ocorrem em locais de alta velocidade (por exemplo, quando há acessos para cidades), existem dispositivos de controle de tráfego para alertar os motoristas?	x		x	Dispositivos de controle são para fiscalizar. Sinalização horizontal e/ou vertical são para advertir e/ou regulamentar.	x		x		x		x	3	0	virtual
3.2 Visibilidade/Distância de Visibilidade														
A presença de cada interseção é óbvia para todos os usuários da rodovia?		x	x	Difícil de se verificar por vídeo.	x		x	Substituiria o óbvio	x		x	2	1	virtual
A distância de visibilidade é adequada para todos os movimentos e todos os usuários?		x	x	Difícil de se verificar por vídeo.	x		x			x	x	1	2	in loco
Existe distância de visibilidade de parada para o final das filas ou para os veículos em movimento lento?	x	x	x	Pode-se filmar, mas é uma filmagem estática nos pontos em que se sabe haver o problema.	x		x			x	x	2	2	virtual
A distância de visibilidade é adequada para a entrada e saída de veículos?	x			Mas necessita da filmagem de todos os movimentos.	x		x		x		x	3	0	virtual
3.3 Controle e delineamento														
A sinalização horizontal e os sinais de controle de tráfego são satisfatórios nas interseções?	x		x	Horizontal e vertical necessita de filmagem de todos os movimentos da interseção.	x		x		x		x	3	0	virtual
A trajetória dos veículos através de interseções estão delineadas satisfatoriamente?	x		x	Idem a anterior.	x		x		x		x	3	0	virtual
Todas as faixas de rolamento estão devidamente sinalizadas (incluindo setas)?	x		x		x		x		x		x	3	0	virtual
3.4 Traçado														
Todos os pontos de conflito entre veículos estão sendo tratados com segurança?		x	x	pontos já estabelecidos como críticos necessitam de vistoria "in loco".	x		x	Definir pontos de conflito		x	x	1	2	in loco
O traçado da interseção é óbvio para todos os usuários da estrada?	x	x	x	Parcialmente se houver pedestres no local complementar com "in loco"	x		x		x		x	3	1	virtual
O alinhamento do meio-fio é óbvio e apropriado?	x		x	A posição da câmera necessita estar na lateral do veículo.	x		x		x		x	3	0	virtual
O alinhamento das ilhas de tráfego é óbvio e apropriado?	x		x	Se ocorrer um "mar de asfalto" necessário vistoria "in loco" + projeto.	x		x		x		x	3	0	virtual
O alinhamento do canteiro central é óbvio e apropriado?	x		x	Alinhamento sim, proporção da seção não, largura não.	x		x		x		x	3	0	virtual
Todos os tipos de veículos prováveis podem ser acomodados?		x	x	Acredito que análise de projeto e vistoria, pois nem sempre os valores são iguais.	x			Onde?		x	x	1	2	in loco
Os tapers de entrelaçamento têm o comprimento suficiente?	x		x	Dá para se estimar, mas necessário análise complementar.	x		x		x		x	3	0	virtual
A interseção é livre de problemas de capacidade que podem produzir problemas de segurança?		x		Há necessidade de vistoria nos horários em que ocorram os problemas.		x	x	Achei complicado de fazer essa avaliação de capacidade.		x	x	0	3	in loco
3.5 Diversos														
Especialmente em trechos rurais, as interseções estão livres de material granular solto?	x		x	Retira a frase grifada (Especialmente em trechos rurais).	x		x			x	x	2	1	virtual

Quadro A.4: Checklist para Sinalização e Iluminação

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado					
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
4. Sinalização e Iluminação																		
4.1 Iluminação																		
A iluminação artificial nesse trecho é necessária?		x	x		Isto depende das questões do local x pedestres x acessos. Análise "in loco".	x		x			x		x			2	1	virtual
Se sim, a iluminação nesse trecho está adequada? (a)		x	x		técnicamente há necessidade de mediação técnica "in loco".	x		x			x		x			2	1	virtual
A rodovia está livre de dispositivos que podem interromper a iluminação (por exemplo, árvores ou passagens superiores)?	x			x		x		x			x		x			3	0	virtual
A rodovia está livre de postes de iluminação que são um perigo fixo nas laterais?	x			x		x		x		Mas se for necessária a iluminação?	x		x			3	0	virtual
Estão previstas bases colapsíveis (dobráveis) para os postes de iluminação?		x		x	Estão instaladas.	x		x			x		x			2	1	virtual
Iluminação ambiente: se criar necessidades especiais de iluminação, estas foram satisfeitas?		x		x	item único (a)	x	x		x	Não entendi		x	x			1	3	in loco
O sistema de iluminação está livre de efeitos adversos (confusos) em semáforos ou sinais?		x		x	não misturar, iluminação é uma coisa, sinalização semafórica é outra.	x		x				x	x			1	2	in loco
O sistema está livre de falhas de iluminação?		x		x	Filmagem à noite é difícil de se verificar.	x	x		x	Como? E se tiver uma queda de energia?		x	x			1	3	in loco
4.2 Assuntos gerais dos sinais																		
Todos os sinais de regulamentação, advertência e indicação são necessários?	x				Complementar com verificação "as built" do projeto.	x		x			x		x			3	0	virtual
Os sinais estão claros e conspícuos (visíveis)?	x				E dentro das normas quanto ao tamanho e espaçamento.	x		x			x		x			3	0	virtual
Os sinais estão sendo corretamente utilizados e são todos necessários?					ítem único (ver item anterior)	x		x			x		x			2	0	virtual
Todos os sinais são eficazes para todas as condições prováveis? (por exemplo, dia, noite, chuva, neblina, sol nascente ou poente, faróis que se aproximam, iluminação de emergência)	x			x	Se for filmar, terá de realizar uma filmagem para cada situação.	x		x			x		x			3	0	virtual
Os motoristas estão adequadamente advertidos da existência de restrições para alguma classe de veículo?	x			x		x		x			x		x			3	0	virtual
Se há restrições para alguma classe de veículo, os motoristas estão informados sobre rotas alternativas?	x			x		x		x			x		x			3	0	virtual
4.3 Legibilidade dos sinais semafóricos																		
Prefiro sinalização semafórica. Deverá filmar todas as aproximações.																		
Os sinais têm visibilidade satisfatória à luz do dia e à noite?					sinais semafóricos? Mas, entendo melhor fotos nesse caso, e observação de campo	x		x				x	x			1	1	in loco
O sistema de iluminação causa efeitos confusos ou enganosos sobre sinais ou semáforos?		x		x	causa ofuscamento ou recobrimento.	x		x				x	x			1	2	in loco
Há pontos com falhas no sistema de iluminação?		x			Entra no item anterior de iluminação.	x		x				x	x			1	2	in loco

Quadro A.4: Checklist para Sinalização e Iluminação (Continuação)

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado					
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
4.4 Problemas gerais com a sinalização																		
Todos os sinais de regulamentação, advertência e indicação necessários estão implantados?	x		x		orientação (no lugar de indicação). + análise "as built" da sinalização.	x		x			x		x			3	0	virtual
Eles são conspícuos (visíveis) e claros?	x			x	precisa ver de dia e à noite. 2 filmagens.	x		x			x		x			3	0	virtual
A sinalização está sendo usada corretamente para cada situação e cada placa de sinalização é necessária?					item se repetiu.	x		x			x		x			2	0	virtual
Todos os sinais são eficazes para todas as condições prováveis? (por exemplo, dia, noite, chuva, neblina, sol nascente ou poente, faróis de veículos que se aproximam, iluminação fraca).	x			x	(sinais e dispositivos balizadores). Deverá ter filmagens nestas situações.	x		x			x		x			3	0	virtual
Se restrições se aplicam a qualquer classe de veículo, os motoristas são adequadamente avisados?	x				Repetido. + check list projeto.	x		x			x		x			3	0	virtual
Se restrições se aplicam a qualquer classe de veículo, os motoristas são advertidos sobre rotas alternativas?	x				check list projeto.	x		x			x		x			3	0	virtual
4.5 Legibilidade da sinalização																		
repetido																		
À luz do dia e a noite, os sinais são satisfatórios em relação à visibilidade?	x				Semáforos? Ou vertical? Especificar. A sinalização vertical/horizontal e de balizamento - duas filmagens.	x		x					x		x	2	1	virtual
Os sinais são satisfatórios em relação à clareza de mensagem?	x					x		x					x		x	2	1	virtual
Os sinais estão satisfatórios em relação à distância de legibilidade?	x	x	x	x	em parte possível (idem anterior).	x		x			x		x			3	1	virtual
A retrorefletância ou iluminação do sinal estão satisfatórias?	x			x	especificar se sinalização vertical e horizontal	x		x			x		x			2	1	virtual
Os sinais estão livres de obstruções ou distrações adjacentes?	x				Em parte - (sinalização vertical/horizontal e balizamento).	x		x			x		x			3	0	virtual
Há excesso de sinalização que podem confundir o motorista?	x			x	mais projeto (análise)	x		x			x		x			3	0	virtual
4.6 Suporte de sinais																		
Os suportes dos sinais estão fora da zona livre da rodovia?	x				parcialmente	x		x			x		x			3	0	virtual
Se não, eles são colapsíveis?				x	em campo.	x		x			x		x			2	1	virtual
Se não, estão protegidos por defensas ou amortecedores de impacto?	x			x		x		x			x		x			3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

Quadro A.5: Checklist para Sinalização Horizontal e delineamento

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Resultado				
Item	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV			
<b>5. Sinalização Horizontal e Delineamento</b>																
<b>5.1 Questões Gerais</b>																
A sinalização horizontal e delineamento: estão apropriados para a função da estrada?	x			x	Delineamento também é sinalização horizontal.	x		x			x		O que seria função da estrada? Condições físicas da via? Ou se a sinalização horizontal esta cumprindo sua função?	3	0	virtual
A sinalização horizontal e delineamento: estão consistentes (constantes, estáveis) ao longo do trajeto?	x			x		x		x			x			3	0	virtual
É provável que seja eficaz em todas as condições esperadas? (dia, noite, molhado, seco, neblina, nascer do sol e pôr do sol, faróis do tráfego oposto, etc.)?			x	x	Não se opina! Se constata ou não.	x		x			x			2	1	virtual
A via está livre de sinalização horizontal excessivas? (p.ex., setas desnecessárias, faixas de barreiras desnecessárias, etc.)	x			x	Barreiras parcialmente.	x		x			x			3	0	virtual
<b>5.2 Linhas de centro, linhas de bordo e linhas entre as faixas</b>																
Há no trecho linhas de centro, linhas de borda e linhas entre as faixas?	x			x		x		x			x			3	0	virtual
Se não, os motoristas têm delineamento/orientação adequada?	x			x		x		x			x			3	0	virtual
As tachas refletivas foram instaladas onde necessário?			x		Acredito vídeo pode apenas parcialmente verificar isso se a filmagem é de dia não se pode estabelecer a refletancia.	x		x			x			2	1	virtual
Se há tachas refletivas, elas estão implantadas corretamente, nas cores corretas, e estão em boas condições?			x		Acredito vídeo pode apenas parcialmente verificar isso se a filmagem é de dia não se pode estabelecer a refletancia.	x		x			x		Tenho dúvida se é possível verificar as condições das tachas.	2	1	virtual
Há LERV (Linhas de Estímulo à redução de velocidade) instaladas onde necessário? *	x			x	mais projeto.	x		x			x			3	0	virtual
Há sonorizadores instalados onde necessários?	x			x	mais projeto.	x		x			x			3	0	virtual
A sinalização horizontal está em boas condições?	x				em referencia aos itens acima?	x		x			x			3	0	virtual
Existe contraste suficiente entre a sinalização horizontal e a cor do pavimento?	x				Depende também - no vídeo da incidencia da luz na câmera.	x		x			x			3	0	virtual
<b>5.3 Balizadores e refletores</b>																
Os balizadores estão corretamente instalados?	x				mais projeto.	x		x			x			3	0	virtual
Os delineadores estão visíveis?	x			x		x		x			x			3	0	virtual
Os delineadores estão com as cores corretas?	x			x		x		x			x			3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

Quadro A.5: Checklist para Sinalização Horizontal e delineamento (Continuação)

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado					
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
5.4 Sinalização de aviso de curva e delineamento																		
Os sinais de advertência de curva e de velocidade estão instalados onde necessário?	x		x		velocidade é regulamentação (+ projeto).	x		x			x		x			3	0	virtual
Os sinais de velocidade em curvas estão consistentes ao longo da via?	x		x		mais projeto.	x		x			x		x			3	0	virtual
Os sinais estão corretamente localizados em relação à curva? (isto é, não muito adiantados)	x				A sinalização vertical está (+ projeto).	x		x					x	x		2	1	virtual
Os sinais (advertência e regulamentação de velocidade) têm o tamanho necessário?		x		x	Estão dentro das normas técnicas.	x		x					x	x		1	2	in loco
Há Marcadores de Alinhamento instalados onde necessário?	x		x		mais projeto.	x		x			x		x			3	0	virtual
O posicionamento dos Marcadores de Alinhamento fornece orientação ao longo da curva?	x		x		mais projeto.	x		x			x		x			3	0	virtual
Os Marcadores de Alinhamento têm o tamanho correto?	x			x	Estão dentro das normas técnicas.	x		x					x	x		2	1	virtual
Os Marcadores de Alinhamento estão limitados/restritos somente às curvas (sem ser usados para delinear ilhas, etc.)?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.



