



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**RODRIGO MARINHO MOREIRA**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS ADVERSAS NO  
PROCESSO DE CONDUÇÃO VEICULAR EM CORREDORES ARTERIAIS DE  
FORTALEZA**

**FORTALEZA**

**2018**

RODRIGO MARINHO MOREIRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS ADVERSAS NO  
PROCESSO DE CONDUÇÃO VEICULAR EM CORREDORES ARTERIAIS DE  
FORTALEZA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Flávio José Craveiro Cunto, PhD.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M839a Moreira, Rodrigo Marinho.  
Avaliação do impacto de condições ambientais adversas no processo de condução veicular em corredores arteriais de Fortaleza / Rodrigo Marinho Moreira. – 2018.  
78 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto.
1. Comportamento do Condutor. 2. Condições Ambientais Adversas. 3. Fiscalização Eletrônica. 4. Velocidade de Fluxo Livre. I. Título.

CDD 620

---

RODRIGO MARINHO MOREIRA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS ADVERSAS NO  
PROCESSO DE CONDUÇÃO VEICULAR EM CORREDORES ARTERIAIS DE  
FORTALEZA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 05/12/2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Flávio José Craveiro Cunto, PhD. (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Francisco Moraes de Oliveira Neto, PhD.  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eduardo Araújo de Aquino, Me.  
MOBIT – Mobilidade, Iluminação e Tecnologia LTDA

A minha família, por todo o cuidado durante  
esses anos e pela formação da pessoa que sou  
hoje.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, a Deus pelas bênçãos, proteção e auxílio espiritual que foram essenciais a minha formação.

Aos meus pais, Fernando e Nadja, que sempre me apoiaram sem medir esforços não apenas durante o processo de formação, mas desde o meu nascimento.

Ao Tiago, meu irmão e parceiro, por todo o apoio e incentivo.

A minha família materna por todo suporte e cuidado, e por serem meu porto seguro para todas as minhas necessidades.

A minha namorada, Amanda, por toda paciência, carinho e amor que sempre teve por mim, principalmente durante a etapa final do trabalho.

Aos meus irmãos de outras mães, Hernandes e David, pelos momentos vividos durante esses anos e pela força que sempre me deram.

Aos amigos que a Engenharia me deu a dádiva de conhecer, em especial, Matheus, Manoel, Brenda que sempre me ajudaram e, com certeza, têm um papel muito importante na minha jornada até aqui.

Ao grupo de pesquisa GTTEMA, em especial, Marcos Timbó e Sued, que foram parceiros de pesquisa e muito importantes para formação da minha bagagem acadêmica.

A todos os membros da empresa Aval Engenharia, por todo suporte e confiança dadas a mim.

Ao Professor Flávio Cunto, pelas experiências compartilhadas durante grande parte da minha graduação através das orientações e pelos diversos ensinamentos tanto relacionados à faculdade quanto à vida.

Ao Professor Francisco Moraes, e ao Senhor Eduardo Aquino por estarem fazendo parte da banca examinadora.

## RESUMO

Como problema desta pesquisa, identifica-se que os estudos sobre os impactos das condições ambientais adversas nas características de condução veicular em áreas urbanas brasileiras ainda não estão satisfatoriamente caracterizados. Há fortes indícios de uma possível correlação entre as condições ambientais e o comportamento dos condutores, assim, faz-se necessário um estudo direcionado à hipótese de que se, ao incorporar os efeitos da condição climática adversa, o condutor tende a mitigar os seus riscos, aderindo, portanto, a velocidades menores em dias chuvosos. Desta forma, a observação e avaliação desses efeitos sobre o condutor tornam-se uma questão importante na modelagem da fluidez e do desempenho da segurança viária. As análises têm se concentrado sobre as rodovias, o que limita o entendimento dos efeitos das condições meteorológicas sobre o condutor para as áreas urbanas, já que se tratam de componentes do sistema viário de diferentes características. Assim, visando à coleta da VFL pareada com os dados meteorológicos e à análise dos dados obtidos, definem-se as etapas metodológicas para este trabalho de conclusão de curso sendo as seguintes: i) Seleção dos trechos arteriais ininterruptos; ii) Coleta dos dados de fiscalização eletrônica; iii) Coleta dos dados meteorológicos; iv) Consolidação dos bancos de dados; v) Estimação dos perfis de velocidade; vi) Análise comparativa por tipo de veículo e condições meteorológicas. Foram observados, com resultados estatisticamente significativos, que a intensidade pluviométrica do local circundante afetava o processo de condução veicular a desenvolver velocidades até 3,4 km/h menores (6% de redução). Além disso, verificou-se que a interação entre tipo de veículo, o perfil do dia e o turno do dia estudados também apresentavam significância estatística de influência nas velocidades adotadas pelos condutores.

**Palavras-chave:** Comportamento do Condutor. Condições Ambientais Adversas. Fiscalização Eletrônica. Velocidade de Fluxo Livre.

## ABSTRACT

As a problem of this research, it is identified that the studies on the impacts of adverse environmental conditions on vehicular driving characteristics in Brazilian urban areas are still not satisfactorily characterized. There is strong evidence of a possible correlation between environmental conditions and driver behavior, so a study is needed related to: if, by incorporating the effects of the adverse weather condition, the driver tends to mitigate its risks, thus adhering to lower speeds on rainy days. Adopting this logic of research, the observation and evaluation of these effects on the driver become an important issue in the modeling of fluidity and road safety performance. The analyzes have concentrated on the highways, which limits the understanding of the effects of the weather conditions on the driver to the urban areas, since they are components of the road system of different characteristics. Thus, in order to collect free-flow-speed paired with the meteorological data and the analysis of the data obtained, the methodological steps presented for this work to be completed are defined as follows: i) Selection of uninterrupted arterial stretches; ii) Collection of electronic surveillance data; iii) collection of meteorological data; iv) Consolidation of databases; v) Estimation of free-flow-speed; vi) Comparative analysis by type of vehicle and weather conditions. It was observed, with statistically significant results, that the pluviometric intensity of the surrounding location affected the vehicular conduction process to develop speeds up to 3.4 km/h lower (6% reduction). In addition, it was verified that the interaction between vehicle type, day profile and day shift studied also had statistical significance of influence on the speeds adopted by drivers.

**Keywords:** Driver Behavior. Adverse Climate Conditions. Traffic Control Devices. Free-Flow-Speed



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento observado em campo da relação velocidade-densidade .....	21
Figura 2 - Diagrama representando a relação fluxo-densidade .....	22
Figura 3 - Diagrama representando a relação fluxo-velocidade.....	23
Figura 4 - Distribuição de frequência acumulada de velocidades com indicação da velocidade operacional ( $V_{85}$ ) .....	27
Figura 5 - Histogramas da Velocidade e do Headway para variadas intensidades de chuva....	31
Figura 6 - Representação da distribuição das velocidades para variadas pluviosidades em formato boxplot .....	32
Figura 7 - Redução da VFL baseada no fluxo e gap para diferentes categorias meteorológicas, sendo 100% equivalente a 42 km/h referente à situação seca .....	33
Figura 8 - Fluxograma das etapas metodológicas .....	37
Figura 9 - Mapa da localização dos equipamentos de fiscalização utilizados.....	45
Figura 10 - Localização específica dos pares de radares fixos avaliados: (a) Av. Dep. Paulino Rocha; (b) e (c) Av. Alberto Craveiro; (d) Av. Coronel Carvalho; (e) e (f) Av. José Bastos; (g) Av. Almirante Henrique Sabóia; (h) e (i) Av. Senador Carlos Jeiressati .....	47
Figura 11 - Gráfico de boxplot das velocidades em diferentes intensidades de chuva .....	53
Figura 12 - Distribuição percentual acumulada para as diferentes classes de intensidade.....	54
Figura 13 - Teste de Normalidade da Distribuição para Intensidade 0.....	55
Figura 14 - Gráfico de boxplot dos $\Delta$ para diferentes intensidades de chuva .....	58
Figura 15 - Gráfico de boxplot da relação intensidade de chuva e tipo de veículo.....	60
Figura 16 - Gráfico resultado da interação intensidade e tipo de veículo .....	61
Figura 17 - Resumo dos resultados do teste ANOVA two-factor entre intensidade e tipo de veículo .....	62
Figura 18 - Gráfico de boxplot da relação intensidade de chuva e perfil do dia para veículos de passeio .....	63
Figura 19 - Gráfico resultado da interação intensidade e perfil do dia para veículos de passeio .....	64
Figura 20 - Resumo dos resultados do teste ANOVA two-factor entre intensidade e perfil do dia para veículos de passeio.....	65
Figura 21 - Gráfico de boxplot da relação intensidade de chuva e perfil do dia para veículos pesados .....	66
Figura 22 - Gráfico resultado da interação intensidade e perfil do dia para veículos pesados.	66

Figura 23 - Resumo dos resultados do teste ANOVA two-factor entre intensidade e perfil do dia para veículos pesados .....	67
Figura 24 - Gráfico de boxplot da relação intensidade de chuva e turno do dia para veículos de passeio .....	69
Figura 25 - Gráfico resultado da interação intensidade e turno do dia para veículos de passeio .....	69
Figura 26 - Resumo dos resultados do teste ANOVA two-factor entre intensidade e turno do dia para veículos de passeio.....	70
Figura 27 - Gráfico de boxplot da relação intensidade de chuva e turno do dia para veículos pesados .....	72
Figura 28 - Gráfico resultado da interação intensidade e turno do dia para veículos pesados.	72
Figura 29 - Resumo dos resultados do teste ANOVA two-factor entre intensidade e turno do dia para veículos pesados .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - VFL para os diferentes tipos de veículos estudados .....	35
Tabela 2 - Reduções encontradas na capacidade, velocidade operacional e VFL.....	36
Tabela 3 - <i>Layout</i> do arquivo de dados gerados pelos aparelhos de fiscalização .....	39
Tabela 4 - <i>Layout</i> do arquivo de dados exportados a partir o website do Cemaden .....	40
Tabela 5 - Resumo das possíveis variáveis explicativas da VFL .....	43
Tabela 6 - Distâncias medidas entre cada par de radares fixos avaliados .....	50
Tabela 7 - Matriz de Correlação entre as variáveis .....	51
Tabela 8 - Resultados da Regressão Linear múltipla entre as variáveis .....	52
Tabela 9 - Resumo da análise exploratória das amostras classes de intensidade .....	52
Tabela 10 - Teste de Kruskal-Wallis: Velocidade x Intensidade.....	56
Tabela 11 - Teste-t entre os grupos de intensidade .....	56
Tabela 12 - Resumo da análise exploratória das amostras dos $\Delta$ .....	57
Tabela 13 - Teste-t entre os $\Delta$ para os diferentes grupos de intensidade .....	58
Tabela 14 - Resumo da análise exploratória das amostras entre tipos de veículos .....	59
Tabela 15 - Resumo dos testes de normalidade das amostras entre tipos de veículos .....	61
Tabela 16 - Resumo da análise exploratória das amostras dos perfis do dia para veículos leves .....	63
Tabela 17 - Resumo da análise exploratória das amostras dos perfis do dia para veículos pesados .....	65
Tabela 18 - Resumo da análise exploratória das amostras dos turnos do dia para veículos de passeio .....	68
Tabela 19 - Resumo da análise exploratória das amostras dos turnos do dia para veículos pesados .....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	Problema e questões de pesquisa .....	15
1.2	Objetivos .....	15
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i> .....	15
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i> .....	16
1.3	Estrutura do Trabalho .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
2.1	Análise dos fatores que influenciam o comportamento de condução .....	18
2.2	Parâmetros macroscópicos de tráfego .....	19
2.2.1	<i>Relação Velocidade e Densidade</i> .....	20
2.2.2	<i>Relação Fluxo e Densidade</i> .....	21
2.2.3	<i>Relação Fluxo e Velocidade</i> .....	22
2.3	Fator velocidade em acidentes viários .....	24
2.4	Velocidade de Fluxo Livre como parâmetro de avaliação comportamental do condutor.....	24
2.4.1	<i>Velocidade média no espaço</i> .....	26
2.4.2	<i>Velocidade média no tempo</i> .....	26
2.4.3	<i>Velocidade operacional</i> .....	27
2.5	Revisão dos métodos de coleta de velocidade.....	28
2.6	Influência de condições adversas na VFL .....	29
2.7	Potenciais fatores de interferência no processo de condução veicular .....	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
3.1	Seleção dos trechos arteriais ininterruptos .....	38
3.2	Coleta dos dados de fiscalização eletrônica.....	38
3.3	Coleta dos dados meteorológicos .....	39
3.4	Consolidação dos bancos de dados .....	40
3.4.1	<i>Dados Meteorológicos</i> .....	40
3.4.2	<i>Dados de Fiscalização Eletrônica</i> .....	41
3.5	Estimação dos perfis de velocidade.....	41
3.6	Análise comparativa por tipo de veículo e condições meteorológicas .....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
4.1	Seleção dos trechos arteriais ininterruptos .....	45
4.2	Consolidação dos bancos de dados .....	49

<b>4.3</b>	<b>Estimação dos perfis de velocidade.....</b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Análise exploratória comparativa dos diversos cenários.....</b>	<b>50</b>
<i>4.4.1</i>	<i>Análises de correlação e regressão linear múltipla entre os cenários .....</i>	<i>50</i>
<i>4.4.2</i>	<i>Análise exploratória Intensidade x Velocidade .....</i>	<i>52</i>
<i>4.4.3</i>	<i>Análise exploratória Intensidade x <math>\Delta 1</math> e <math>\Delta 2</math> .....</i>	<i>56</i>
<i>4.4.4</i>	<i>Análise exploratória Intensidade x Veículo .....</i>	<i>59</i>
<i>4.4.5</i>	<i>Análise exploratória Intensidade x Perfil do Dia .....</i>	<i>62</i>
<i>4.4.6</i>	<i>Análise exploratória Intensidade x Turno do Dia .....</i>	<i>68</i>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>76</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Entender os efeitos das condições meteorológicas sobre o comportamento do condutor e o que isso afeta as características de tráfego das vias urbanas são pontos essenciais ao trabalho dos responsáveis pelo planejamento do ambiente viário. O modo de direção do condutor e a situação atmosférica circundante têm fortes indícios de correlação, principalmente, porque presume-se que em situações de tempo adverso, por exemplo, dia chuvoso, o condutor tende a ajustar seu modo de dirigir para adaptar-se ao meio, o que afeta diretamente a capacidade da via, a velocidade desenvolvida e as características do fluxo veicular, com destaque para o volume e a densidade (AKIN et al., 2011; WANG et al., 2016; RAKHA et al., 2008).

Para que se possa, portanto, quantificar esse grau de adaptabilidade do condutor, a velocidade veicular desenvolvida evidencia-se como um bom parâmetro explicativo. Pressupõe-se que, em situações de dias límpidos, os motoristas desenvolvem velocidades maiores do que em períodos de pluviosidade aparente. É importante destacar que tais variações nessa medida associada ao Desempenho da Segurança Viária (DSV) têm fortes influências nos riscos de acidentes, como corroboram Kloeden et al. (1997), que, acima de 60 km/h, os riscos de sinistros no trânsito aumentam exponencialmente, com estimativas de duplicação da probabilidade de acidentes a cada 5 km/h acrescidos à velocidade desenvolvida. Além disso, segundo Wramborg (2005), existe pelo menos 10% de chance de óbito quando os impactos ocorrem entre veículos a 30 km/h e pedestres/ciclistas, quando ocorrem entre veículos a 50 km/h em colisões laterais, e a 70 km/h em colisões frontais. Tais dados só ressaltam que a velocidade, além de medida essencial aos estudos das características de tráfego da via, também tem alta influência sobre a severidade e a probabilidade de acidentes, problemática recorrente relacionada à Segurança Viária (SV).

Além da velocidade como bom parâmetro explicativo, há outras relevantes características, tanto ambientais quanto de tráfego, também capazes de influenciar o comportamento de condução, tanto em situações de chuva quanto de pista seca, com destaque para o tipo de veículo da corrente de tráfego, seja do tipo pesado ou de passeio, e para a hora do dia em que os veículos trafegam, seja em turnos matutino, diurno ou noturno (RAO, et al., 2015; OH, et al., 2002).

Uma das principais dificuldades encontradas acerca do estudo pareado de velocidades e condições ambientais se mostra por essas informações serem obtidas a partir de bancos de dados diferentes. A coleta de dados de velocidade ou qualquer outro parâmetro de tráfego advém de fontes que não são capazes de também realizarem inferências a respeito das condições meteorológicas circundantes. Assim, faz-se necessário um esforço complementar para que se possa relacionar os dados de tráfego, obtidos das mais variadas formas disponíveis, por exemplo, laços detectores, aparelhos de fiscalização eletrônica, *drones* de mapeamento aéreo, com os dados meteorológicos coletados por centros de monitoramento do tempo que sejam localizados próximos às vias estudadas. Além disso, o entendimento quanto ao grau de correlação entre o comportamento do condutor e a condição do tempo ainda carece de estudos mais detalhados, principalmente relacionados ao ambiente urbano, pois o foco ainda tem sido muito voltado às rodovias, em âmbito nacional, e às *highways* e *freeways*, no cenário internacional (JIA, et al., 2015; BILLOT, et al., 2009).

Fortaleza conta com um sistema de monitoramento de velocidade por radares fixos composto por 274 aparelhos, espalhados ao longo das principais vias da cidade, e capazes de coletar informações como a velocidade instantânea do veículo, o perfil veicular entre carro, moto, caminhão e ônibus, a data e hora da passagem, a faixa de rolamento à qual o veículo trafega e a placa em formato alfanumérico. Quanto aos dados meteorológicos, há 13 postos pluviométricos automáticos espalhados pela cidade, os quais se conectam aos servidores do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) e transmitem dados acumulados de chuva, em milímetros, a cada 10 minutos, para serem, então, processados e disponibilizados no *website* do centro. A cidade de Fortaleza possui, assim, todas as ferramentas necessárias para as coletas de dados de chuva e velocidade essenciais para o desenvolvimento do estudo proposto.

Reconhecendo, portanto, a possível correlação entre as condições ambientais e o comportamento adotado pelo condutor, esta pesquisa busca avaliar o grau de influência existente dessa potencial adaptação do motorista ao meio. Se, ao incorporar os efeitos da condição climática adversa, o condutor tende a mitigar os seus riscos, aderindo, assim, a velocidades menores em dias chuvosos. Desta forma, a observação e avaliação desses efeitos sobre o condutor tornam-se uma questão importante na modelagem da fluidez e do DSV.