Quadro A.6: Checklist para Dispositivos de Contenção e zonas livres de obstáculos

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Resultado						
Item	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
6. Barreiras de impacto e zona livre de obstáculos																		
6.1 Questões Gerais																		
A via atende as normas vigentes quanto a instalação de dispositivos de contenção central e lateral?*	x		x		atende.	x		x		tive que ler mais de uma vez, mesmo assim não ficou claro. <i>Corrigir atenda</i>	x		x			2	1	virtual
A largura da zona livre é atravessável? (isto é, dirigível).				x	canteiro central.	x		x		zona livre	x		x			1	1	in loco
A largura da zona livre é livre de obstáculos rígidos (obstáculos maiores que 10 cm de diâmetro)?			x		para medidas necessário vistoria em campo.	x		x		zona livre	x		x			1	2	in loco
Se não, todos esses obstáculos rígidos podem ser removidos ou protegidos?)					opinião!	x		x			x		x			1	1	in loco
Todos os postes, árvores, etc. estão a uma distância segura das faixas de tráfego?		x		x	(Conceito vago)	x		x			x		x			2	1	virtual
Todos os objetos rígidos estão protegidos dentro da zona livre?	x			x		x		x			x		x			2	1	virtual
O sistema de contenção estão delineados/sinalizados corretamente?*	x				e instalados corretamente e dentro das normas.	x		x			x		x			3	0	virtual
6.2 Barreiras de impacto																		
As barreiras de impacto estão instaladas quando necessário?						x		x			x		x			2	0	virtual
As barreiras de impacto estão instaladas em todos os locais necessários, de acordo com as normas vigentes?					item único (ver anterior)	x		x			x		x			2	0	virtual
Os sistemas de barreira estão adequados para o propósito?		x			Vistoria + projeto.	x		x			x		x			2	1	virtual
As barreiras de impacto estão corretamente instaladas?		x				x		x			x		x			2	1	virtual
O comprimento da barreira de impacto está adequado?		x				x		x			x		x			2	1	virtual
As defensas metálicas estão ancoradas corretamente aos guarda-corpos das pontes?		x			vistoria	x		x			x		x			2	1	virtual
A transição entre defensas metálicas e barreiras de concreto está feita corretamente?*			x		vistoria	x		x			x		x			1	2	in loco
Existe largura suficiente entre a barreira e a linha de bordo (para acomodar um veículo quebrado)?	x			x	não é uma obrigação.	x		x			x		x			2	1	virtual
A pista está livre de guias que poderiam reduzir a eficácia das barreiras ou defensas?*	x					x		x			x		x			3	0	virtual

Quadro A.6: Checklist para Dispositivos de Contenção e zonas livres de obstáculos (Continuação)

Análise poderá ser avaliado em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado					
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
6.3 Terminais	(de impacto)																	
Os terminais estão implantados corretamente?						x		x			x		x			2	0	virtual
O início dos terminais estão adequadamente instalados (terminal abatido ou terminal ancorado em taludes de corte)?*	x			x	pergunta: terminal abatido ainda é válido?	x		x			x		x			3	0	virtual
Se não, há terminais absorvedores de energia?*	x			x		x		x			x		x			3	0	virtual
Há uma área de escape segura atrás dos terminais de abertura?				x	não entendi.	x		x			x		x			2	0	virtual
6.4 Telas de proteção																		
As telas de proteção/vedação para pedestres são frangíveis (quebradiças)?			x	x	vistoria, Questões: a extensão implantada é suficiente? Há pontos de passagem no local implantado de pedestres.	x		x			x		x			1	2	in loco
Os veículos estarão seguros se, por acaso, atravessarem as telas de proteção/vedação horizontais localizados dentro da zona livre?			x	x	análise do produto.	x		x			x		x			1	2	in loco
Há dispositivos antiofuscantes nos locais de ofuscamento em pista dupla?*	x				em parte.	x		x			x		x			3	0	virtual
6.5 Visibilidade de barreiras e defensas																		
Existe delimitação adequada e visibilidade de barreiras e telas de proteção à noite?	x					x		x			x		x			3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

### Quadro A.7: Checklist para Sinalização Semafórica

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Comentários/Observações	Há clareza nos itens de verificação?				Comentários/Observações	Resultado				
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO		CONC.	DISC.	SIM	NÃO		CONC.	DISC.	ASV		
7. Sinalização semafórica															
7.1 Operações															
Os semáforos estão funcionando corretamente?		x			vistoria campo	x		x			x	x	2	1	virtual
O número, a localização e o tipo de visores são apropriados para o tráfego misto de veículos e o ambiente viário?		x			grupos focais.	x		x			x	x	2	1	virtual
Onde necessário, há dispositivos que auxiliem os pedestres com deficiência visual? (por exemplo, <u>botões de pressão tácteis</u> , marcações tácteis).		x			botoeiras sonoras	x		x			x		2	1	virtual
Onde necessário, <u>há dispositivos</u> que auxiliem pedestres idosos ou deficientes? (por exemplo, fase verde prolongada do semáforo).		x			programação	x		x			x	x	1	2	in loco
O controlador está localizado em uma posição segura? (isto é, onde é improvável que seja atingido, mas o acesso de manutenção é facilitado e seguro).		x		x		x		x			x		2	1	virtual
A <u>condição da superfície da estrada</u> nas aproximações é satisfatória (especialmente resistência à derrapagem)?		x		x	o pavimento.	x		x			x	x	1	2	in loco
7.2 Visibilidade															
Os semáforos estão claramente visíveis para os motoristas que se aproximam?					e os pedestres? Ou seja (para o tráfego)	x		x			x	x	2	0	virtual
Existe uma distância de visibilidade suficiente para as possíveis filas de veículos, a ponto que eles possam parar seguramente?		x		x		x		x			x	x	3	0	virtual
Existe algum problema de visibilidade que poderia ser causado pelo nascer ou pôr do sol?		x		x	Depende de vários vídeos.	x		x			x	x	3	0	virtual
Os <u>visores dos semáforos</u> estão protegidos, de modo que eles possam ser vistos somente pelos motoristas a quem são direcionados?					grupos focais	x		x			x	x	2	0	virtual
Nos locais em que os semáforos não podem ser vistos de uma distância adequada, sinais de advertência e/ou luzes intermitentes estão instalados?		x			Sinalização de advertência A-14.	x		x			x	x	3	0	virtual
Semáforos instalados no topo de curvas verticais convexas, há uma distância de visibilidade suficiente para o fim das filas de tráfego?*		x			idem anterior	x		x			x	x	3	0	virtual
Os sinais dos semáforos estão livres de obstruções na calçada próxima aos motoristas se aproximando? (árvores, postes de luz, placas, pontos de ônibus, etc.)		x			vistoria.	x		x			x	x	2	1	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

Quadro A.8: Checklist para Pedestres e Ciclistas

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Resultado				
	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV			
<b>8. Pedestres e Ciclistas</b>														
<b>8.1 Questões Gerais</b>														
Existem caminhos e pontos de cruzamento adequados para pedestres e ciclistas?		x		rotas de ciclistas e pedestres nem sempre estão junto ao eixo da via.	x		x		x		x	2	1	virtual
Existem gradis de segurança instalados de modo a orientar pedestres e ciclistas atravessarem as faixas de pedestres ou passarelas?	x		x	rotas de ciclistas e pedestres nem sempre estão junto ao eixo da via. mais sinalização de orientação e advertência para pedestres e ciclistas bem como para motoristas.	x		x		x		x	3	0	virtual
Existem barreiras de segurança instalada onde necessário para separar os fluxos de veículos, pedestres e ciclistas?	x				x		x		x		x	3	0	virtual
As instalações para pedestres e bicicletas são adequadas para uso noturno?		x		ou rotas.	x		x		x		x	2	1	virtual
<b>8.2 Pedestres</b>														
Existe uma distância de separação adequada entre o tráfego de veículos e o tráfego de pedestres?	x			Em parte possível + vistoria nos pontos.	x		x		x		x	2	1	virtual
Existe um número adequado de travessias de pedestres ao longo da via?		x	x	Necessita de análise local	x		x		x		x	2	1	virtual
Nos pontos de travessia os gradis estão localizados de modo a direcionar e orientar os pedestres para que olhem para o tráfego de aproximação?		x	x	Há orientação para a travessia?	x		x		x		x	2	1	virtual
Existe provisão adequada para idosos, deficientes, crianças, cadeiras de rodas e carrinhos de bebês (por exemplo, corrimãos, passagens seguras pelas guias de canteiros centrais, rampas)?		x	x	Há tratamento técnico para a utilização da via por parte de...	x		x		x		x	2	1	virtual
Existem corrimãos adequados (por exemplo, nas pontes, nas rampas)?		x		corrimãos e guarda corpo e escadarias	x		x		x		x	2	1	virtual
Os sinais de escolares perto das escolas são adequados e eficazes?	x		x	A sinalização de advertência e regulamentação	x		x		x		x	2	1	virtual
Os sinais de pedestres perto de hospitais são adequados e eficazes?	x		x	idem anterior	x		x		x		x	2	1	virtual
A distância entre a linha de retenção e a passagem de pedestres é suficiente para que os motoristas de caminhão vejam os pedestres?		x		projeto + vistoria	x		x		x		x	1	2	in loco
<b>8.3 Ciclistas</b>														
A largura do pavimento é adequada para o número de ciclistas utilizando a via?		x	x	Largura da faixa de rolamento.	x		x		x		x	1	2	in loco
A ciclovia é contínua (isto é, livre de pontos de estrangulamento ou lacunas)?		x	x	ou ciclofaixa - fazer vídeo neste local fica difícil.	x		x		x		x	2	1	virtual
As tampas/grades de drenagem são seguras para as bicicletas?				Fixação, aderência (em relação).	x		x		x		x	2	0	virtual
<b>8.4 Transportes públicos</b>														
Os pontos de parada de ônibus estão localizados em segurança, com visibilidade adequada e com distância para a faixa de tráfego?	x		x	e protegidos	x		x		x		x	3	0	virtual
As paradas de ônibus nas áreas rurais estão sinalizadas antecipadamente?	x		x		x		x		x		x	3	0	virtual
Os abrigos e assentos estão localizados com segurança de modo a garantir que as linhas de visibilidade não estejam impedidas? A distância para a faixa de tráfego é adequada?	x			E acessíveis no seu entorno.	x		x		x		x	2	1	virtual
A altura e o formato do meio-fio nos pontos de ônibus são adequados para pedestres e motoristas de ônibus?		x		São acessíveis as questões de acessibilidade projeto.	x		x		x		x	1	2	in loco

Quadro A.9: Checklist para Pontes e Bueiros

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Resultado					
Item	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
9. Pontes e Bueiros															
9.1 Elementos de Projeto															
qual a relação entre pontes e bueiros? No mesmo item.															
As pontes e os bueiros têm a largura total da plataforma?	x		x		x		x	largura de bueiro?	x		x		3	0	virtual
A largura das pontes e dos bueiros é consistente com as condições da aproximação? (Sem estreitamento de pista).	x		x		x		x		x		x		3	0	virtual
O alinhamento de aproximação é compatível com a velocidade do tráfego de percentil 85?		x		x	Análise de tráfego.	x		x		x		x	2	1	virtual
Há sinais de advertência se alguma das duas condições acima (ou seja, largura e velocidade) não forem atendidas?	x		x			x		x		x		x	3	0	virtual
9.2 Barreiras de Impacto															
Existem barreiras de proteção adequadas nas pontes e bueiros, e nas suas aproximações, para proteger os veículos errantes?	x		x		No vídeo não se pode determinar a adequação - apenas existencia.	x		x		x		x	3	0	virtual
A conexão entre barreira e ponte é segura?		x		x	projeto + avaliação <i>in loco</i>	x		x		x		x	1	2	in loco
A ponte está livre de guias que poderiam reduzir a eficácia das barreiras ou defensas?	x		x			x		x		x		x	3	0	virtual
9.3 Diversos															
Os passeios para pedestres nas pontes estão adequados e seguros?		x		x	Vistoria <i>in loco</i>	x		x		x		x	2	1	virtual
É proibido pescar da ponte? Se não, existe local para pescar em segurança?	x		x		Há sinalização proibindo...	x		x		x		x	2	1	virtual
O delineamento continua sobre a ponte?	x		x			x		x		x		x	3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

### Quadro A.10: Checklist para Pavimentos

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado						
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV	
10. Pavimento																			
10.1 Defeitos no Pavimento																			
A condição das bordas do pavimento é satisfatória?																			
		x	x		<i>in loco</i>	x		x					x	x			1	2	in loco
A transição do pavimento para os acostamentos está livre de degraus (desníveis) perigosos?																			
		x	x		<i>in loco</i>	x		x					x	x			1	2	in loco
O pavimento está livre de defeitos (por exemplo, rugosidade excessiva, desagregação, buracos, material solto, etc.) que poderiam resultar em problemas de segurança (por exemplo, perda do controle de direção)?																			
	x			x	<i>parcialmente possível</i>	x		x					x	x			2	1	virtual
10.2 Resistência a derrapagem																			
O pavimento aparenta ter resistência à derrapagem adequada, particularmente nas curvas, rampas íngremes e aproximações de interseções?																			
		x	x		<i>in loco</i>		x	x					x	x			0	3	in loco
O teste de resistência à derrapagem foi realizado quando necessário?																			
		x		x	<i>não é questão do check-list</i>		x	x					x	x			0	3	in loco
10.3 Pontos de alagamentos																			
O pavimento está livre de áreas onde alagamento ou a presença de lâmina d'água poderiam contribuir para problemas de segurança?																			
		x	x		Difícil de se constatar, a não ser na época de chuva.		x	x					x		x		1	2	in loco
10.4 Material granular solto																			
O pavimento está livre de pedras soltas e outros materiais?																			
	x			x			x	x					x	x			1	2	in loco

(\*) Proposto pelo Autor.