## 1.1 Problema e questões de pesquisa

Como problema desta pesquisa, identifica-se que os estudos sobre os impactos das condições ambientais adversas nas características de condução veicular em áreas urbanas brasileiras ainda não estão satisfatoriamente caracterizados. As análises têm se concentrado sobre as rodovias, o que limita o entendimento dos efeitos das condições meteorológicas sobre o condutor para as áreas urbanas, já que se tratam de componentes do sistema viário de diferentes características. Desta maneira, como proceder a abordagem para verificação dessa possível influência das condições ambientais adversas ao condutor? Além desse questionamento principal, outros pontos serão levantados nesta pesquisa:

- a) Quais os indicadores mais utilizados para caracterizar o efeito de condições ambientais adversas no comportamento de condução?
- b) Como estimar a velocidade de fluxo livre, em regime de tráfego ininterrupto, para condições favoráveis (pista seca) e para diferentes níveis de intensidade pluviométrica com base em equipamentos de fiscalização eletrônica?
- c) A hora do dia, seja dia de semana ou final de semana, é capaz de influenciar o comportamento do condutor de alguma forma, esteja em ambiente chuvoso ou não?
- d) Há variação entre os comportamentos de condutores de veículos de passeio e veículos pesados?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 *Objetivo Geral*

Diante do exposto na contextualização, o estudo a respeito da adaptação do condutor ao meio circundante se apresenta como um promissor aliado no entendimento dos fatores intrínsecos à SV e ao planejamento do sistema viário. Logo, o objetivo geral desta pesquisa consiste em propor um método para avaliar a influência que condições ambientais porventura exerçam sobre o condutor em vias urbanas de Fortaleza, mais intrinsecamente relacionadas às condições climáticas seca e chuvosa.



### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Em extensão ao objetivo geral proposto, e visando a, concomitantemente, responder às questões levantadas no estudo, os seguintes objetivos específicos são definidos:

- a) Caracterizar os indicadores mais utilizados nos estudos do efeito de condições ambientais adversas no comportamento de condução, inclusa a velocidade de fluxo livre;
- b) Estimar a velocidade de fluxo livre, em regime de tráfego ininterrupto, para condições favoráveis (pista seca) e para diferentes níveis de intensidade pluviométrica com base em equipamentos de fiscalização eletrônica;
- c) Averiguar, além dos efeitos das condições meteorológicas individualmente, a influência conjunta da hora do dia no processo de condução veicular, bem como avaliar se o perfil do veículo também pode ser levado em conta no processo de adaptação do condutor ao meio circundante.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho de conclusão de curso está dividido em cinco capítulos, em que o primeiro buscou-se contextualizar a problemática que motivou o início do estudo. Também, são levantadas as questões de pesquisa bem como estão elencados todos os objetivos do trabalho, geral e específicos.

Em seguida, o segundo capítulo é destinado à revisão bibliográfica dos temas relacionados à pesquisa. Propôs-se uma revisão a respeito dos fatores que mais podem influenciar o processo de condução dos motoristas, seja em ambiente de condição climática adversa seja em ambiente ideal. São apresentados também os parâmetros macroscópicos que devem ser levados em conta nos estudos de tráfego, e a importância deles para entender o comportamento da corrente veicular a ser estudada. Além disso, este capítulo expõe também os estudos já realizados a respeito da problemática delimitada no trabalho, bem como mostra os resultados obtidos a fim de que possam servir de base para comparação aos resultados encontrados no presente trabalho.

O terceiro capítulo se destina a apresentar as etapas metodológicas adotadas na pesquisa, dividido em seis itens. O primeiro item (3.1) destina-se à seleção dos trechos arteriais

ininterruptos. Os itens 3.2 e 3.3 elucidam como foi feita a coleta de dados das duas bases utilizadas no trabalho. O item 3.4 caracteriza a consolidação dos bancos de dados coletados a serem utilizados para definir os perfis de velocidade para cada observação válida, apresentados no item 3.5. O terceiro capítulo é concluído explicando-se as etapas de análise estatística utilizadas na comparação entre os diversos cenários propostos no estudo (3.6).

O quarto capítulo apresenta os resultados referentes às etapas metodológicas, enquanto que no capítulo cinco são apresentadas as conclusões e as considerações finais obtidas no trabalho. Neste capítulo, as limitações do estudo também são elucidadas, com intuito de facilitar na definição dos objetivos de possíveis trabalhos futuros.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Ao se abordar a influência que condições ambientais adversas exercem sobre o condutor, faz-se necessário um melhor entendimento a respeito dos parâmetros disponíveis na literatura capazes de representar da melhor maneira esses impactos. Logo, os objetivos deste capítulo serão discutir o porquê do uso da Velocidade de Fluxo Livre (VFL) como medida avaliativa do estudo, realizar um apanhado geral do histórico de pesquisas desenvolvidas, tanto em âmbito nacional quanto em âmbito mundial, a respeito dos resultados encontrados quando comparadas situações de chuva e sem chuva, bem como as metodologias aplicadas. Por fim, também investigar e propor potenciais fatores de influência que, em paralelo à condição ambiental, tenham significativo peso no comportamento de condução.

### **2.1 Análise dos fatores que influenciam o comportamento de condução**

O processo de condução veicular é bastante complexo e abrange uma natureza multifatorial, que inclui o fator humano, o fator ambiental, o fator veicular e o fator estrutural de via de tráfego. Assim, a fim de compreender o que pode influenciar o motorista na tomada de decisão durante o processo de condução, faz-se necessário realizar uma revisão bibliográfica a respeito dos fatores que podem influenciar este comportamento. Chakrabarty et al. (2013) desenvolveram um projeto que se propunha a avaliar o comportamento de condução do motorista, com destaque para a escolha de velocidade e tempo de reação, durante condições climáticas adversas (dia nublado, dia com neblina e dia chuvoso) tanto em ambiente simulado quanto em situação real. Os resultados evidenciaram que em ambos os ambientes testados, houve redução nas velocidades desenvolvidas à medida que a condição climática piorava, ou seja, a velocidade decrescia quando comparadas as situações de dias límpidos, dias nublados, dias com neblina e dias chuvosos. Além disso, o estudo também propôs como conclusões que o nível de desconforto e de tomada de decisões mais agressivas eram maiores em situações em que havia a adversidade climática, especialmente em dias chuvosos, destacando que essas taxas foram estatisticamente significativas apenas nos ambientes reais, enquanto que nos simulados não houve indícios para conclusões sobre esse aumento.

Seguindo a mesma linha de pesquisa, Goralzik et al. (2016) se propuseram tanto a investigar os efeitos que a velocidade limite, a geometria da via, a presença de passageiros no

veículo e características específicas do condutor tinham sobre a escolha da velocidade adotada por motoristas em um simulador do ambiente urbano. Uma amostra de 49 pessoas, divididos em quatro grupos homogêneos, foi organizada da seguinte forma: *i*) 12 mulheres de 18 a 20 anos com no máximo três anos de experiência de dirigir e não tendo rodado mais que 10.000 km; *ii*) 12 homens de 18 a 20 anos com mesmas características do grupo *i*); *iii*) 12 mulheres de 25 a 57 anos com no mínimo cinco anos de experiência de dirigir e tendo rodado mais que 15.000 km; *iv*) 13 homens de 26 a 59 anos com mesmas características do grupo *iii*). Os resultados obtidos mostraram que alterações na velocidade limite e nas características da via tiveram as mais fortes correlações com a velocidade adotada pelos condutores, enquanto que a presença do passageiro no veículo, embora tenha sido verificada uma influência estatisticamente significativa, apresentou menor correlação. Quanto ao fator relacionado ao perfil do condutor, as maiores velocidades foram encontradas para o grupo *ii*), de homens mais jovens, enquanto que quando relacionaram-se os grupos do mesmo sexo, as mulheres não tiveram diferença de velocidade estatisticamente significativa, o que indica que os homens mais jovens revelam-se assumir um comportamento mais arrojado e de maiores velocidades, diferentemente das mulheres, às quais a idade não influencia na escolha da velocidade adotada. Além disso, no estudo combinado de fatores através da análise de variância (ANOVA), verificou-se que um influência estatisticamente significativa da combinação de dois fatores velocidade limite e curvatura, bem como velocidade limite e largura da faixa, sobre a velocidade média adotada dentre todas as 49 amostras, o que indica um relação forte também entre as características físicas da via e a velocidade que o condutor desenvolve.

## **2.2 Parâmetros macroscópicos de tráfego**

Mesmo o trabalho não se tratar de trechos de autoestradas ou rodovias, é necessário haver uma revisão bibliográfica acerca dos principais conceitos relacionados às teorias do fluxo de tráfego, já que, mesmo em ambiente urbano, essas medidas têm igual prevalência explicativa sobre o comportamento do condutor e sobre as características de operação da via.

Para os trechos urbanos estudados e definidos de fluxo ininterrupto deste trabalho, sendo feita uma delimitação macroscópica como objeto de pesquisa, ou seja, ressaltando as características da corrente de tráfego em geral e não apenas as interações veiculares entre si

(estudo microscópico), são definidos três principais parâmetros macroscópicos: fluxo veicular, velocidade média e densidade, a serem melhor explicados a seguir.