Quadro A.11: Checklist para Estacionamento e Veículos pesados

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado					
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
11. Estacionamento																		
11.1 Assuntos Gerais																		
A permissão, ou restrição de estacionamento é satisfatória em relação à segurança da via?	x		x		parcialmente possível	x		x			x		x			3	0	virtual
O volume de veículos utilizando o estacionamento é compatível com a segurança da via?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
A distância de visibilidade nos cruzamentos e ao longo da via está afetada por veículos estacionados?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
Existe estacionamento suficiente para veículos de entrega, de modo que não ocorram problemas de segurança devido a estacionamento irregular na via (fila dupla)?	x		x		mais + vistoria	x		x			x		x			2	1	virtual
As manobras de estacionamento ao longo da via são possíveis sem causar problemas de segurança? (por exemplo, estacionamento angular).	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
12. Provisão para veículos pesados																		
Provisão esta confuso.																		
12.1 Elementos de Projeto																		
Existem oportunidades de ultrapassagem para veículos pesados quando o volume de tráfego é alto?	x		x		pontos de...	x		x			x		x			3	0	virtual
A via atende às necessidades dos veículos de grande dimensão?		x		x	quais necessidades.	x		x				x	x			1	2	in loco
Existe espaço suficiente para manobra veículos de grande porte ao longo do percurso, nas interseções, rotatórias, etc.?		x		x	A geometria nas interseções e rotatórias permitem...	x		x				x	x			1	2	in loco
O acesso a áreas de descanso e a áreas de estacionamento de caminhões é adequado para o tamanho dos veículos? (Considere a aceleração, desaceleração, larguras dos acostamentos, etc.)	x		x		Os tappers de aceleração e desaceleração... (+ projeto)	x		x				x	x			2	1	virtual
12.2 Qualidade do pavimento / acostamentos																		
Existe superlargura nas curvas para proporcionar pavimento adicional para veículos longos?		x		x	Projeto - existe a implantação de superlargura para proporcionar o tráfego de veículos longos dentro de sua faixa de rolamento	x		x				x		x		2	1	virtual
A largura do pavimento em tangente é adequada para os veículos pesados?		x		x	Projeto - existe a implantação de superlargura para proporcionar o tráfego de veículos longos dentro de sua faixa de rolamento	x		x				x		x		2	1	virtual
Em geral, a qualidade do pavimento é suficiente para uma viagem segura de veículos pesados e de grandes dimensões?	x		x		(projeto) + observação	x		x				x	x			2	1	virtual
Nas rotas de caminhões, os dispositivos refletivos são apropriados para a altura dos olhos dos motoristas?	x		x		necessário vistoria numa altura de veículo em questão.	x		x				x		x		3	0	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

### Quadro A.12: Checklist para Drenagem Superficial

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Há clareza nos itens de verificação?			Resultado						
Item	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV	
13. Drenagem Superficial																
13.1 Alagamento																
Todas as seções da via estão livres de pontos de alagamento ou enxurrada atravessando a pista durante a chuva?		x	x	Levantamento das informações da via (histórico)		x	x		x		x			1	2	in loco
Se houver pontos de alagamentos ou enxurrada atravessando a pista durante a chuva, há sinalização adequada?	x			Vistoria <i>in loco</i> pode ser com vídeo ou não.	x		x		x		x			3	0	virtual
Se houver canais construídos para evitar inundações, estes estão corretamente sinalizados?		x	x	sinalizados e protegidos.	x		x		x		x			2	1	virtual
13.2 Segurança de dispositivos																
Todos os bueiros ou estruturas de drenagem estão localizados fora da área livre lateral da via?		x	x	vídeo no eixo difícil de avaliar	x		x				x	x		1	2	in loco
Se não, estão protegidos contra a possibilidade de colisão de veículos?		x	x	vídeo no eixo difícil de avaliar	x		x		x		x			2	1	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.



### Quadro A.13: Checklist para Diversos

Análise poderá ser avaliada em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado					
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
14. Diversos																		
14.1 Paisagismo																		
Paisagismo está de acordo com as normas e diretrizes vigentes? (por exemplo, distância de visibilidade).	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
As distâncias de visibilidade existentes serão mantidas após o crescimento futuro das plantas?		x		x	Depende da análise do tipo de plantas que foram utilizadas	x		x			x		x			2	1	virtual
Há problemas de visibilidade no paisagismo em rotatórias?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
14.2 Obras Temporárias																		
A via está livre de equipamentos de construção ou manutenção que já não são mais necessários?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
A via está livre de sinais de trânsito ou dispositivos de controle de tráfego temporários que já não são mais necessários?	x		x			x		x			x		x			3	0	virtual
A via está corretamente sinalizada advertindo sobre as obras na pista com antecedência e placas de velocidade adequada e suficiente? *	x		x		e protegida	x		x			x		x			3	0	virtual
A noite a sinalização de obra na pista está adequada e visível (retrorefletância adequada)?*	x		x		mais + elementos de luz (piscante)	x		x			x		x			3	0	virtual
14.3 Brilho do Farol (Ofuscamento)																		
Os problemas de ofuscamento causados pelos faróis foram tratados (com cercas ou telas antiofuscantes)?	x		x		(para vias de pista dupla)	x		x			x		x			3	0	virtual
14.4 Atividades na faixa de domínio																		
A faixa de domínio da estrada está livre de quaisquer atividades que possam distrair os motoristas?	x		x		Atividades ou elementos?	x		x			x		x			3	0	virtual
Todas as placas de propaganda estão instaladas fora da faixa de domínio e em local de modo a não se constituírem em um perigo?		x		x	Acho difícil avaliar no vídeo pela posição.	x		x			x		x			2	1	virtual
14.5 Veículos Errantes																		
O mobiliário lateral da rodovia está livre de danos causados por veículos errantes que poderiam indicar um	x			x	Há indícios de danos causados por choques ou colisões	x		x			x		x			3	0	virtual
A área lateral à pista de rolamentos encontra-se sem obstruções e pode ser utilizada por veículos errantes para recobrar o controle ou chegar a uma parada segura?*	x			x	Acredito que para isso é necessário a filmagem pela faixa adjacente à lateral da via	x		x			x		x			3	0	virtual
O terreno em torno das rotatórias evita problemas de visibilidade?		x		x	Há falta de visibilidade junto as rotatórias e aproximações?	x		x			x		x			2	1	virtual

(\*) Proposto pelo Autor.

Quadro A.13: Checklist para Diversos (Continuação)

Análise poderá ser avaliado em Ambientes Virtuais?	Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Há clareza nos itens de verificação?				Resultado					
	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	SIM	NÃO	Comentários/Observações	CONC.	DISC.	ASV
14.6 Outros problemas de Segurança																		
A estabilidade do aterro é segura?		x			Entendo que a questão não faz parte da ASV	x		x			x		x			1	2	in loco
A via é livre de insegurança em relação a galhos suspensos?	x		x		A vegetação da via traz riscos À segurança?	x		x			x		x			3	0	virtual
O trecho está livre de obstruções de visibilidade causadas por grama alta?	x		x		A vegetação no canteiro central e lateral obstrui a visibilidade <i>in loco</i>	x		x			x		x			3	0	virtual
Alguma área de vento forte é tratada com segurança?		x	x			x		x			x		x			1	2	in loco
14.6.1 Se prisma de concreto ou segregador de pistas (para dividir fluxos) é usado:																		
Está adequadamente delimitado?	x	x				x		x			x		x			3	1	virtual
Está sinalizado o início? (marcadores de perigo, etc.)	x	x				x		x			x		x			3	1	virtual
Está sinalizado em cruzamentos?	x	x				x		x			x		x			3	1	virtual
É improvável que seja um perigo para os pedestres?		x		x	Traz riscos ao pedestre?	x		x			x		x			2	1	virtual
A velocidade da via é adequada para esse dispositivo?*		x	x		projeto	x		x			x		x			1	2	in loco
14.7 Animais																		
A via está livre de animais?	x			x	Uma questão ampla - varia em época do ano e da estrada em si.	x		x			x		x			3	0	virtual
Se não, está protegida por cercas apropriadas?					está protegida por cercas apropriadas?	x		x			x		x			2	0	virtual
14.8 Áreas de descanso																		
A localização das áreas de descanso e áreas de estacionamento de caminhões ao longo da via é anunciada?		x	x		Vistoria do local	x		x			x		x			2	1	virtual
Existe uma distância de visão adequada para a saída e pontos de entrada das áreas de descanso e áreas de estacionamento de caminhões em todos os momentos do dia?			x	x	A localização do posto, seus acessos de entrada e saída tem visibilidade e acessibilidade?	x		x			x		x			2	1	virtual
14.9 Pedágio																		
A localização do pedágio está visível para os motoristas?*	x	x				x		x			x		x			3	1	virtual
Há sinalização advertindo sobre a aproximação da praça de pedágio?*	x	x				x		x			x		x			3	1	virtual
Nos locais em que as praças de pedágio não podem ser vistos de uma distância adequada, sinais de advertência e/ou luzes intermitentes estão instalados?*	x	x	x			x		x			x		x			3	1	virtual
Se houver cancelas, estas estão funcionando corretamente?*	x				mais + vistoria são varias cabines	x		x			x		x			3	0	virtual
As cabines de cobrança estão protegidas corretamente contra colisão?	x				As cabines e os motoristas?	x		x			x		x			3	0	virtual
Há confusão entre a sinalização horizontal que separa cobrança manual e cobrança automática?*	x		x		A sinalização das cabines de cobrança automáticas são claras?	x		x			x		x			3	0	virtual
É necessário LERV's (Linhas de estímulo a redução de velocidade) próximo as cabines e cobranças automáticas?*	x		x		Opinião! Há lerv's...	x		x			x		x			3	0	virtual

(\* ) Proposto pelo Autor.

c) Caso tenha alguma proposta/sugestão de incluir algum item neste *checklist* (que não foi abordado e queira abordar), escreva abaixo sua sugestão, de acordo com o item da lista (item 1 ao item 14).

Item	Sugestão de inclusão de item no <i>checklist</i>
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
Item que não foi abordado no <i>checklist</i> :	

Muito obrigado pela valiosa participação e contribuição.

Nome: \_\_\_\_\_.

Tem experiência com ASV: \_\_\_\_\_ Quantos anos? \_\_\_\_\_.

Tem experiência com Segurança Viária: \_\_\_\_\_ Quantos anos? \_\_\_\_\_.

Formação /Curso: \_\_\_\_\_.

Assinatura: \_\_\_\_\_.

## **APÊNDICE B: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA (RSL)**

A revisão de literatura relevante é uma característica essencial de todo projeto acadêmico. A elaboração de estudos bibliométricos busca examinar quantitativamente um conjunto de informações acerca de um grupo de artigos e documentos selecionados sobre determinado assunto (COSTA, 2010). Segundo Guedes e Borschiver (2005), a análise bibliométrica contribui com a criação e gestão de conhecimentos, possibilitando explorá-los e gerar relacionamentos entre eles. A realização de pesquisas que identifiquem a exploração de trabalhos científicos com a temática sobre auditoria de segurança viária em ambientes virtuais se faz necessário para que se possam diagnosticar quais lacunas carecem de atenção e desenvolvimentos futuros. Tranfield *et al.* (2003) ressalta que essa metodologia difere das tradicionais revisões narrativas por adotar um processo replicável, científico e transparente, que garante rigor, integridade e qualidade dos resultados, proporcionando um caminho passível de auditoria sobre as decisões, autores, os procedimentos adotados e as conclusões obtidas. Para a sua aplicação, o método sugerido por Soni e Kodali (2011) é a sequência de passos de pesquisa:

- a) Passo 1: definição do problema de pesquisa claro, objetivo e conciso;
- b) Passo 2: definição da estratégia de pesquisa, mediante a escolha das bases de dados, do período de pesquisa e dos termos de busca;
- c) Passo 3: definição de critérios para inclusão ou exclusão de trabalhos;
- d) Passo 4: seleção dos artigos (Passo 2) e critérios de inclusão e exclusão (Passo 3).

A Tabela B.1 mostra a aplicação da metodologia nesse estudo.

Tabela B.1: Aplicação da metodologia de Revisão Sistemática da Literatura

Passo	Descrição	Finalidade
Definição das questões de pesquisa	<p>1) Qual é o panorama da literatura nacional e internacional sobre o uso de ferramentas que simulem ambientes virtuais na auditoria de segurança viária?</p> <p>2) Como fazer o uso de ambientes virtuais para auxiliar a Auditoria de Segurança Viária, dentro da perspectiva dos usuários sobre segurança viária?</p>	O estágio atual do conhecimento relacionado à aplicação de simuladores de direção realístico e óculos de realidade virtual na auditoria de segurança viária.
Definição da Estratégia de Pesquisa	Horizonte temporal: 2009 a 2019	Abranger o recente período de publicações até o corrente ano, em bases de dados tradicionais e identificar publicações relacionadas, mediante a duas palavras clássicas sobre o tema.
	Base de pesquisa: Google Scholar, Scopus, Science Direct e Revista Transportes.	
	Identificação de estudos: busca de trabalhos publicados sobre o tema (no título, palavras-chave e resumo), por meio de combinações dos termos de busca, em inglês: (" <i>road safety</i> " <b>OR</b> " <i>traffic safety</i> " <b>OR</b> " <i>highway safety</i> ") <b>AND</b> (" <i>driving simulator</i> " <b>OR</b> " <i>virtual road environment</i> ") <b>AND</b> (" <i>virtual reality glasses</i> " <b>OR</b> " <i>virtual reality headset</i> ") <b>AND</b> (" <i>driver perception</i> ") <b>OR</b> (" <i>driver behavior</i> ") <b>AND</b> (" <i>road safety audit</i> ") <b>AND</b> (" <i>virtual road safety audit</i> ").	
Definição de critérios para inclusão ou exclusão de trabalhos	Critérios de exclusão: todos os trabalhos que não sejam artigos científicos ou trabalhos repetidos.	Limpeza da base de dados, evitando trabalhos repetidos e não classificados como artigo.
	Critérios de inclusão: todos os artigos científicos que atendam aos requisitos da definição da estratégia de pesquisa	Identificar estudos que abordem aplicações de ferramentas que simulem ambientes virtuais na segurança viária.
Seleção dos artigos	Critérios de seleção: Artigos científicos que atendem totalmente ao objetivo do trabalho, ou seja, que possuam aplicação de ferramentas que simulem ambientes virtuais na segurança viária.	Selecionar artigos que abordem o uso de ferramentas que simulem ambientes virtuais na segurança viária.
Análise dos artigos selecionados	Elementos para análise: Relação de artigos publicados por revista; evolução das publicações por ano; evolução das publicações por país; análise espacial abordada; quanto ao objeto; e, análise de estudos que tratem de ferramentas que simulem ambientes virtuais na segurança viária.	Ampliar a compreensão sobre a temática, mediante a uma análise da literatura internacional.
Apresentação dos resultados	Resultado: apresentação de artigo científico.	Apresentar os resultados, destacando as lacunas e pesquisas futuras.

As Palavras-chave utilizadas na busca foram: segurança viária e seus sinônimos, simulador de direção, ambiente viário virtual e seus sinônimos, óculos de realidade virtual e seus sinônimos, percepção e comportamento dos motoristas na segurança viária, auditoria de segurança viária e, por fim, auditoria virtual de segurança viária. Para isso, separou-se a revisão sistemática da literatura em seis grupos, conforme listados na Tabela B.2 a seguir.

Tabela B.2: Palavras-chave utilizadas na busca

<b>Grupo</b>	<b>O que se pretende pesquisar</b>	<b>Palavras-chave utilizadas na busca</b>
Grupo A:	Métodos ou técnicas de Auditoria de segurança viária:	<i>("methods" OR "techniques") AND ("road safety audit");</i>
Grupo B	Uso de óculos de realidade virtual na segurança viária:	<i>("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset");</i>
Grupo C:	Percepção e comportamento dos motoristas na segurança viária dentro de um ambiente virtual e consistência de projeto:	<i>("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("driving simulator" OR "virtual road environment") AND ("driver behavior" OR "driver perception") AND ("design consistency");</i> <i>("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset") AND ("driver behavior" OR "driver perception");</i> <i>("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset") AND ("behavior" OR "perception");</i> <i>("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset") AND ("driver behavior" OR "driver perception");</i>
Grupo D:	Auditoria de Segurança Viária em ambientes virtuais:	<i>("road safety audit") AND ("driving simulator" OR "virtual road environment");</i> <i>("road safety audit") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset");</i> <i>("virtual road safety audit");</i>
Grupo E:	Estudos sobre o comportamento e percepção dos motoristas na ASV:	<i>("road safety audit") AND ("driver behavior" OR "driver perception");</i>
Grupo F:	Validação de estudos sobre cenários de direção virtual em rodovias:	<i>("validation") AND ("virtual road environment").</i>

Foi utilizado os operadores Booleanos para restringir a pesquisa, isto é, informar ao sistema de busca como combinar os termos da pesquisa. São eles: AND e OR e significam, respectivamente, E e OU. Buscou-se também nas bases digitais das bibliotecas universitárias e nos anais dos principais congressos relacionados com esta temática. A Tabela B.3 mostra os termos utilizados na busca onde foram encontrados 1.126 artigos.

Tabela B.3: Resultado da busca nas principais fontes pesquisadas

Termos utilizados na busca		Scholar	Scopus	Science Direct	Transportes	Total	%
<b>Grupo A</b>	("methods" OR "techniques") AND ("road safety audit")	624	35	30	1	690	61,28
<b>Grupo B</b>	("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset")	40	0	0	0	40	3,55
<b>Grupo C</b>	("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("driving simulator" OR "virtual road environment") AND ("driver behavior" OR "driver perception") AND ("design consistency")	94	3	10	1	163	14,48
	("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset") AND ("driver behavior" OR "driver perception")	6	0	0	0		
	("road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset") AND ("behavior" OR "perception")	34	0	0	0		
	("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset") AND ("driver behavior" OR "driver perception")	15	0	0	0		
<b>Grupo D</b>	("road safety audit") AND ("driving simulator" OR "virtual road environment")	39	5	3	0	55	4,88
	("road safety audit") AND ("virtual reality glasses" OR "virtual reality headset")	0	0	0	0		
	("virtual road safety audit")	7	1	0	0		
<b>Grupo E</b>	("road safety audit") AND ("driver behavior" OR "driver perception")	139	4	3	0	146	12,97
<b>Grupo F</b>	"validation" AND "virtual road environment"	32	0	0	0	32	2,84
<b>Total Geral</b>		<b>1.030</b>	<b>48</b>	<b>46</b>	<b>2</b>	<b>1.126</b>	<b>100,00</b>

De forma geral, observa-se que as publicações que abordam o tema em auditoria de segurança viária com análise em ambientes virtuais, ainda é incipiente, tanto na literatura internacional quanto nacional, com destaque para autores como Santiago-chaparro, Deamico, Bill, Chitturi e Noyce, todos da University of Wisconsin - Madison, nos Estados Unidos. Em se tratando de estudos que analisam o comportamento dos motoristas utilizando simuladores de direção realístico, destaca-se autores italianos como Bella, Calvi, Ferrante e De Blasiis.

No período analisado e com o uso das palavras-chave mencionadas, foram selecionados 405 artigos com base nos critérios de inclusão/exclusão. Das publicações encontradas, aproximadamente 65 % são difundidas em periódicos especializados da engenharia e o restante em áreas como as ciências sociais, medicina, meio ambiente, computação. Os principais países

que mais publicam nesta área são: Itália, Estados Unidos, China, Austrália, Alemanha, Reino Unido, Polônia e Canadá, como mostrado na Tabela B.4.

Tabela B.4: Quantidade de publicações

<b>País</b>	<b>Publicações</b>
Itália	29
Estados Unidos	28
China	21
Austrália	13
Alemanha	11
Reino Unido	8
Polônia	6
Canadá	4

Fonte: *Scopus* (2019)

Observou-se que esses países registraram suas publicações nos periódicos: *Transportation Research Procedia*, *Accident Analysis and Prevention*, *Advanced in Transportation Studies*, *Transportation Research Record*, *Transportation Research Part F Traffic Psychology And Behaviour*, *Advances In Intelligent Systems And Computing* e o periódico *Safety Science*.



## APÊNDICE C: EQUIPAMENTOS

### C.1 SIMULADORES DE DIREÇÃO REALÍSTICO

Os simuladores de direção são definidos como aparelhos de laboratório utilizados para observar o comportamento do condutor enquanto dirige em um ambiente virtual, que visa gerar uma experiência semelhante a dirigir um veículo no mundo real (ALLEN *et al.*, 2011).

Entre os diversos recursos disponíveis para estudar o comportamento do condutor, o uso dos ambientes simulados de direção é cada vez mais frequente, tanto pelos avanços tecnológicos no realismo da simulação quanto pela flexibilidade que oferecem para estudar vários condutores e múltiplos cenários rodoviários – alguns inexistentes ou difíceis de estudar na realidade, com alto controle experimental para o pesquisador e de forma segura para o condutor.

O simulador de direção mencionado na presente pesquisa é composto por duas dimensões: uma dimensão física composta pelos equipamentos que permitem o controle do veículo e projetam o cenário virtual, e uma dimensão não física composta pelo modelo virtual da pista e o modelo de dinâmica veicular do carro principal – aquele que é dirigido pelos participantes do experimento.

O simulador possui um sistema de controle do veículo, um sistema de projeção visual, um sistema de som e um sistema de processamento, encarregado de integrar em tempo real os outros três sistemas. O sistema de controle do veículo é composto por um *cockpit* com banco de carro, pedais de embreagem, freio e acelerador, alavanca de câmbios com seis marchas e volante de direção Logitech G27. O *cockpit* utilizado apresenta alta ergonomia para o condutor permitindo ajustar para cada pessoa a distância do banco aos pedais, assim como a separação e a altura do volante. Adicionalmente, o sistema de controle do veículo possui um motor elétrico que permite simular o torque gerado pelo sistema de direção de um veículo real (CASTILLO RANGEL *et al.*, 2015).

O sistema de projeção visual do simulador de direção é composto por três projetores DepthQ HDs3D2, de resolução 1080p e taxa de projeção de 60 Hz, além de três telas de projeção de 1425 mm x 800 mm, colocadas em ângulos retos entre si. Com esta configuração visual, o

condutor tem um campo de visão amplo do cenário virtual – aproximadamente 180° na horizontal e 50° na vertical. A resolução visual da tela central é de 1,70 arcmin/pixel, um valor satisfatório segundo as recomendações da literatura, mas que ainda é 1,7 vezes menor que a resolução do olho humano (CASTILLO RANGEL, 2015). A Figura C.1 ilustra a dimensão física do simulador de direção mencionado neste trabalho.



Figura C.1: Simulador de direção realístico

Fonte: Castillo Rangel (2015)

Já o sistema de som é composto por duas caixas de som encarregadas de transmitir o som do sistema mecânico do veículo principal e o som do entorno, a partir de sons pré-gravados. Por último, o sistema de processamento é integrado por três computadores de alto desempenho que trabalham em simultâneo e em tempo real, cada um deles dedicados exclusivamente a um dos seguintes processos: modelagem e geração visual do ambiente virtual, modelagem da dinâmica veicular e controle do sistema de rastreamento do olhar. As características do sistema de processamento do simulador de direção podem ser consultadas no Quadro C.1.

Quadro C.1: Características do sistema de processamento do simulador de direção

Características Computador	Modelagem do cenário	Modelagem do veículo	Sistema de rastreo do olhar
Sistema operacional	Xubuntu 14.04 - 64 bit	Windows 8 - 64 bit	Windows 7 - 64 bit
Processador	I7-4790	I5-4460	Xeon E3-1225 v3
Memória RAM	16 GB	8 GB	8 GB
Placa de vídeo	Duas GTX 780 2 GB	GT 630 2 GB	NVIDIA® Quadro® K600 1GB

Fonte: Castillo Rangel (2015)

O modelo do veículo é uma representação matemática dos sistemas de transmissão, frenagem, direção e suspensão do veículo principal no software Vi- Car Real Time, que simula a resposta mecânica e dinâmica de cada sistema em função das manobras realizadas pelo condutor (por exemplo, ação dos pedais, troca de marcha ou ângulo de direção do volante) e da interação com a superfície de rolamento do cenário virtual (por exemplo, superelevação e atrito). O modelo do veículo tem por objetivo principal retornar a nova posição do veículo no cenário virtual, transmitir os parâmetros para produzir o som do motor e transmitir ao condutor o torque do volante.

Em resumo, as características físicas do simulador mencionado no presente trabalho permitem transmitir aos condutores estímulos visuais e auditivos semelhantes aos que poderiam experimentar em um cenário real de direção, além de ter uma alta capacidade computacional para o processamento e a integração em tempo real do *cockpit*, do cenário virtual e do modelo dinâmico do veículo. Nesse sentido, é possível afirmar que em termos físicos o simulador de direção utilizado neste trabalho pode ser classificado como um simulador de realismo físico intermediário (CASTILLO RANGEL *et al.*, 2015).

## C.2 - VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS SIMULADORES DE DIREÇÃO

Segundo o manual HSM (AASHTO, 2010), o uso de simuladores de direção é vantajoso em termos de segurança do condutor, controle experimental e eficiência econômica. Porém, além das limitações de realismo – por enquanto o mundo real não pode ser reproduzido exatamente,

os simuladores de direção possuem três limitações importantes: as viagens no simulador carecem de uma motivação, os condutores sabem que não há consequências físicas se sofrerem um acidente e alguns deles experimentam enjoo no simulador. Em conjunto, esses três elementos condicionam a forma como o condutor dirige e podem afastá-lo do seu comportamento real de direção. O Quadro C.2 resume as principais vantagens e limitações dos simuladores de direção.

Quadro C.2: Principais vantagens e limitações dos simuladores de direção

Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança: Os condutores não estão expostos a nenhum tipo de ferimento.</li> <li>• Controle experimental: É possível controlar todas as variáveis do entorno rodoviário e identificar com precisão o impacto de cada uma delas no comportamento/desempenho do condutor. Adicionalmente, é possível reproduzir as mesmas condições de estudo para diferentes condutores.</li> <li>• Eficiência: Capacidade de testar diferentes cenários de forma rápida e econômica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segurança: Ainda não se conhece o impacto psicológico de sofrer um acidente no simulador.</li> <li>• Motivações e riscos: As viagens carecem de um motivo e não há risco de sofrer um acidente.</li> <li>• <i>Simulation sickness</i>: alguns condutores podem experimentar enjoo e devem ser retirados do experimento.</li> </ul>

Fonte: Castillo Rangel (2015)

Outras limitações dos simuladores estão relacionadas às diferenças entre a qualidade dos estímulos transmitidos pelo simulador e a qualidade dos estímulos experimentados num cenário real de direção. Os principais estímulos que os simuladores de direção conseguem transmitir são visuais, sonoros, vibracionais e em ocasiões de movimento.

O estímulo visual é o estímulo mais importante para o condutor uma vez que através dele recebe a maior parte da informação do entorno rodoviário, tal como a posição e a velocidade dos objetos, a percepção da sua própria velocidade e a profundidade –distância- dos objetos.