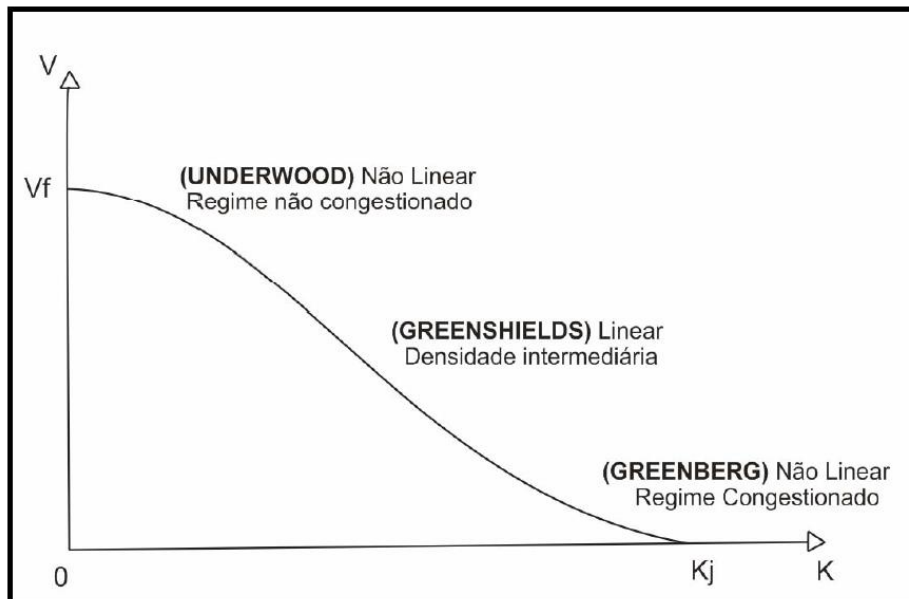
### **2.2.1 Relação Velocidade e Densidade**

O primeiro modelo de representação macroscópica foi proposto por Greenshields (1935), sendo definido totalmente de maneira empírica. Ele chegou à conclusão de que a relação entre a velocidade dos veículos e a densidade do tráfego, medida, esta, definida por Roess *et al.* (2010) como o parâmetro macroscópico da distância entre os veículos, o que afeta diretamente a liberdade de condução e o conforto psicológico do motorista, tratava-se de uma reta.

Com o passar dos anos, verificou-se o modelo de Greenshields representava bem o comportamento do condutor apenas quando era observado em campo uma densidade intermediária. Assim, foi que Underwood (1961) propôs um novo modelo de representação não mais com uma reta, mas sim através de uma curva exponencial. Este modelo, entretanto, ainda não teve boa aderência para situações de densidades altas, apenas para baixas concentrações de fluxo veicular.

Atualmente, o modelo que melhor representa a relação velocidade e densidade de uma corrente de tráfego é o que agrega tanto os dois citados em parágrafos anteriores, quanto aquele proposto por Greenberg (1959), cuja representação, ao contrário do modelo de Underwood, é melhor para elevadas densidades. Um esquema deste modelo ideal é apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Comportamento observado em campo da relação velocidade-densidade



Fonte: Maia (2007).

Onde:

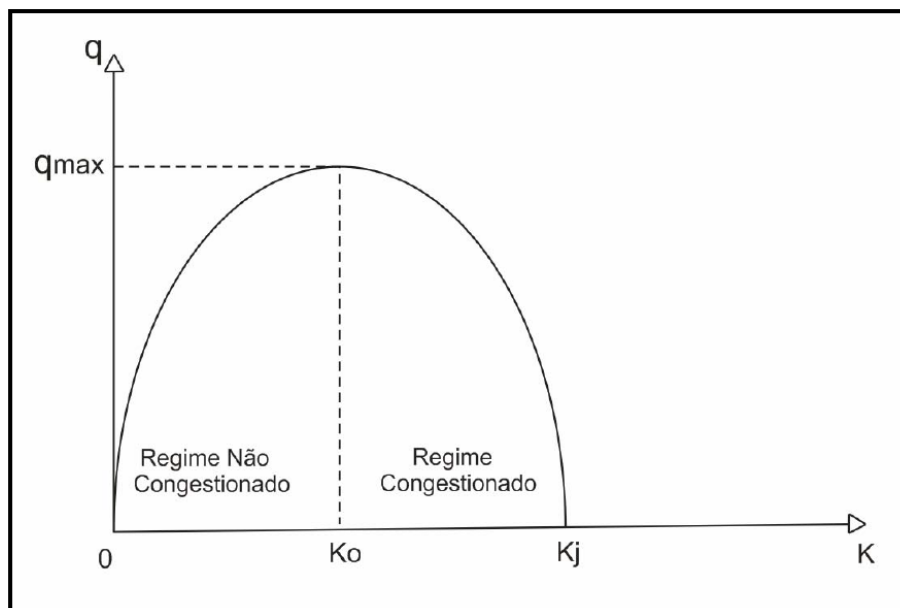
$V_f$  = Velocidade de Fluxo Livre (km/h);

$K_j$  = Densidade de Congestionamento (veic./faixa).

### 2.2.2 Relação Fluxo e Densidade

A relação entre esses dois parâmetros segue uma curva parabólica conforme elucidada na Figura 2. O que Greenshields (1935) propôs com essa relação foi que o ponto médio da curva representa a capacidade da via, ou seja, a densidade máxima a qual valores superiores iniciam congestionamentos e redução do fluxo no trecho, enquanto que valores menores que a densidade no ponto médio indicam fluxos operando dentro da capacidade da via e em constante crescimento até atingirem o congestionamento.

Figura 2 - Diagrama representando a relação fluxo-densidade



Fonte: Greenshields (1935).

Onde:

$K_j$  = Densidade de Congestionamento (veic./faixa);

$K_0$  = Densidade Ótima de fluxo (veic./faixa); e

$q_{\max}$  = Fluxo Máximo (veic./hora/faixa).

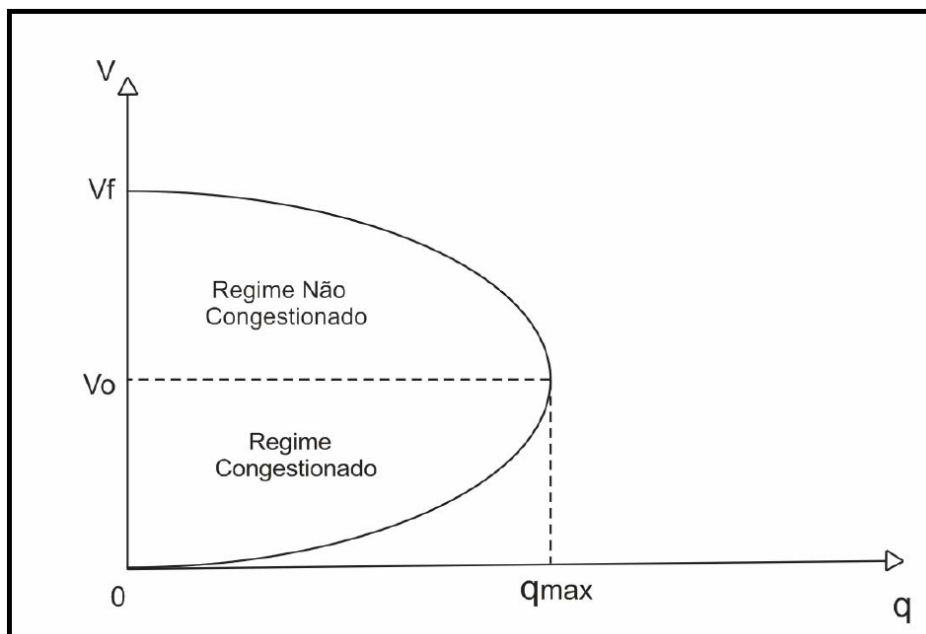
### 2.2.3 Relação Fluxo e Velocidade

A última relação fundamental da teoria de tráfego é a que relaciona a velocidade e o fluxo numa representação em forma de curva parabólica. Verificando a Figura 3 pode-se constatar que a velocidade da corrente de tráfego diminui à medida que o fluxo veicular aumenta. Isso pode ser explicado, pois as interações veiculares aumentam com o maior número de veículos circulando na via, o que geram impedâncias e maiores dificuldade ao condutor no desenvolvimento da sua velocidade desejada.

Essa relação é fundamental, também, para determinação da capacidade da via, pois, conforme definido pelo *Highway Capacity Manual (HCM)*, da *Transportation Research Board (TRB, 2010)*, a capacidade da via consiste no maior fluxo de veículos que passam por uma determinada seção, sem quaisquer influências das condições operacionais a jusante, por exemplo, filas de veículos em congestionamento, ou seja, que estejam em regime de fluxo livre. Além disso, o HCM (TRB, 2010) ressalta que a capacidade não é determinada como sendo o

maior fluxo de veículos coletados num específico dia ou hora, mas, sim, a maior taxa de veículos que pode ser repetidas vezes observada, em condições homogêneas de tráfego, do tempo e das características da via.

Figura 3 - Diagrama representando a relação fluxo-velocidade



Fonte: Greenshields (1935).

Onde:

$v_f$  = Velocidade de Fluxo Livre (km/h);

$v_0$  = Velocidade Ótima de fluxo (km/h); e

$q_{máx}$  = Fluxo Máximo (veic./hora/faixa).

Ao analisar o conceito de capacidade, e a relação desta com a velocidade veicular, entende-se que a velocidade desenvolvida no regime ininterrupto e ausente de quaisquer impedâncias tem elevado potencial explicativo quando se quer avaliar o comportamento do condutor sob influência das adversidades ambientais. A curva tende a modificar com a variação da VFL, o que influi diretamente na análise da operação da via estudada, e, conseqüentemente, na tomada de decisão por parte dos órgãos gestores.



### **2.3 Fator velocidade em acidentes viários**

As velocidades dos veículos têm influência direta sobre a eficiência e a segurança de viagens, daí a importância de se gerenciar e se definir os limites de velocidade mais adequados. O conhecimento sobre os fatores capazes de variar e influenciar esse parâmetro do DSV é essencial aos planejadores e aos pesquisadores de tráfego no tocante à prevenção e tomada de decisão sobre essa problemática. Complementarmente, também avaliando o exposto através dos modelos macroscópicos do item 2.2, evidencia-se, portanto, a importância que a velocidade assume nos estudos de tráfego, destacando a forte correlação desta no DSV, conforme corroboram Archer et al. (2008), defendendo que não há nenhum fator mais impactante na SV do que a velocidade.