Pesquisas sugerem que 80% da informação necessária para a condução é visual (BARTMANN *et al.*, 1991; KLINE *et al.*, 1990; SIVAK, 1996 *apud* CHARLTON *et al.*, 2002). A principal limitação dos simuladores em termos de estimulação visual é a baixa resolução, luminosidade e contraste que oferecem em comparação com o sistema visual do olho humano; por exemplo, a luminosidade dos melhores sistemas de projeção é ainda dez vezes menor que a percebida pelo olho humano, enquanto que a resolução espacial é cinco vezes menor (GREEMBERG, 2011 *apud* SANTOS *et al.*, 2017).

## APÊNDICE D: ITENS DE VERIFICAÇÃO (*CHECKLIST*) EM AUDITORIA DE SEGURANÇA VIÁRIA – VERSÃO FINAL

Os auditores responderam o *Checklist* em uma Escala de 1 a 5, onde 1 corresponde a ausência total do item do *Checklist*, e 5 corresponde que o item do *Checklist* se encontra em sua totalidade. As escalas 2 a 4 corresponde as escalas intermediárias. A gradação da escala é mostrada na Figura D.1 a seguir.

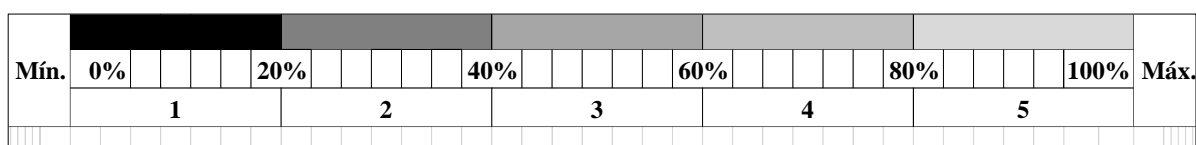


Figura D.1 – Gradação das Escalas para preenchimento do *Checklist*

Em que:

- 1 equivale a dizer que determinado item está ausente (ou menos que 20%);
- 2 equivale a dizer que determinado item possui de 20 a 40%;
- 3 equivale a dizer a gradação sobre determinado item possui entre 40 a 60%;
- 4 equivale a dizer a gradação sobre determinado item possui entre 60 a 80%;
- 5 equivale a dizer a gradação sobre determinado item possui entre 80 a 100%.

Velocidade da Rodovia: \_\_\_\_\_.

Local: \_\_\_\_\_.

Classe da Rodovia: \_\_\_\_\_.

Rodovia: ( ) Pista Simples ( ) Pista Dupla.

Trecho: ( ) Urbano ( ) Rural.

Um ponto a destacar é que na realização da ASV tradicional a avaliação de todos os itens é realizada por inspeção *in loco*, enquanto que na ASV-H somente 43 do total dos 234 itens é que são inspecionados em campo.

O *Checklist* empregado para a inspeção que compõe a ASV está dividido em 12 Grupos: 1. Alinhamento rodoviário e Seção transversal. 2. Faixas auxiliares. 3. Interseções. 4. Iluminação e Sinalização Vertical/Semafórica. 5. Sinalização Horizontal e Delineamento. 6. Dispositivos de Contenção e zonas livres de obstáculos. 7. Pedestres e Ciclistas. 8. Pontes e Bueiros. 9. Pavimento. 10. Estacionamento e Veículos pesados. 11. Drenagem Superficial. 12. Diversos. A seguir seguem os Quadros D.1 a D.12 utilizados para realizar a inspeção. Destaca-se que os itens em “escala de cinza” são adequados também, para inspeção em ambiente virtual. Aqueles em que a inspeção *in loco* é obrigatória, estão devidamente identificados nos Quadros D.1 a D.12.

Quadro D.1 *Checklist* para alinhamento rodoviário e Seção transversal

1. Alinhamento rodoviário e Seção transversal	Escala					Comentários/Observações
	Mín.				Máx.	
Item						
1.1 Visibilidade; distância de visibilidade:	1	2	3	4	5	
1.1.1 A distância de visibilidade é adequada para a velocidade da via?						
1.1.2 Há distância de visibilidade adequada para as interseções e cruzamentos? (por exemplo, pedestres, ciclistas, animais na pista, ferrovia).						
1.1.3 Há distância de visibilidade adequada para todos os acessos?						
1.2. Velocidade de projeto	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
1.2.1 O alinhamento horizontal e vertical é adequado para a velocidade de tráfego (percentil 85 <sup>1</sup> )? ( <sup>1</sup> V85 é a velocidade abaixo da qual 85% dos usuários circulam)						
1.2.2 Se não está adequado para a velocidade praticada: Há sinais de advertência implantados?						

1.2.3 Se não está adequado para a velocidade praticada: Há sinais de regulamentação de velocidade implantados?						
1.2.4 Os sinais de velocidade estão adequados para as curvas?						
<b>1.3. Limite de velocidade</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
1.3.1 O limite de velocidade é compatível com a função da via, geometria da rodovia, uso do solo e distância de visibilidade? <sup>3</sup>						
<b>1.4. Condições de Ultrapassagem</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
1.4.1 São oferecidas oportunidades de ultrapassagem seguras?						
<b>1.5. Legibilidade/clareza por parte dos motoristas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
1.5.1 A via possui elementos que possa confundir o motorista?						
1.5.2 O alinhamento da via é claramente definido? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> claro, pronunciado, bem definido)						
1.5.3 O pavimento fora de uso (se houver) foi removido ou tratado? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> sem confundir o motorista)						
1.5.4 Marcações de sinalização horizontal antigas foram adequadamente removidas? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> sem confundir o motorista)						
1.5.5 O alinhamento das árvores segue o alinhamento da rodovia? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> sem confundir o motorista)						
1.5.6 O alinhamento dos postes de iluminação segue o alinhamento da rodovia? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> sem confundir o motorista)						
1.5.7 A rodovia apresenta curvas ou combinação de curvas que possam induzir o motorista ao erro?						
<b>1.6. Largura da via</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
1.6.1 Os canteiros centrais e as ilhas têm largura adequada para os pedestres e ciclistas?						



1.6.2 A largura das faixas de tráfego é adequada para o volume e a composição de tráfego?						
1.6.3 A largura das pontes é adequada?						
1.7 Presença de Acostamentos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
1.7.1 No trecho há acostamento? <sup>2</sup>						
1.7.2 Os acostamentos são largos o suficiente para permitir que os motoristas recuperem o controle de veículos errantes?						
1.7.3 Os acostamentos são largos o suficiente para que veículos quebrados ou de emergência parem com segurança?						
1.7.4 Os acostamentos são pavimentados?						
1.7.5 Os acostamentos estão em boas condições?						
1.7.6 A transição da rodovia para o acostamento é segura (sem degraus)?						
1.8. Inclinação/Declividade da pista de rolamento (Seção transversal)	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
1.8.1 Há superelevação apropriada prevista para as curvas? <sup>3</sup>						
1.8.2 As superelevações deficientes estão sendo gerenciadas com segurança (para carros, caminhões, etc.)? Estão bem sinalizados?						
1.8.3 As inclinações da Seção transversal (pista e acostamento) permitem uma drenagem adequada? <sup>3</sup>						
1.9 Taludes laterais	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
1.9.1 Os taludes laterais são atravessáveis por carros e caminhões caso estes saiam da pista? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> isto é, a inclinação do talude permite a recuperação de controle dos veículos que saíra da pista?)						
1.10 Drenagem	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
1.10.1 A drenagem lateral (sarjetas, bueiros, etc.) e os bueiros são atravessáveis por carros e caminhões caso saiam da rodovia? <sup>3</sup>						

<sup>2</sup> Proposto pelo Autor; <sup>3</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.2 *Checklist* para Faixas Auxiliares

2. Faixas Auxiliares	Escala					Comentários/Observações
Item	Mín.				Máx.	
2.1 <i>Tapers</i>	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
2.1.1 Os <i>tapers</i> de início e fim estão corretamente localizados e alinhados? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> <i>tapers</i> - faixas de aceleração e desaceleração)						
2.1.2 Há distância de visibilidade suficiente para o final das faixas auxiliares?						
2.2 Acostamentos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
2.2.1 Os acostamentos possuem largura adequada nas junções? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> isto é, as larguras são apropriadas)						
2.2.2 A largura dos acostamentos está mantida nas faixas auxiliares?						
2.3 Sinalização Horizontal e Vertical	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
2.3.1 Todos os sinais verticais estão instalados de acordo com os manuais vigentes?						
2.3.2 Todos os sinais são conspícuos e claros?						
2.3.3 Todos os sinais horizontais estão de acordo com os manuais vigentes?						
2.3.4 Há sinalização advertindo sobre a aproximação das faixas auxiliares?						
2.4 Retornos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
2.4.1 Há sinalização antecipada advertindo e informando sobre as faixas de retorno?						
2.4.2 Há retornos em nível na via? <sup>2</sup>						

<sup>2</sup> Proposto pelo Autor.

Quadro D.3: *Checklist* para Interseções

3. Interseções	Escala					Comentários/Observações
Item	Mín.				Máx.	
3.1 Localização	1	2	3	4	5	
3.1.1 Todas as interseções estão localizadas com segurança em relação ao alinhamento horizontal e vertical?						

3.1.2 Quando as interseções ocorrem em locais de alta velocidade (por exemplo, quando há acessos para cidades), existem dispositivos de controle de tráfego para alertar os motoristas? (Ex.: sinalização vertical, semáforos, e demais mecanismos de operação para regular, advertir e guiar o tráfego).						
3.2 Visibilidade / Distância de Visibilidade	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
3.2.1 A presença de cada interseção é perceptível, clara e evidente para todos os usuários da rodovia?						
3.2.2 A distância de visibilidade é adequada para todos os movimentos e todos os usuários? <sup>3</sup>						
3.2.3 Existe distância de visibilidade de parada para o final das filas ou para os veículos em movimento lento?						
3.2.4 A distância de visibilidade é adequada para a entrada e saída de veículos?						
3.3 Controle e delineamento	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
3.3.1 A sinalização horizontal e os dispositivos de controle de tráfego são satisfatórios nas interseções?						
3.3.2 A trajetória dos veículos através de interseções está delineada satisfatoriamente?						
3.3.3 Todas as faixas de rolamento estão devidamente sinalizadas (incluindo setas)?						
3.4 Traçado	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
3.4.1 Todos os pontos de conflito <sup>1</sup> entre veículos estão sendo tratados com segurança? <sup>2,3</sup> (1) (pontos de conflito - locais onde correntes de tráfego cruzam entre si).						
3.4.2 O traçado da interseção é perceptível, claro e evidente para todos os usuários da rodovia?						
3.4.3 O alinhamento do meio-fio é perceptível, claro, evidente e						

apropriado para os usuários da rodovia?						
3.4.4 O alinhamento das ilhas de tráfego é perceptível, claro e apropriado para os usuários da rodovia?						
3.4.5 O alinhamento do canteiro central é perceptível, claro e apropriado para os usuários da rodovia?						
3.4.6 Todos os tipos de veículos prováveis podem ser acomodados na interseção? <sup>3</sup>						
3.4.7 Os <i>tapers</i> de entrelaçamento têm o comprimento suficiente?						
3.4.8 A interseção é livre de problemas de capacidade que podem produzir problemas de segurança? <sup>3</sup>						
3.5 Diversos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
3.5.1 As interseções estão livres de material granular solto?						

<sup>2</sup> Proposto pelo Autor; <sup>3</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.4: Checklist para Iluminação e Sinalização Vertical/Semafórica

4. Iluminação e Sinalização Vertical/Semafórica	Escala					
	Mín.				Máx.	
Item	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
4.1 Iluminação						
4.1.1 A iluminação artificial nesse trecho é necessária?						
4.1.2 Se sim: a iluminação nesse trecho está adequada?						
4.1.3 A rodovia está livre de dispositivos que possam interromper a iluminação (por exemplo, árvores ou passagens superiores)?						
4.1.4 A rodovia está livre de postes de iluminação que são um perigo fixo nas laterais?						
4.1.5 Estão instaladas bases colapsíveis (dobráveis) para os postes de iluminação?						

4.1.6 O sistema de iluminação artificial está causando efeitos adversos (confusos) em semáforos ou sinalização vertical? <sup>3</sup>						
4.1.7 Há defeitos/falhas na iluminação? <sup>2,3</sup> (Ex. áreas de sombras)						
4.2. Sinalização Vertical	Mín.				Máx.	
4.2.N1 Assuntos gerais: sinalização vertical	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
4.2.1 Todos os sinais de regulamentação, advertência e indicação/orientação necessários estão implantados?						
4.2.2 Os sinais verticais são conspicuos (visíveis) e claros?						
4.2.3 Todos os sinais verticais e dispositivos balizadores são eficazes para todas as condições prováveis? (por exemplo, dia, noite, chuva, neblina, sol nascente ou poente, faróis de veículos que se aproximam, iluminação fraca).						
4.2.4 Os motoristas estão adequadamente advertidos da existência de restrições para alguma classe de veículo?						
4.2.5 Se há restrições para alguma classe de veículo, os motoristas estão informados sobre rotas alternativas?						
4.2.N2. Visibilidade e Legibilidade da sinalização vertical	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
4.2.6 À luz do dia e a noite, os sinais verticais e dispositivos de balizamento são satisfatórios em relação à visibilidade?						
4.2.7 Os sinais verticais são satisfatórios em relação à clareza de mensagem?						
4.2.8 Os sinais verticais e dispositivos de balizamento estão satisfatórios em relação à distância de legibilidade?						
4.2.9 A retrorefletância ou iluminação dos sinais verticais e						

dispositivos de balizamento estão satisfatórias?						
4.2.10 Os sinais verticais e dispositivos de balizamento estão livres de obstruções ou distrações adjacentes?						
4.2.11 Há excesso de sinalização vertical que possa confundir o motorista?						
4.2.N3 Suporte de sinais verticais e semaforicas	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
4.2.12 Os suportes dos sinais verticais e semaforicas estão fora da zona livre da rodovia?						
4.2.13 Se não, eles são colapsíveis?						
4.2.14 Se não, estão protegidos por defensas, barreiras ou amortecedores de impacto?						
4.3 Sinalização semaforica	Mín.				Máx.	
4.3.N1 Visibilidade e Legibilidade da sinalização semaforica	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
4.3.1 As sinalizações semaforicas são vistas à distância necessária para a tomada de decisão? <sup>2,3</sup>						
4.3.2 A sinalizações semaforicas têm visibilidade satisfatória à luz do dia e à noite? <sup>3</sup>						
4.3.3 O sistema de iluminação causa ofuscamento ou recobrimento sobre a sinalização semaforica? <sup>3</sup>						
4.3.N2 Operações da sinalização semaforica	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
4.3.4 Os semáforos estão funcionando corretamente?						
4.3.5 O número, a localização e os grupos focais são apropriados para o tráfego misto de veículos e o ambiente viário?						
4.3.6 Onde necessário, há dispositivos que auxiliem os pedestres com deficiência visual? (por exemplo, botoeiras sonoras).						

4.3.7 Onde necessário, há programação semafórica que auxiliem pedestres idosos ou deficientes? (por exemplo, fase verde prolongada do semáforo) <sup>3</sup>						
4.3.8 O controlador está localizado em uma posição segura? (isto é, onde é improvável que seja atingido, mas o acesso de manutenção é facilitado e seguro).						
4.3.9 A condição da superfície do pavimento nas aproximações é satisfatória (especialmente resistência à derrapagem)? <sup>3</sup>						
4.3.N3 Visibilidade	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
4.3.10 Os semáforos estão claramente visíveis para os motoristas que se aproximam?						
4.3.11 Os semáforos estão claramente visíveis para os pedestres que se aproximam? <sup>2</sup>						
4.3.12 Existe uma distância de visibilidade suficiente para as possíveis filas de veículos, a ponto que eles possam parar seguramente?						
4.3.13 Existe algum problema de visibilidade que poderia ser causado pelo nascer ou pôr do sol?						
4.3.14 Os grupos focais estão protegidos, de modo que eles possam serem vistos somente pelos motoristas a quem são direcionados?						
4.3.15 Nos locais em que os semáforos não podem ser vistos de uma distância adequada, sinais verticais de advertência e/ou luzes intermitentes estão instalados? (Ex. sinalização de advertência A-14)						
4.3.16 Semáforos instalados no topo de curvas verticais convexas, há uma distância de visibilidade suficiente para o fim das filas de tráfego? <sup>2</sup>						
4.3.17 Os sinais dos semáforos estão livres de obstruções na calçada						

próxima aos motoristas se aproximando? (árvores, postes de luz, placas, pontos de ônibus, etc.)						
---	--	--	--	--	--	--

<sup>2</sup> Proposto pelo Autor; <sup>3</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.5: Checklist para Sinalização Horizontal e delineamento

5. Sinalização Horizontal e Delineamento	Escala					
	Mín.				Máx.	
5.1 Questões Gerais	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
5.1.1 A sinalização horizontal e delineamento: estão apropriados para a função da rodovia? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> A classificação funcional das rodovias é determinada em função das características de acessibilidade e mobilidade.)						
5.1.2 A sinalização horizontal e delineamento: estão consistentes (constantes, estáveis) ao longo do trajeto?						
5.1.3 A sinalização horizontal e delineamento estão eficazes em todas as condições esperadas? (dia, noite, molhado, seco, neblina, nascer do sol e pôr do sol, faróis do tráfego oposto, etc.)?						
5.1.4 A via está livre de sinalização horizontal excessivas? (p.ex., setas desnecessárias, faixas de barreiras desnecessárias, etc.)						
5.2 Linhas de centro, linhas de bordo e linhas entre as faixas	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
5.2.1 Há no trecho linhas de centro, linhas de bordo e linhas entre as faixas?						
5.2.2 Se não, os motoristas têm delineamento/orientação adequada?						
5.2.3 As tachas refletivas foram instaladas onde necessário?						
5.2.4 Se há tachas refletivas, elas estão implantadas corretamente, nas cores corretas, e estão em boas condições?						
5.2.5 Há LERV (Linhas de Estímulo à redução de velocidade) instaladas onde necessário? <sup>2</sup>						



5.2.6 Há sonorizadores instalados onde necessários? <sup>2</sup>						
5.2.7 A sinalização horizontal (em geral) está em boas condições?						
5.2.8 Existe contraste suficiente entre a sinalização horizontal e a cor do pavimento?						
<b>5.3 Balizadores e refletores</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
5.3.1 Os balizadores estão corretamente instalados?						
5.3.2 Os delineadores estão visíveis?						
5.2.3 Os delineadores estão com as cores corretas?						
<b>5.4 Sinalização de aviso de curva e delineamento</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
5.4.1 Os sinais de advertência de curva e de regulamentação de velocidade estão instalados onde necessário?						
5.4.2 Os sinais regulamentação de velocidade em curvas estão consistentes ao longo da via?						
5.4.3 As sinalizações verticais estão corretamente localizadas em relação à curva? (isto é, não muito adiantados?)						
5.4.4 Os sinais verticais (advertência e regulamentação de velocidade) têm o tamanho necessário e estão dentro das normas técnicas vigentes? <sup>3</sup>						
5.4.5 Há Marcadores de Alinhamento instalados onde necessário?						
5.4.6 O posicionamento dos Marcadores de Alinhamento fornece orientação ao longo da curva?						
5.4.7 Os Marcadores de Alinhamento têm o tamanho correto e estão dentro das normas técnicas vigentes?						
5.4.8 Os Marcadores de Alinhamento estão limitados/restritos somente às curvas (sem ser usados para delinear ilhas, etc.)?						

<sup>2</sup> Proposto pelo Autor; <sup>3</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.6: *Checklist* para Dispositivos de Contenção e zonas livres de obstáculos

6. Dispositivos de Contenção e zonas livres de obstáculos	Escala					
	Mín.				Máx.	
6.1 Questões Gerais	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
6.1.1 A via atende as normas vigentes quanto a instalação de dispositivos de contenção central e lateral? <sup>3</sup>						
6.1.2 A largura da zona livre no canteiro central e lateral é atravessável? (isto é, dirigível) <sup>1,4</sup> ( <sup>1</sup> zona livre - área lateral à pista de rolamentos que seja transpassável, sem obstruções e podendo ser utilizada por veículos errantes para recobrar o controle ou chegar a uma parada segura).						
6.1.3 A largura da zona livre é livre de obstáculos rígidos (obstáculos maiores que 10 cm de diâmetro)? <sup>4</sup>						
6.1.4 Se não, todos esses obstáculos rígidos podem ser removidos ou protegidos? <sup>4</sup>						
6.1.5 Todos os postes, árvores, etc. estão a uma distância segura das faixas de tráfego?						
6.1.6 Todos os objetos rígidos estão protegidos dentro da zona livre?						
6.1.7 Os sistemas de contenção estão delineados/sinalizados/instalados corretamente e dentro das normas vigentes? <sup>2</sup>						
6.2 Barreiras de impacto	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
6.2.1 As barreiras de impacto estão instaladas em todos os locais necessários, de acordo com as normas vigentes?						
6.2.2 Os sistemas de barreira estão adequados para o propósito?						
6.2.3 As barreiras de impacto estão corretamente instaladas?						
6.2.4 O comprimento da barreira de impacto está adequado?						

6.2.5 As defensas metálicas estão ancoradas corretamente aos guarda-corpos das pontes?						
6.2.6 Os sistemas de defesa metálica implantados estão instalados conforme as normas vigentes? <sup>3</sup> Os materiais instalados estão certificados e são apresentados os laudos conforme as normas vigentes? <sup>3</sup>						
6.2.7 A transição entre defensas metálicas e barreiras de concreto está feita corretamente? <sup>2,4</sup>						
6.2.8 Existe largura suficiente entre a barreira e a linha de bordo (para acomodar um veículo quebrado?)						
6.2.9 A pista está livre de guias que poderiam reduzir a eficácia das barreiras ou defensas? <sup>2</sup>						
<b>6.3 Terminais</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
6.3.1 Os terminais estão implantados corretamente?						
6.3.2 Os inícios dos terminais estão adequadamente instalados (terminal abatido ou terminal ancorado em taludes de corte)? <sup>2</sup>						
6.3.3 Se não, há terminais absorvedores de energia? <sup>2</sup>						
6.3.4 Há uma área de escape segura atrás dos terminais de abertura?						
6.3.5 A instalação de terminais de impacto ou atenuadores e o projeto de instalação do fabricante estão de acordo com as normas vigentes? <sup>3,4</sup>						
6.3.6 Os dispositivos implantados são certificados? <sup>2,4</sup>						
<b>6.4 Telas de proteção</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
6.4.1 As telas de proteção/vedação para pedestres são frangíveis (quebradiças)? <sup>4</sup>						
6.4.2 Os veículos estarão seguros se, por acaso, atravessarem as telas de proteção/vedação horizontais localizados dentro da zona livre? <sup>4</sup>						

6.4.3 Há dispositivos antiofuscantes nos locais de ofuscamento em pista dupla? <sup>2</sup>						
6.4.4 A extensão das telas de proteção/vedação é suficiente? <sup>4</sup>						
6.4.5 Há pontos de passagem de pedestre no local implantado das telas de proteção/vedação? <sup>4</sup>						
6.5 Visibilidade de barreiras e defensas	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
6.5.1 Existe delimitação adequada e visibilidade de barreiras e telas de proteção à noite?						

<sup>2</sup> Proposto pelo Autor. <sup>3</sup>No caso brasileiro a norma vigente é a ABNT NBR 15486:2016; <sup>4</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.7: Checklist para Pedestres e Ciclistas

7. Pedestres e Ciclistas	Escala					
Item	Mín.				Máx.	
7.1 Questões Gerais	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
7.1.1 Existem caminhos e pontos de cruzamento adequados para pedestres e ciclistas?						
7.1.2 Existem gradis de segurança instalados e sinalização de orientação e advertência de modo a orientar pedestres e ciclistas atravessarem as faixas de pedestres ou passarelas?						
7.1.3 Existem barreiras de segurança instalada onde necessário para separar os fluxos de veículos, pedestres e ciclistas?						
7.1.4 As rotas para pedestres e bicicletas são adequadas para uso noturno?						
7.2 Pedestres	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
7.2.1 Existe uma distância de separação adequada entre o tráfego de veículos e o tráfego de pedestres?						
7.2.2 Existe um número adequado de travessias de pedestres ao longo da via?						
7.2.3 Nos pontos de travessia os gradis estão localizados de modo a direcionar						

e orientar os pedestres para que olhem para o tráfego de aproximação? Há orientação para travessia?						
7.2.4 Há tratamento técnico para a utilização da via por parte de idosos, deficientes, crianças, cadeiras de rodas e carrinhos de bebês (por exemplo, corrimãos, passagens seguras pelas guias de canteiros centrais, rampas)?						
7.2.5 Existem corrimãos, escadaria e guarda-corpos adequados (por exemplo, nas pontes, nas rampas)?						
7.2.6 A sinalização de advertência e regulamentação de escolares perto das escolas são adequados e eficazes?						
7.2.7 A sinalização de advertência e regulamentação de pedestres perto de hospitais são adequados e eficazes?						
7.2.8 A distância entre a linha de retenção e a passagem de pedestres é suficiente para que os motoristas de caminhão vejam os pedestres? <sup>1</sup>						
<b>7.3 Ciclistas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
7.3.1 A largura da faixa de rolamento é adequada para o número de ciclistas utilizando a via? <sup>1</sup>						
7.3.2 A ciclovia (ou ciclo faixa) é contínua (isto é, livre de pontos de estrangulamento ou lacunas)?						
7.3.3 As tampas/grades de drenagem são seguras para as bicicletas? (em relação a fixação e aderência)						
<b>7.4 Transportes públicos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
7.4.1 Os pontos de parada de ônibus estão protegidos e localizados em segurança, com visibilidade adequada e com distância para a faixa de tráfego?						
7.4.2 As paradas de ônibus nas áreas rurais estão sinalizadas antecipadamente?						
7.4.3 Os abrigos e assentos estão localizados com segurança de modo a garantir que as linhas de visibilidade não estejam impedidas? A distância						

para a faixa de tráfego é adequada? São acessíveis no seu entorno?						
7.4.4 A altura e o formato do meio-fio nos pontos de ônibus são adequados para pedestres e motoristas de ônibus? São acessíveis as questões de acessibilidade? <sup>1</sup>						

<sup>1</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.8: *Checklist* para Pontes e Bueiros

8. Pontes e Bueiros	Escala					
Item	Mín.				Máx.	
8.1 Elementos de Projeto	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
8.1.1 A largura das pontes e dos bueiros é equivalente a largura total da plataforma?						
8.1.2 A largura das pontes e dos bueiros é consistente com as condições da aproximação? (Sem estreitamento de pista).						
8.1.3 O alinhamento de aproximação é compatível com a velocidade do tráfego (velocidade 85 percentil)? <sup>1</sup> ( <sup>1</sup> V85 é a velocidade abaixo da qual 85% dos usuários circulam)						
8.1.4 Há sinais de advertência se alguma das duas condições acima (ou seja, largura e velocidade) não forem atendidas?						
8.2 Barreiras de Impacto	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
8.2.1 Existem barreiras de proteção adequadas nas pontes e bueiros, e nas suas aproximações, para proteger os veículos errantes?						
8.2.2 A conexão entre barreira e ponte é segura? <sup>2</sup>						
8.2.3 A ponte está livre de guias que poderiam reduzir a eficácia das barreiras ou defensas?						
8.3 Diversos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
8.3.1 Os passeios para pedestres nas pontes estão adequados e seguros?						