Segundo dados disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2015), a velocidade é colocada como um dos principais elementos para ocorrência e gravidade dos acidentes viários. No estudo realizado por Stuster et al. (1998), concluiu-se que, em prol da redução de acidentes, as velocidades limite mais adequadas são as focadas em reduzir as variações de velocidades entre os usuários, assim, procurando evitar os motoristas que trafegam tanto em baixa quanto em alta velocidade. Tal entendimento a respeito do que provoca essas variações de velocidades é imprescindível para os estudos e para as projeções relacionadas ao planejamento do tráfego, ressaltando, portanto, o ponto chave do trabalho em avaliar a influência de condições meteorológicas adversas em potenciais adaptações e variações no modo de direção do condutor.

### **2.4 Velocidade de Fluxo Livre como parâmetro de avaliação comportamental do condutor**

A VFL é, segundo o HCM (TRB, 2010), a velocidade média veicular em um segmento, medida na condição de baixo tráfego, ou seja, quando um condutor não exerce influência sobre o outro. Este parâmetro é considerado nas ocasiões em que não há impedâncias para o desenvolvimento da velocidade, tais como elevados fluxos veiculares nas vias e/ou existência de equipamentos controladores de tráfego, como sinalização semafórica ou placas indicativas de “Pare”. Assim, avaliou-se que este indicador teria potencial para representar o comportamento do condutor em situações chuvosas e de tempo seco, pois quando apto a

desenvolver a velocidade desejada, em situações de chuva, presume-se a adoção de um modo de direção mais cauteloso e a velocidades menores quando comparado às situações sem pluviosidade.

Em busca, então, de corroborar quais parâmetros seriam mais impactados pelos efeitos das condições ambientais, Zhang et al. (2005) propuseram simular, utilizando-se do *CORridor SIMulation* (CORSIM), 23 parâmetros potencialmente influenciáveis a partir de mudanças nas condições urbanas do simulador, ajustando os parâmetros de *input* em cinco níveis de magnitude, desde os valores *default*, até o incremento gradativo visando modelar o comportamento mais conservador, o que se espera do condutor em situação de condição ambiental adversa. Como resultados, eles obtiveram que alterações na VFL apresentavam significativo impacto no desempenho das redes simuladas. Além disso, foram destacados outros parâmetros importantes na representação da adversidade climática, tais como o atraso médio inicial, o tempo de reação à desaceleração do veículo líder em regime de *Car Following* e o *headway* médio de descarga.

Hou et al. (2012) também propõem um modelo de simulação baseado em parâmetros pressupostos como influenciáveis pelas condições ambientais. Depois de calibrados, os modelos são capazes de captar os efeitos das condições climáticas adversas, inclusas variáveis intensidades de chuva e neve, e aplicá-las sobre o fluxo veicular no determinado local estudado. Para isso, analisaram-se e coletaram-se dados de quatro regiões metropolitanas nos Estados Unidos (Irvine, Chicago, Salt Lake City e Baltimore), tanto dos laços de detecção de velocidades das autoestradas quanto do Sistema de Observação Automático do Tempo (do inglês, *Automated Surface Observing System*). Foi observado que o grau de visibilidade e intensidade pluviométrica (chuva/neve) tinham impactos significativos sobre alguns dos parâmetros de tráfego utilizados no modelo, principalmente, a VFL e o fluxo veicular.

Uma vez identificada que a VFL assume um importante papel explicativo a respeito do comportamento do condutor em adaptar-se às adversidade ambientais, é necessário, complementarmente, definir como ela pode ser aferida em campo, e qual sua representatividade explicativa do comportamento veicular na corrente de tráfego. Assim, serão discutidas a seguir os três tipos de velocidade média que podem ser determinadas, bem como a fundamentação teórica base de cada uma.

### 2.4.1 Velocidade média no espaço

A velocidade média no espaço,  $\bar{\mu}_s$ , é definida como a média harmônica das velocidades instantâneas dos veículos que passam por um certo trecho durante um determinado intervalo de tempo (SETTI, 2002). Ela é calculada a partir do quociente entre a distância total percorrida pelos veículos num trecho de via pelo tempo total gasto por esses veículos para percorrer todo esse trecho. Ela pode ser resumida observando-se a equação 1 a seguir.

$$\bar{\mu}_s = \frac{n \cdot d}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\mu_i}} \quad (1)$$

Onde:

$\bar{\mu}_s$  = Velocidade Média no Espaço (km/h);

n = Número de veículos;

$\mu_i$  = Velocidade Instantânea do i-ésimo veículo (km/h);

d = Comprimento do trecho (km); e

$t_i$  = Tempo gasto pelo i-ésimo veículo para percorrer o trecho (hora).

### 2.4.2 Velocidade média no tempo

A velocidade média no tempo,  $\bar{\mu}_t$ , é definida como a média aritmética das velocidades instantâneas dos veículos individualmente que passam por um ponto específico da via (SETTI, 2002). Por ser uma medida pontual, ela é, segundo HCM (TRB, 2010), muito utilizada como medida de desempenho para avaliar o comportamento do condutor. Um exemplo disso são os aparelhos de fiscalização eletrônica que detectam a velocidade instantânea do veículo no momento em que ele passa no laço coletor.

Além disso, o cálculo da velocidade média no tempo pode ser feito para trechos específicos, onde é realizado o cálculo a partir da média aritmética das velocidades desenvolvidas por cada veículo individualmente, conforme elucida a equação 2.

$$\bar{\mu}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d}{t_i} \quad (2)$$

Onde:

$\bar{\mu}_t$  = Velocidade Média no Tempo (km/h);

$n$  = Número de veículos;

$\mu_i$  = Velocidade Instantânea do  $i$ -ésimo veículo (km/h);

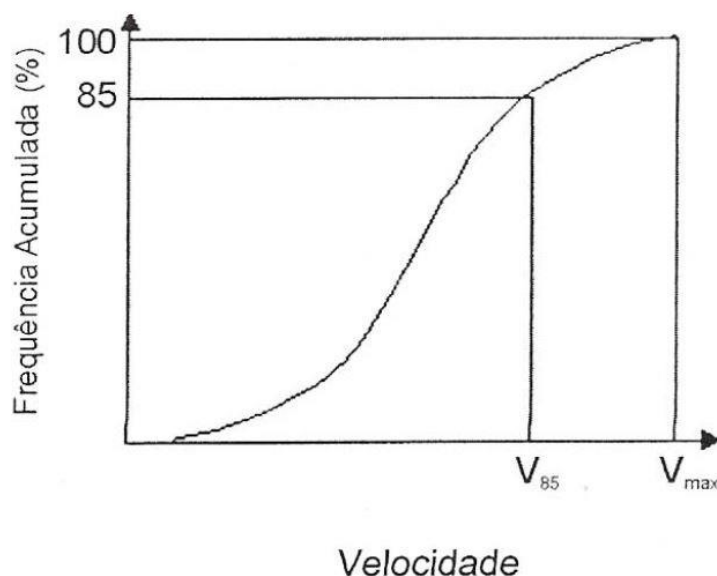
$d$  = Comprimento do trecho (km); e

$t_i$  = Tempo gasto pelo  $i$ -ésimo veículo para percorrer o trecho (hora).

### 2.4.3 Velocidade operacional

Velocidade operacional é definida, segundo a *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2010), como sendo a velocidade em que os motoristas são observados conduzindo seus veículos em regime de fluxo livre, ou seja, os condutores não têm sua velocidade afetada pelos demais veículos presentes na via. O 85º percentil ou  $V_{85}$ , conforme elucida a Figura 4, representa a velocidade desenvolvida por 85% dos condutores no trecho da via estudada, e é muito utilizada para representar a velocidade operacional, por ser muito similar ao conceito proposto. Ela pode ser obtida através da análise estatística da amostra observada de velocidades, onde, na curva de frequência acumulada x velocidade, ela apresenta-se exatamente no ponto em que o eixo y possui valor 85.

Figura 4 - Distribuição de frequência acumulada de velocidades com indicação da velocidade operacional ( $V_{85}$ )



Fonte: Basso (2008).

## 2.5 Revisão dos métodos de coleta de velocidade

Identificada a VFL como parâmetro para avaliação da adaptação do condutor às condições ambientais, faz-se necessário, também, o estudo acerca dos principais métodos de coleta desta medida de DSV, passo essencial à definição da metodologia a ser desenvolvida neste trabalho. Hua (2013) desenvolveu um estudo de comparação acerca dos diversos métodos de coleta de velocidade em campo, destacando os lados positivos e negativos de cada um e, por fim, definindo os mais indicados para estudos a respeito desse assunto. Primeiramente, a velocidade instantânea ou pontual, a qual é medida num ponto específico da via e pode ser aferida de duas formas: utilizando o radar pistola, instrumento que detecta a velocidade instantânea do veículo a partir da teoria do Efeito Doppler; e utilizando o duplo espelho, na qual dois espelhos são posicionados distantes entre si de 30 metros e o observador, localizado em um ponto estratégico capaz de proporcionar uma visão dos dois espelhos, consegue coletar o tempo de passagem do veículo por cada um dos espelhos a fim de definir a velocidade, a partir da relação distância sobre o tempo. O outro tipo de velocidade é a baseada no tempo de viagem, também coletada de duas formas: definindo um ponto inicial e um final de 250 metros de distância, um observador coleta o tempo de passagem do veículo no início e informa ao outro observador por um rádio as características desse veículo a fim de que o tempo de passagem no ponto final seja feito pelo outro observador; e utilizando um veículo de passeio, este à velocidade limite da via, passa por dois pontos de controle, sendo coletados os tempos em cada um dos pontos, a distância entre eles e o número de veículos que foram ultrapassados e que o ultrapassaram. Os resultados, restritos ao estudo elucidado, mostraram que o método utilizando o radar pistola foram mais conclusivos e indicados para a coleta de velocidade em campo, pois caracteriza-se por ser um método de coleta simples e que, para uma coleta satisfatória, depende apenas da manutenção correta do aparelho utilizado.

Leduc (2008) realizou um estudo a respeito das diversas tecnologias disponíveis atualmente para o propósito da coleta de dados de tráfego, entre eles a velocidade veicular. Os mais importantes definidos por ele foram: tubos pneumáticos, que são tubos localizados internamente às vias capazes de detectar a variação de pressão produzida na passagem da roda do veículo e enviar essas informações a um contador localizado ao lado da via; sensores piezoelétricos, baseados no princípio de conversão da energia mecânica em energia elétrica e, assim, coletar informações à medida que há a passagem dos veículos; e laços magnéticos de

detecção, mais convencional forma de coleta de dados, em que os laços transmitem ondas magnéticas a um sistema de captação de informação capaz retornar as características do tráfego da seção analisada. Vale ressaltar que, à exceção dos tubos pneumáticos, todos os outros sistemas são capazes de detectar o volume veicular, a velocidade, classificação do perfil do veículo e a taxa de ocupação.

## 2.6 Influência de condições adversas na VFL

As condições adversas de tempo (chuva e neve) tendem a impactar diretamente ao condutor, ao veículo e às rodovias. Esses efeitos podem ser observados sobremaneira na VFL desenvolvida, além de influenciarem na capacidade viária do trecho estudado, já que o *headway* entre os veículos tende a aumentar, presumindo-se que o condutor tende a adotar um estilo de direção mais cauteloso. Agarwal et al. (2006) utilizaram dados de tráfego avaliados desde Janeiro de 2000 a Abril de 2004, obtidos através de 4000 laços magnéticos distribuídos nas rodovias da região metropolitana de Twin Cities, no estado do Minnesota. Os dados eram coletados a cada 30 segundos, sendo agrupados os fluxos e as densidades a cada 10 minutos. A medida velocidade era obtida através da relação exposta na equação 3.

$$q = k \cdot u \quad (3)$$

Onde:

q = Fluxo de veículos (veic./hora);

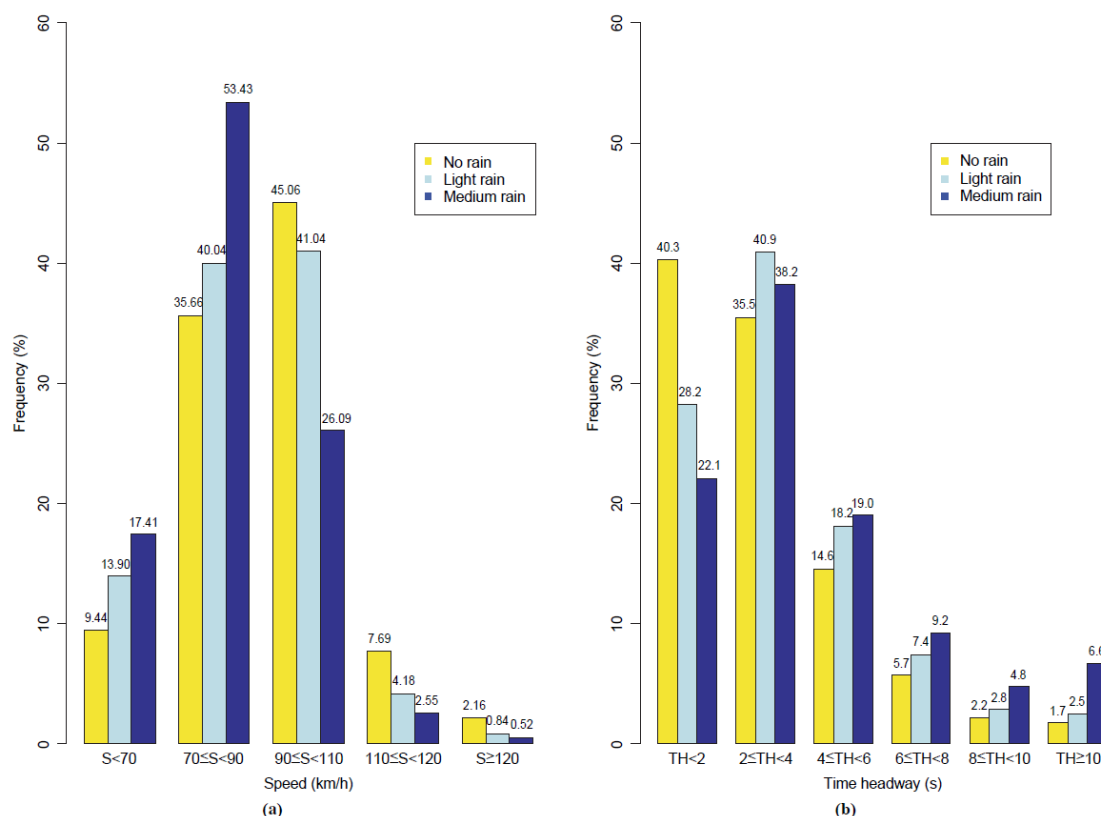
k = Densidade (veic./faixa); e

u = Velocidade (km/h).

O estudo propôs estimar as reduções tanto de capacidade quando de velocidade de segmentos rodoviários, a fim de avaliar os impactos que as condições ambientais causam no desempenho operacional dessas vias. Os registros de precipitação foram agrupados em quatro categorias distintas de intensidade (sem chuva; neblina, menor que 0,25 mm/h; chuva leve, entre 0,25 e 6,35 mm/h; e chuva intensa, maior que 6,35 mm/h). As amostras foram testadas estatisticamente através do método de *Bonferroni* ( $\alpha$  de 0,05), escolhido por permitir a comparação de amostras diferentes sem assumir a equidade da variância. Constatou-se a redução estatisticamente significativa na capacidade viária do segmento avaliado entre 1 e 3%,

5 e 10% e 10 e 17% para chuvas leves, moderadas e intensas, respectivamente. Também, reduções na velocidade de tráfego foram registradas entre 1% e 7%, conforme se intensificava a precipitação. Contudo, as análises apontaram que a diferença na velocidade média para chuvas leves e intensas não eram estatisticamente significantes, o que, segundo conclusão do estudo, indicou que comportamento dos condutores depende apenas da incidência ou não da chuva, a despeito de sua intensidade.

Billot et al. (2009) propuseram uma metodologia para analisar os impactos da chuva no comportamento dos condutores. Para isso, foram coletados dois anos de dados, 2005 a 2007, sendo conduzido um estudo de caso em um trecho de rodovia francesa, cujo limite de velocidade é de 110 km/h. Os dados de tráfego foram obtidos através de três laços detectores, enquanto que os dados de chuva foram coletados a partir de uma estação de observação do tempo localizada em um raio menor que 3 km dos sensores de coleta veicular. Estes, então, foram agrupados em três classes distintas de incidência de chuva: *i*) sem chuva; *ii*) chuva leve, com precipitação de até 2 mm/h; *iii*) chuva média, com precipitação de 2 a 3 mm/h; os dados de chuva intensas, acima de 3 mm/h, não foram possíveis de serem coletados no estudo. Além disso, houve o agrupamento dos dados, para os três diferentes cenários, respeitando igualmente os mesmos períodos do dia, excetuando-se os finais de semanas, e fluxos com mesmas composições de veículos e fluxos veiculares. Essa agregação de dados com as mesmas características faz com que, na etapa de comparação, a análise seja feita para amostras de mesmas características de tráfego sendo alteradas somente as condições de pluviosidade das vias. Na análise preliminar dos dados, os autores já puderam constatar uma redução da demanda veicular, conforme se aumentava a intensidade da chuva. Além disso, também constataram a redução da frequência de velocidades elevadas, bem como um aumento na frequência dos *headways* conforme se agravava a chuva (Figura 5).

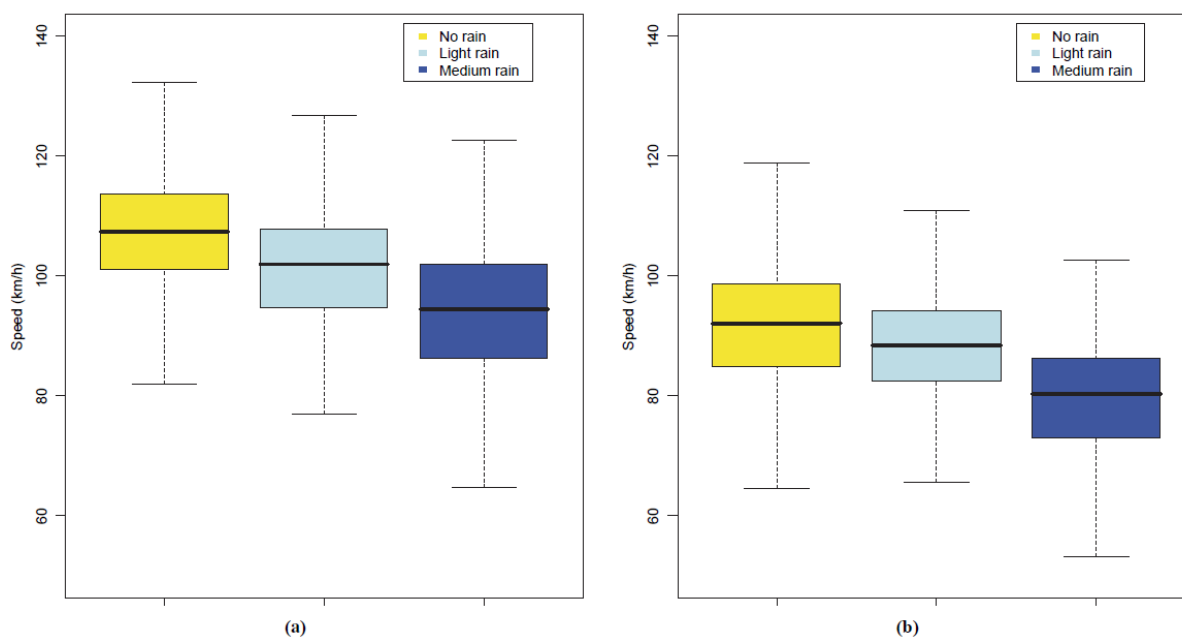
Figura 5 - Histogramas da Velocidade e do *Headway* para variadas intensidades de chuva

Fonte: Billot et al. (2009).