8.3.2 É proibido pescar da ponte? Há sinalização proibindo a pesca no local? Se não, existe local para pescar em segurança?						
8.3.3 O delineamento continua sobre a ponte?						

<sup>2</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.9: *Checklist* para Pavimentos

9. Pavimento	Escala					
	Mín.				Máx.	
9.1 Defeitos no Pavimento	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
9.1.1 A condição das bordas do pavimento é satisfatória? <sup>1</sup>						
9.1.2 A transição do pavimento para os acostamentos está livre de degraus (desníveis) perigosos? <sup>1</sup>						
9.1.3 O pavimento está livre de defeitos (por exemplo, rugosidade excessiva, desagregação, buracos, material solto, etc.) que poderiam resultar em problemas de segurança (por exemplo, perda do controle de direção)?						
9.2 Resistência a derrapagem	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
9.2.1 O pavimento aparenta ter resistência à derrapagem adequada, particularmente nas curvas, rampas íngremes e aproximações de interseções? <sup>1</sup>						
9.2.2 O teste de resistência à derrapagem foi realizado quando necessário? <sup>1</sup>						
9.3 Pontos de alagamentos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
9.3.1 O pavimento está livre de áreas onde alagamento ou a presença de lâmina d'água poderiam contribuir para problemas de segurança? <sup>1</sup>						
9.4 Material granular solto	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
9.4.1 O pavimento está livre de pedras soltas e outros materiais? <sup>1</sup>						

<sup>1</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.10: *Checklist* para Estacionamento e Veículos pesados

10. Estacionamento e Veículos pesados	Escala					
	Mín.				Máx.	
10.1 Estacionamento: Assuntos gerais	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
10.1.1 A permissão, ou restrição de estacionamento é satisfatória em relação à segurança da via?						
10.1.2 O volume de veículos utilizando o estacionamento é compatível com a segurança da via?						
10.1.3 A distância de visibilidade nos cruzamentos e ao longo da via está afetada por veículos estacionados?						
10.1.4 Existe estacionamento suficiente para veículos de entrega, de modo que não ocorram problemas de segurança devido a estacionamento irregular na via (fila dupla)?						
10.1.5 As manobras de estacionamento ao longo da via são possíveis sem causar problemas de segurança? (por exemplo, estacionamento angular).						
10.2 Provisão para veículos pesados	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
10.2.N1 Elementos de Projeto						
10.2.1 Existem pontos de ultrapassagem para veículos pesados quando o volume de tráfego é alto?						
10.2.2 A via atende às necessidades dos veículos de grande dimensão? <sup>1</sup>						
10.2.3 A geometria nas interseções e rotatórias permitem espaço suficiente para manobra de veículos de grande porte ao longo do percurso? <sup>1</sup>						
10.2.4 Os <i>tapers</i> de aceleração e desaceleração para o acesso a áreas de descanso e a áreas de estacionamento de caminhões são adequados para o tamanho dos veículos? (Considere a aceleração, desaceleração, larguras dos acostamentos, etc.)						



10.2.N2 Qualidade do pavimento / acostamentos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
10.2.5 Existe a implantação de superlargura para as curvas a fim de proporcionar o tráfego de veículos longos dentro de sua faixa de rolamento?						
10.2.6 A largura do pavimento em tangente é adequada para os veículos pesados?						
10.2.7 Em geral, a qualidade do pavimento é suficiente para uma viagem segura de veículos pesados e de grandes dimensões?						
10.2.8 Nas rotas de caminhões, os dispositivos refletivos são apropriados para a altura dos olhos dos motoristas?						

<sup>1</sup> Inspeção *in loco*.

Quadro D.11: *Checklist* para Drenagem Superficial

11. Drenagem Superficial	Escala					
Item	Mín.				Máx.	
11.1 Alagamento	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
11.1.1 Todas as seções da via estão livres de pontos de alagamento ou enxurrada atravessando a pista durante a chuva? <sup>1</sup>						
11.1.2 Se houver pontos de alagamentos ou enxurrada atravessando a pista durante a chuva, há sinalização adequada?						
11.1.3 Se houver canais construídos para evitar inundações, estes estão corretamente sinalizados e protegidos?						
11.2 Segurança de dispositivos	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
11.2.1 Todos os bueiros ou estruturas de drenagem estão localizados fora da área livre lateral da via? <sup>1</sup>						
11.2.2 Se não, estão protegidos contra a possibilidade de colisão de veículos?						

<sup>1</sup> Inspeção *in loco*

Quadro D.12: *Checklist* para Diversos

12. Diversos	Escala					
Item	Mín.				Máx.	
12.1 Paisagismo	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
12.1.1 Paisagismo está de acordo com as normas e diretrizes vigentes? (por exemplo, distância de visibilidade).						
12.1.2 As distâncias de visibilidade existentes serão mantidas após o crescimento futuro das plantas?						
12.1.3 Há problemas de visibilidade no paisagismo em rotatórias?						
12.2 Obras Temporárias	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
12.2.1 A via está livre de equipamentos de construção ou manutenção que já não são mais necessários?						
12.2.2 A via está livre de sinais de trânsito ou dispositivos de controle de tráfego temporários que já não são mais necessários?						
12.2.3 A via está corretamente protegida e sinalizada advertindo sobre as obras na pista com antecedência e placas de velocidade adequada e suficiente? <sup>2</sup> Há elementos de luz piscante?						
12.2.4 A noite a sinalização de obra na pista está adequada e visível (retrorefletância adequada?) <sup>2</sup>						
12.3 Brilho do Farol (Ofuscamento)	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
12.3.1 Os problemas de ofuscamento causados pelos faróis foram tratados (com cercas ou telas antiofuscantes)?						
12.4 Atividades na faixa de domínio	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
12.4.1 A faixa de domínio da rodovia está livre de quaisquer elementos que possam distrair os motoristas?						
12.4.2 Todas as placas de propaganda estão instaladas fora da faixa de domínio e em local de modo a não se constituírem em um perigo?						
12.5 Veículos Errantes	1	2	3	4	5	Comentários/Observações

12.5.1 No mobiliário lateral da rodovia há indícios de danos causados por choques ou colisões causadas por veículos errantes que poderiam indicar um possível problema, risco ou conflito no local?						
12.5.2 A área lateral à pista de rolamentos encontra-se sem obstruções e pode ser utilizada por veículos errantes para recobrar o controle ou chegar a uma parada segura? <sup>2</sup>						
12.5.3 Há falta de visibilidade junto as rotatórias e aproximações? (analisar também terreno entorno as rotatórias)						
12.6 Outros problemas de Segurança	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
12.6.1 A estabilidade do aterro é segura? <sup>3</sup>						
12.6.2 A vegetação na via traz riscos à segurança? (Ex. galhos suspensos)						
12.6.3 A vegetação no canteiro central e lateral obstrui a visibilidade dos motoristas e pedestres? (Ex. grama alta?)						
12.6.4 Alguma área de vento forte é tratada com segurança? <sup>3</sup>						
12.6.N1 Se prisma de concreto ou segregador de pistas (para dividir fluxos) é usado:	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
12.6.5 Está adequadamente delineado?						
12.6.6 Está sinalizado o início? (marcadores de perigo, etc.)						
12.6.7 Está sinalizado em cruzamentos?						
12.6.8 Traz riscos ao pedestre?						
12.6.9 A velocidade da via é adequada para esse dispositivo? <sup>2,3</sup>						
12.7 Animais	1	2	3	4	5	Comentários/Observações
12.7.1 A via está livre de animais?						
12.7.2 Se não, está protegida por cercas apropriadas?						
12.8 Áreas de descanso	1	2	3	4	5	Comentários/Observações

12.8.1 A localização das áreas de descanso, postos e áreas de estacionamento de caminhões ao longo da via, seus acessos de entrada e saída, são apropriadas?						
12.8.2 Existe uma distância de visibilidade e acessibilidade adequada para a saída e pontos de entrada das áreas de descanso e áreas de estacionamento de caminhões em todos os momentos do dia?						
<b>12.9 Pedágio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Comentários/Observações</b>
12.9.1 A localização do pedágio está visível para os motoristas? <sup>2</sup>						
12.9.2 Há sinalização advertindo sobre a aproximação da praça de pedágio? <sup>2</sup>						
12.9.3 Nos locais em que as praças de pedágio não podem ser vistos de uma distância adequada, sinais de advertência e/ou luzes intermitentes estão instalados? <sup>2</sup>						
12.9.4 Se houver cancelas, estas estão funcionando corretamente? <sup>2</sup>						
12.9.5 As cabines de cobrança estão protegidas corretamente contra colisão? Os dispositivos de proteção oferecem segurança as cabines e aos motoristas?						
12.9.6 A sinalização das cabines de cobrança automáticos e manuais são claros? <sup>2</sup>						
12.9.7 Há LERV's (Linhas de estímulo a redução de velocidade) próximo as cabines e cobranças automáticas? <sup>2</sup>						

<sup>2</sup> Proposto pelo Autor; <sup>3</sup> Inspeção *in loco*

## APÊNDICE E: TESTES DE SIGNIFICÂNCIA PARA OS DEMAIS ITENS DE VERIFICAÇÃO

As comparações das médias foram feitas utilizando teste *t* de *Student* com valor de significância de  $p < 0,05$ . A análise estatística dos resultados foi realizada no *software Statistica* (STATSOFT INC, 2005), efetuando-se uma análise do nível de significância para cada uma das respostas (Figura E.1). Os parâmetros com nível de significância do teste *t* de *Student* superior a 5% foram considerados não significativos – evidenciando a potencialidade do uso de óculos de realidade virtual (ORV) em inspeções de segurança viária.

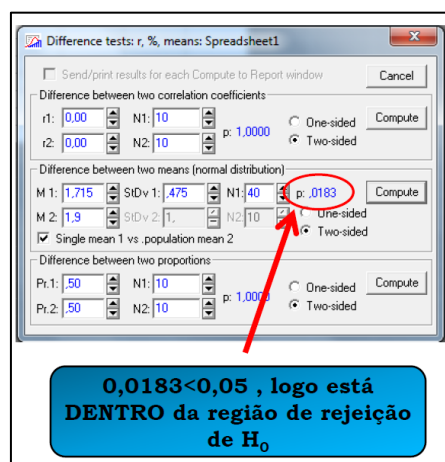


Figura E.1 - Análise do nível de significância para cada uma das respostas

Fonte: Barrozo (2016)

A Tabela E.1 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do Grupo 1 – Alinhamento rodoviário e Seção transversal, com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $p$ , onde  $p > \alpha$  – Não rejeita  $H_0$  e  $p \leq \alpha$  – Rejeita  $H_0$ .

Tabela E.1: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 1 –  
Alinhamento rodoviário e Seção transversal

Grupo 1	IMVASV Média	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	DP	Erro Pad.	<i>p</i>	Região de Rejeição
1.1.1	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,422	Não rejeita H0
	3,667	0,798	6,535	3	3	2	3	5	1,333	1,155	0,667		
1.1.3	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577	0,643	Não rejeita H0
	2,333	0,899	3,768	2	2	2	2	3	0,333	0,577	0,333		
1.2.1	1,667	0,232	3,101	2	2	2	1	2	0,333	0,577	0,333	0,422	Não rejeita H0
	2,333	-0,535	5,202	3	3	2	1	3	1,333	1,155	0,667		
1.2.2	3,333	-1,838	8,504	4	Mult.	1	1	5	4,333	2,082	1,202	0,643	Não rejeita H0
	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577		
1.2.3	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000	0,116	Não rejeita H0
	3,667	0,798	6,535	3	3	2	3	5	1,333	1,155	0,667		
1.2.4	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,067	Não rejeita H0
	3,000	0,516	5,484	3	Mult.	1	2	4	1,000	1,000	0,577		
1.3.1	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
1.5.1	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
1.5.2	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,643	Não rejeita H0
	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577		
1.5.3	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
1.5.4	4,333	1,465	7,202	5	5	2	3	5	1,333	1,155	0,667	1,000	Não rejeita H0
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
1.5.6	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,116	Não rejeita H0
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000		
1.5.7	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
1.6.2	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,148	Não rejeita H0
	3,333	0,465	6,202	4	4	2	2	4	1,333	1,155	0,667		
1.6.3	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,000	Não rejeita H0
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
1.8.1	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,0161*	Rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
1.8.3	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000	0,000*	Rejeita H0
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000		
1.9.1	2,000	-2,303	6,303	1	1	2	1	4	3,000	1,732	1,000	0,374	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
1.10.1	2,000	-2,303	6,303	1	1	2	1	4	3,000	1,732	1,000	0,374	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
Total Tradicional	3,456	3,036	3,876	4	5	21	1	5	2,503	1,582	0,210	0,547	Não rejeita H0
Total Híbrido	3,281	2,877	3,684	4	5	16	1	5	2,313	1,521	0,201		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

Nota-se, na Tabela E.1, que no geral, não há diferenças significativas entre as avaliações realizadas em campo e as avaliações realizadas de maneira híbrida (campo e com o uso dos óculos de realidade virtual), exceto para os itens 1.8.1 (Há superelevação apropriada prevista para as curvas?) e 1.8.3 (As inclinações da Seção transversal - pista e acostamento - permitem uma drenagem adequada?). Isso equivale a dizer que esses itens onde há diferença significativa entre os métodos, recomenda-se realizar auditorias somente *in loco*.