Outro importante ponto do estudo foi a análise feita separando-se os dados entre a faixa rápida da esquerda (a) e a faixa lenta da direita (b), conforme elucidada na Figura 6. Nota-se que as velocidades diminuem à medida que a intensidade da chuva aumenta, tanto a média quanto os valores máximos e mínimos da representação em *boxplot*. Além disso, fica evidente que para as faixas lentas a diferença de velocidades entre as situações sem chuva e com chuva média é menor quando comparada com a variação entre os cenários para a faixa da esquerda. Como conclusões, Billot et al. (2009) indicaram haver indícios de influência no comportamento do condutor o fato de se estar em diferentes faixas, algo não muito comum de se avaliar, já que muitas pesquisas a respeito do assunto são desenvolvidas considerando as faixas em conjunto e não separadamente.



Figura 6 - Representação da distribuição das velocidades para variadas pluviosidades em formato boxplot



Fonte: Billot et al. (2009).

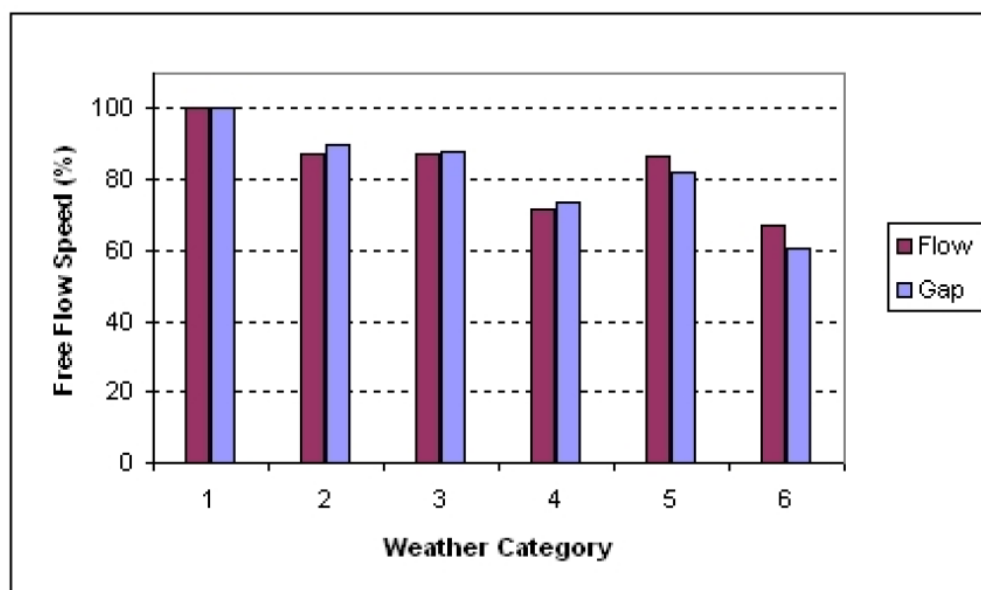
A pesquisa de Rakha et al. (2008) procurou quantificar os impactos das variações meteorológicas, inclusos visibilidade e precipitação, no comportamento do tráfego, para isso, analisando fatores chaves como potenciais de sofrerem influência, sendo eles VFL, velocidade na capacidade, capacidade e densidade de congestionamento. A análise foi direcionada a regiões metropolitanas de três grandes centros nos Estados Unidos, Baltimore, Minneapolis/St. Paul e Seattle, com horizontes de pesquisa de dois anos, entre 2002 e 2004, sendo escolhidos os dois anos de maiores precipitações para cada região, inclusas neve e chuva. Com dados de precipitação sendo categorizados em menor que 0,25 mm/h (chuva leve), entre 0,25 mm/h e 6,4 mm/h (chuva média) e maior que 6,4 mm/h (chuva intensa), o resultados obtidos levaram a conclusões de que, para chuvas leves, houve a diminuição variando de 2 a 3,6% na VFL e para chuvas intensas a redução chegou ao nível máximo de 9%, o que levaram-lhes a corroborar a influência direta dos níveis de intensidade pluviométrica na VFL desenvolvida para as três áreas contempladas no estudo.

Alternando um pouco a linha de pesquisa, agora direcionada para as vias arteriais em ambiente urbano e não mais rodovias, Asamer et al. (2010) analisou os dados coletados por 35 sensores fixados na área urbana de Viena, Áustria, entre os anos de 2006 a 2009. O objetivo do projeto foi propor um modelo para estimar a capacidade e a VFL das vias estudadas com base em dados de fluxo e de velocidade, a partir da agregação deles em períodos de 15 em 15

minutos, intervalo de tempo adotado por se considerar que as características do tráfego permanecem homogêneas. Além disso, houve o pareamento desses dados de tráfego com as informações meteorológicas, a fim de haver uma comparação dos diversos cenários de pluviosidade variada e, assim, ser possível estimar se realmente haviam mudanças na características de tráfego a partir de condições ambientais adversas como chuva e neve.

Os dados de chuva foram agrupados em quatro classes distintas: 1) sem chuva; 2) chuva muito leve, com precipitação de até 0,25 mm/h; 3) chuva leve, com precipitação de 0,25 a 1 mm/h; e 4) dados de chuva considerada média a intensa, acima de 1 mm/h. Como o estudo foi baseado na análise dos dados agregados de fluxo e *headway* ou *gap*, a VFL de cada grupo também foram comparadas dessa maneira, estabelecendo como base a VFL máxima coletada em campo para situação de tempo seco sendo de 42 km/h (100%). A Figura 7 resume esses resultados, bem como elucida as conclusões do estudo de que houve reduções de VFL à medida que a intensidade da chuva aumentava, com destaque, a maior redução para chuvas intensas (categoria 4) do que para situações de neve leve (categoria 5).

Figura 7 - Redução da VFL baseada no fluxo e gap para diferentes categorias meteorológicas, sendo 100% equivalente a 42 km/h referente à situação seca



Fonte: Asamer et al. (2010).

Em ambiente brasileiro, a pesquisa desenvolvida por Caleffi et al. (2016) destacou-se por apresentar um estudo que relacionou os dados meteorológicos com as questões de segurança viária, com o objetivo de compreender melhor o comportamento do tráfego em condições ambientais adversas, por ser no Brasil, somente entraram em enfoque as chuvas, e

em períodos com ocorrências de incidentes. Neste contexto, eles propuseram a aplicação de métodos de agrupamento de observações (clusterização) para caracterizar o comportamento do tráfego da rodovia BR-290/RS, localizada na região metropolitana da cidade de Porto Alegre - RS, para isso, utilizando as técnicas de clusterização do tipo *K-means* e *fuzzy clustering* (FCM). Através dessa metodologia de agrupamento de observações, foi possível determinar padrões comportamentais entre as variáveis definidas como mais importantes para caracterização do tráfego, como fluxo e velocidade, e àquelas referentes às condições ambientais e de segurança, representadas pelos acidentes e pelos variados níveis pluviométricos. Como conclusões do estudo, foi possível aferir que chuvas (leves ou fortes) reduzem as médias de velocidade dos veículos em cerca de 10 km/h, enquanto que a variável visibilidade horizontal não demonstrou ter nenhum efeito no comportamento do tráfego na rodovia.

## **2.7 Potenciais fatores de interferência no processo de condução veicular**

Em busca de expandir a análise a outras potenciais variáveis explicativas que correlacionassem a adaptação do comportamento do condutor e as condições ambientais adversas, além da VFL exposta do item 2.3, esta seção irá propor uma revisão bibliográfica a respeito das pesquisas disponíveis sobre esse assunto. Rao et al. (2015) procuram definir quais as características de tráfego capazes de influenciar a VFL para segmentos arteriais da região metropolitana de Délhi, na Índia. Uma das variáveis propostas que exerciam influência na VFL da área de tráfego estudada foi a o tipo de veículo, existindo uma classificação em seis categorias distintas, definidas a seguir: ônibus, carro, veículo comercial leve, do inglês, *Light Commercial Vehicle* (LCV), veículo de três rodas (3W), caminhão e veículo de duas rodas (2W). Ficou evidente que os carros tinham maiores VFL de todos os cinco grupos, enquanto que os ônibus a menor, o que pode ser evidenciado pela Tabela 1 que mostra o resumo dos resultados encontrados no estudo.