O item de verificação 3 - Intersecções -, não pôde ser verificado neste trabalho, pois não foi avaliado pelos auditores.

A Tabela E.2 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 4 - Sinalização Vertical e Iluminação -, com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $\rho$ , onde  $\rho > \alpha$  – Não rejeita  $H_0$  e  $\rho \leq \alpha$  – Rejeita  $H_0$ .

Tabela E.2: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 4 – Sinalização Vertical e Iluminação

Grupo 4	IMVASV Média	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	DP	Erro Pad.	<i>p</i>	Região de Rejeição
4.1.1	3,333	-0,461	7,128	3	Mult.	1	2	5	2,333	1,528	0,882	0,101	Não rejeita H0
	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333		
4.1.2	1,667	-1,202	4,535	1	1	2	1	3	1,333	1,155	0,667	0,016*	Rejeita Ho
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
4.1.3	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,057	Não rejeita H0
	1,667	-1,202	4,535	1	1	2	1	3	1,333	1,155	0,667		
4.1.4	3,667	-0,128	7,461	4	Mult.	1	2	5	2,333	1,528	0,882	0,230	Não rejeita H0
	2,333	0,899	3,768	2	2	2	2	3	0,333	0,577	0,333		
4.2.1	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	1,000	Não rejeita H0
	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333		
4.2.2	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	1,000	Não rejeita H0
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
4.2.3	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita H0
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000		
4.2.6	3,333	0,465	6,202	4	4	2	2	4	1,333	1,155	0,667	0,007*	Rejeita Ho
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
4.2.7	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita H0
	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577		
4.2.8	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,047*	Rejeita Ho
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
4.2.9	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,643	Não rejeita H0
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
4.2.10	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,047*	Rejeita Ho
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
4.2.11	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
4.2.12	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333	0,251	Não rejeita H0
	2,333	-0,535	5,202	3	3	2	1	3	1,333	1,155	0,667		
4.2.13	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000	0,795	Não rejeita H0
	3,333	-1,838	8,504	4	Mult.	1	1	5	4,333	2,082	1,202		
4.2.14	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,008*	Rejeita Ho
	2,000			2	2	3	2	2	0,000	0,000	0,000		
Total Tradicional	3,250	2,888	3,612	3	4	16	1	5	1,553	1,246	0,180	0,766	Não rejeita H0
Total Híbrido	3,333	2,904	3,762	4	4	14	1	5	2,184	1,478	0,213		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

A Tabela E.3 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 6 - Dispositivos de Contenção e zonas livres de obstáculos -, com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $\rho$ , onde  $\rho > \alpha$  – Não rejeita  $H_0$  e  $\rho \leq \alpha$  – Rejeita  $H_0$ .



Tabela E.3: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 6 –  
Dispositivos de Contenção e zonas livres de obstáculos

Grupo 6	IMVASV Média	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Pad.	Erro Pad.	<i>p</i>	Região de Rejeição
6.1.1	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000	0,000*	Rejeita H <sub>0</sub>
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
6.1.7	3,000	-1,968	7,968	3	Mult.	1	1	5	4,000	2,000	1,155	1,000	Não rejeita H <sub>0</sub>
	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000		
6.2.1	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,230	Não rejeita H <sub>0</sub>
	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2	3	0,333	0,577	0,333		
6.2.2	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,643	Não rejeita H <sub>0</sub>
	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333		
6.2.3	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,116	Não rejeita H <sub>0</sub>
	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000		
6.2.4	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	1,000	Não rejeita H <sub>0</sub>
	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333		
6.2.5	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577	1,000	Não rejeita H <sub>0</sub>
	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577		
6.2.7	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577	0,374	Não rejeita H <sub>0</sub>
	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333		
6.2.8	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H <sub>0</sub>
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
6.2.9	2,667	-2,504	7,838	2	Mult.	1	1	5	4,333	2,082	1,202	0,184	Não rejeita H <sub>0</sub>
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
6.3.1	2,333	0,899	3,768	2	2	2	2	3	0,333	0,577	0,333	0,643	Não rejeita H <sub>0</sub>
	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577		
6.3.2	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577	0,643	Não rejeita H <sub>0</sub>
	2,333	-1,461	6,128	2	Mult.	1	1	4	2,333	1,528	0,882		
6.3.3	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H <sub>0</sub>
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
6.3.4	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita H <sub>0</sub>
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
Total Tradicional	2,571	2,158	2,985	3	1	13	1	5	1,763	1,328	0,205	0,360	Não rejeita H <sub>0</sub>
Total Híbrido	2,310	1,911	2,708	2	1	17	1	5	1,634	1,278	0,197		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

A Tabela E.4 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 7 - Pedestres e Ciclistas - com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $\rho$ , onde  $\rho > \alpha$  – Não rejeita H<sub>0</sub> e  $\rho \leq \alpha$  – Rejeita H<sub>0</sub>.

Tabela E.4: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 7 – Pedestres e Ciclistas

Grupo 7	IMVASV Média	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	DP	Erro Pad.	<i>p</i>	Região de Rejeição
7.1.1	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.1.3	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.1.4	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.2.1	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.2.2	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.2.5	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.4.1	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.4.2	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577	0,158	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.4.3	1,667	-1,202	4,535	1	1	2	1	3	1,333	1,155	0,667	0,374	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
7.4.4	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	1,000	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
Total Tradicional	1,200	0,994	1,406	1	1	26	1	3	0,303	0,551	0,101	0,052	Não rejeita H0
Total Híbrido	1,000			1	1	30	1	1	0,000	0,000	0,000		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

A Tabela E.5 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 8 – Pontes e Bueiros -, com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $\rho$ , onde  $\rho > \alpha$  – Não rejeita H<sub>0</sub> e  $\rho \leq \alpha$  – Rejeita H<sub>0</sub>.

Tabela E.5: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 8 – Pontes e Bueiros

Grupo 8	IMVASV Média	Conf. -95%	Conf. +95%	Mediana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Pad.	Erro Pad.	<i>p</i>	Região de rejeição
8.1.1	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,116	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
8.1.2	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
8.1.3	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	1,000	Não rejeita H0
	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333		
8.1.4	2,667	-0,202	5,535	2	2	2	2	4	1,333	1,155	0,667	0,067	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
8.2.1	4,000	1,516	6,484	4	Mult.	1	3	5	1,000	1,000	0,577	0,158	Não rejeita H0
	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000		
8.2.2	3,000	-1,303	7,303	2	2	2	2	5	3,000	1,732	1,000	0,275	Não rejeita H0
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
8.2.3	3,667	0,798	6,535	3	3	2	3	5	1,333	1,155	0,667	0,116	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
8.3.3	4,333	1,465	7,202	5	5	2	3	5	1,333	1,155	0,667	0,678	Não rejeita H0
	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
Total Tradicional	3,792	3,326	4,257	4	5	8	2	5	1,216	1,103	0,225	0,644	Não rejeita H0
Total Híbrido	3,958	3,381	4,535	5	5	12	1	5	1,868	1,367	0,279		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

A Tabela E.6 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 10 - Estacionamento -, com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $\rho$ , onde  $\rho > \alpha$  – Não rejeita  $H_0$  e  $\rho \leq \alpha$  – Rejeita  $H_0$ .

Tabela E.6: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 10 –

## Estacionamento

Grupo 10	<i>IMVASV</i> (Méd)	Conf. -95%	Conf. +95%	Medi- ana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Pad.	Erro Pad.	<i>p</i>	Região de rejeição
10.1.1	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2	3	0,333	0,577	0,333	0,047*	Rejeita H0
	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333		
10.1.2	3,667	-0,128	7,461	4	Mult.	1	2	5	2,333	1,528	0,882	0,349	Não rejeita H0
	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2	3	0,333	0,577	0,333		
10.1.3	3,000	-1,968	7,968	3	Mult.	1	1	5	4,000	2,000	1,155	1,000	Não rejeita H0
	3,000			3	3	3	3	3	0,000	0,000	0,000		
10.1.4	3,667	-2,070	9,404	5	5	2	1	5	5,333	2,309	1,333	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
10.1.5	4,000	-0,303	8,303	5	5	2	2	5	3,000	1,732	1,000	0,374	Não rejeita H0
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
10.2.2	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000	0,116	Não rejeita H0
	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3	4	0,333	0,577	0,333		
10.2.5	2,333	-1,461	6,128	2	Mult.	1	1	4	2,333	1,528	0,882	0,742	Não rejeita H0
	2,667	1,232	4,101	3	3	2	2	3	0,333	0,577	0,333		
10.2.6	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,116	Não rejeita H0
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000		
10.2.7	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita H0
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000		
10.2.8	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,518	Não rejeita H0
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
Total Tradicional	3,700	3,189	4,211	4	5	11	1	5	1,872	1,368	0,250	0,614	Não rejeita H0
Total Híbrido	3,533	3,098	3,969	4	Mult.	9	1	5	1,361	1,167	0,213		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo

A Tabela E.7 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 11 – Drenagem Superficial -, com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $p$ , onde  $p > \alpha$  – Não rejeita  $H_0$  e  $p \leq \alpha$  – Rejeita  $H_0$ .

Tabela E.7: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 11 – Drenagem Superficial

Grupo 11	<i>IMVASV</i> (Méd)	Conf. -95%	Conf. +95%	Medi- ana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Pad.	<i>p</i>	Região de rejeição
11.2.1	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,374	Não rejeita H0
	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577		
11.2.2	2,000	-2,303	6,303	1	1	2	1	4	3,000	1,732	0,374	Não rejeita H0
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000		
Total Tradicional	1,500	0,215	2,785	1	1	5	1	4	1,500	1,225	0,541	Não rejeita H0
Total Híbrido	1,167	0,738	1,595	1	1	5	1	2	0,167	0,408		

(\*) Significativo

A Tabela E.8 mostra o cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 12 - Diversos -, com o cálculo das médias, intervalo de confiança, mediana, moda, frequência da moda, valores mínimo e máximo, desvio padrão e erro padrão. Também mostra os valores de  $\rho$ , onde  $\rho > \alpha$  – Não rejeita  $H_0$  e  $\rho \leq \alpha$  – Rejeita  $H_0$ .

Tabela E.8: Cálculo do *IMVASV* e teste de significância para os itens do grupo 12 – Diversos

Grupo 12	<i>IMVASV</i> (Méd)	Conf. -95%	Conf. +95%	Medi- ana	Moda	Freq. da Moda	Mín.	Máx.	Var.	Desv. Pad.	Erro Pad.	$p$	Região de rejeição
12.1.1	3,667	-0,128	7,461	4	Mult.	1	2	5	2,333	1,528	0,882	0,519	Não rejeita $H_0$
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
12.1.2	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,035*	Rejeita $H_0$
	2,333	-0,535	5,202	3	3	2	1	3	1,333	1,155	0,667		
12.2.1	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita $H_0$
	5,000			5	5	3	5	5	0,000	0,000	0,000		
12.2.2	4,667	3,232	6,101	5	5	2	4	5	0,333	0,577	0,333	0,345	Não rejeita $H_0$
	3,333	-1,838	8,504	4	Mult.	1	1	5	4,333	2,082	1,202		
12.2.3	3,667	2,232	5,101	4	4	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita $H_0$
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000		
12.2.4	2,667	-1,128	6,461	3	Mult.	1	1	4	2,333	1,528	0,882	0,152	Não rejeita $H_0$
	4,333	2,899	5,768	4	4	2	4	5	0,333	0,577	0,333		
12.4.1	3,000	-1,303	7,303	4	4	2	1	4	3,000	1,732	1,000	0,435	Não rejeita $H_0$
	2,000	-0,484	4,484	2	Mult.	1	1	3	1,000	1,000	0,577		
12.5.1	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000	0,067	Não rejeita $H_0$
	2,333	-0,535	5,202	3	3	2	1	3	1,333	1,155	0,667		
12.5.2	3,000	0,516	5,484	3	Mult.	1	2	4	1,000	1,000	0,577	0,026*	Rejeita $H_0$
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
12.6.1	3,333	1,899	4,768	3	3	2	3	4	0,333	0,577	0,333	0,742	Não rejeita $H_0$
	3,667	-0,128	7,461	4	Mult.	1	2	5	2,333	1,528	0,882		
12.6.2	1,667	-1,202	4,535	1	1	2	1	3	1,333	1,155	0,667	1,000	Não rejeita $H_0$
	1,667	0,232	3,101	2	2	2	1	2	0,333	0,577	0,333		
12.6.3	2,333	-1,461	6,128	2	Mult.	1	1	4	2,333	1,528	0,882	0,519	Não rejeita $H_0$
	1,667	0,232	3,101	2	2	2	1	2	0,333	0,577	0,333		
12.7.1	1,667	0,232	3,101	2	2	2	1	2	0,333	0,577	0,333	0,002*	Rejeita $H_0$
	4,000			4	4	3	4	4	0,000	0,000	0,000		
12.7.2	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000	0,374	Não rejeita $H_0$
	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333		
12.8.1	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333	1,000	Não rejeita $H_0$
	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333		
12.8.2	1,333	-0,101	2,768	1	1	2	1	2	0,333	0,577	0,333	0,374	Não rejeita $H_0$
	1,000			1	1	3	1	1	0,000	0,000	0,000		
Total Tradicional	2,917	2,490	3,344	3	4	15	1	5	2,163	1,471	0,212	0,496	Não rejeita $H_0$
Total Híbrido	2,708	2,268	3,148	3	1	16	1	5	2,296	1,515	0,219		

(\*) Significativo; Mult. - múltiplo