Tabela 1 - VFL para os diferentes tipos de veículos estudados

Tipo de veículos	Velocidade de Fluxo Livre (km/h)				
	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de Variação (%)
<b>Ônibus</b>	41,3	20,0	60,0	10,7	0,260
<b>Carro</b>	58,9	45,0	90,0	14,7	0,248
<b>LCV</b>	45,7	30,0	70,0	10,7	0,234
<b>3W</b>	43,8	30,0	60,0	9,3	0,211
<b>Caminhão</b>	45,2	20,0	70,0	12,9	0,285
<b>2W</b>	51,6	30,0	90,0	15,0	0,290

Fonte: Rao et al. (2015).

No tocante à VFL atrelada com as condições ambientais adversas, Oh et al. (2002) foram além da análise comparativa entre dias de chuva e dias secos, expandindo o estudo a mais quatro cenários levando-se em conta dias secos de dia e de noite (definido das 20:00 às 06:00), e dias chuvosos nessas duas mesmas condições. Foram analisadas dois segmentos de vias localizadas em duas pontes de travessia de veículos na Coreia do Sul, BwangHwa Grand Bridge e a YeongJong Grand Bridge, ambas com laços detectores de informação veicular capazes de fornecer dados de volume, taxa de ocupação e velocidade, coletados vinte quatro horas por dia intervalados de 30 segundos, e, para a análise, agrupados de 5 em 5 minutos. Os resultados mostraram uma redução em média de 2% na VFL das situações chuvosas em relação as de tempo seco, ressaltando que, no estudo, não houve categorização entre intensidades de chuva, ou seja, se houve precipitação mínima, este seria indicada como dado de chuva. Quando comparadas as situações de chuva no período da noite, a redução média foi maior, 6%, em comparação com a mesma condição de dia, levando a conclusões de que, além se influenciado pela chuva em si, o condutor também adota um comportamento mais cauteloso durante a noite.

A velocidade operacional foi mais especificamente estudada por Smith et al. (2004), em que propuseram um estudo para investigar os impactos sobre esse parâmetro de variadas intensidades pluviométricas para dois segmentos consecutivos de uma rodovia localizada na região de Hampton Roads, na Virgínia. Os dados foram coletados de agosto de 1999 a Julho de 2000 por duas estações de tráfego, localizada a um raio de 4,82 km da estação meteorológica

do Aeroporto Internacional de Norfolk, esta utilizada para fornecimento dos dados de pluviosidade. Como resultados, foram obtidos valores de redução na velocidade operacional de até 6% para as situações de chuva. Entretanto, quando se averiguou a redução para diferentes intensidades, não houve resultados estatisticamente significativos, o que em outras palavras significa dizer que chuvas intensas não têm maior impacto na velocidade operacional do que chuvas de intensidade leve.

Jia et al. (2014) estudaram as variações, além da velocidade operacional, da VFL e da capacidade sob diferentes níveis pluviométricos para a região metropolitana de Beijing, capital da China. A área urbana analisada continha 96 detectores, todos localizados próximos ao Centro Meteorológico Nacional, do inglês *National Meteorological Center* (NMC), onde houve o pareamento dos dados de tráfego com os de intensidade de chuva, coletados dos meses de Junho a Agosto do ano de 2013. As intensidades de chuvas foram agrupadas em quatro classes distintas: *i*) sem chuva; *ii*) chuva leve, com precipitação de até 2,5 mm/h; *iii*) chuva média, com precipitação de 2,5 a 7,6 mm/h; e *iv*) chuva intensa, acima de 7,6 mm/h. A Tabela 2 a seguir resume os resultados encontrados, a partir dos quais, concluiu-se que tanto a VFL quanto a velocidade operacional sofrem influência das condições adversas, não tão intensamente quanto os valores de redução encontrados para a capacidade. Além disso, não foram encontrados resultados estatisticamente aceitáveis de que as intensidades variadas tinham maior ou menor influência sobre quaisquer dos três parâmetros de tráfego utilizados no estudo.

Tabela 2 - Reduções encontradas na capacidade, velocidade operacional e VFL

<b>Categoria</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Velocidade Operacional</b>	<b>Velocidade de Fluxo Livre</b>
<b>Leve</b>	5%-10%	0,5%-2%	2%-4%
<b>Moderada</b>	13%-21%	2%-7%	4%-6%
<b>Intensa</b>	17%-25%	3%-9%	6%-11%

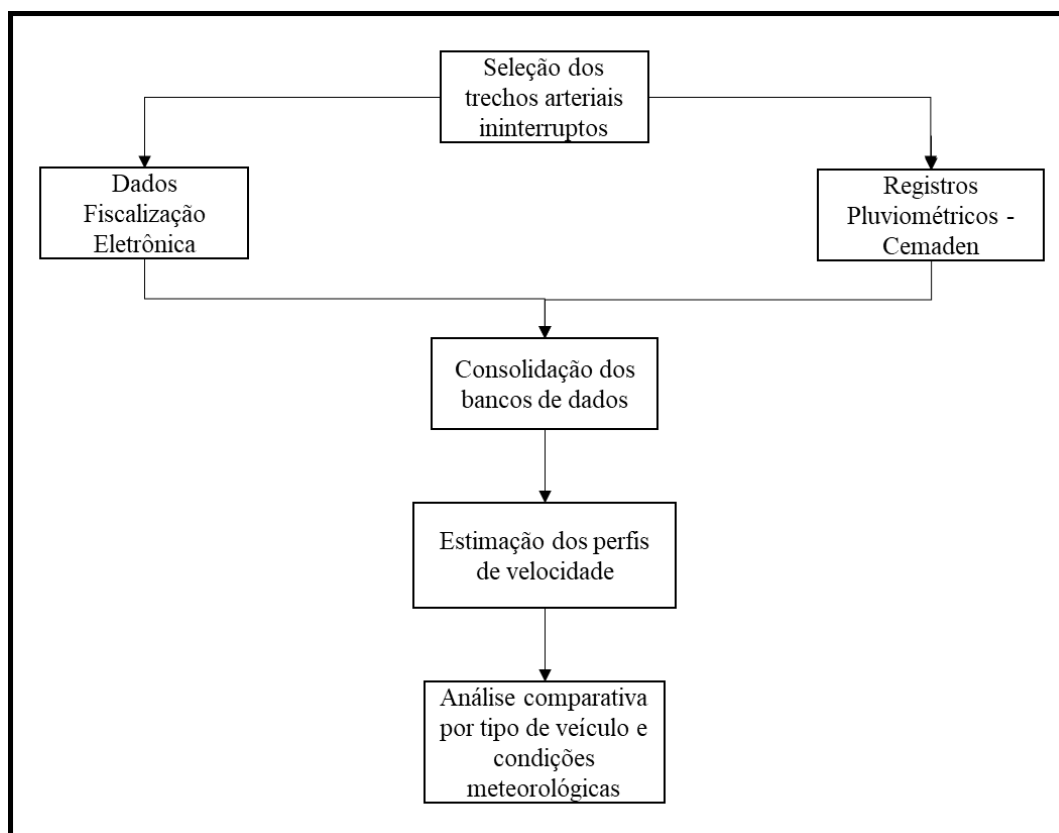
Fonte: Jia et al. (2014).

### 3 METODOLOGIA

Diante das dificuldades, seja de recurso ou de logística, em coletar-se a VFL em campo pelos métodos tradicionais (elucidados no item 2.5.), foram utilizadas informações obtidas a partir da fiscalização eletrônica para a determinação deste indicador. Outro benefício do uso dos dados dos radares fixos é o extenso tamanho amostral, o qual se atingiria pelos métodos tradicionais com muitas horas de trabalho em campo. Além disso, como o trabalho propõe o estudo ampliando a análise a dias chuvosos, estes dados são mais favoráveis ainda, uma vez que a exposição às intempéries ambientais é eliminada.

Assim, visando à coleta da VFL pareada com os dados meteorológicos e à análise dos dados obtidos, definem-se as etapas metodológicas para este trabalho de conclusão de curso sendo as seguintes: i) Seleção dos trechos arteriais ininterruptos; ii) Coleta dos dados de fiscalização eletrônica; iii) Coleta dos dados meteorológicos; iv) Consolidação dos bancos de dados; v) Estimação dos perfis de velocidade; vi) Análise comparativa por tipo de veículo e condições meteorológicas. A Figura 8 retrata a sequência metodológica proposta.

Figura 8 - Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

### **3.1 Seleção dos trechos arteriais ininterruptos**

Em busca de selecionar-se os trechos de corredores arteriais de forma que satisfizessem as condições necessárias para associação entre as informações dos dados de fiscalização eletrônica e os dados pluviométricos, e que, assim, assumissem pares ideais para estimação e análise da VFL, foram utilizados os seguintes critérios: foram selecionados trechos com geometria (largura e número de faixas) constante de vias urbanas com fluxo ininterrupto, e que apresentassem dois equipamentos de fiscalização subsequentes; no trecho não deveria constar a presença de quaisquer equipamentos de controle tráfego (semáforos) ou interseções não-sematizadas; e, uma vez que a proposta de avaliar o trecho para situações chuvosas também foi apresentada, este deveria estar localizado em um raio de até 5 km de distância de um dos postos pluviométricos automáticos, de responsabilidade do Cemaden, espalhados por Fortaleza. Por fim, com os pares definidos, as distâncias entre os radares foram obtidas utilizando-se o *Google Earth Pro*, já que se dispunha da base de dados de aparelhos de fiscalização de Fortaleza em formato *kmz*, o que garantiu a exatidão dos locais de cada aparelho, bem como a medição das distâncias.

### **3.2 Coleta dos dados de fiscalização eletrônica**

Grande parte dos veículos que passam por um aparelho de fiscalização é registrada, inclusive, com um aproveitamento médio de 50 a 60%. Os equipamentos reconhecem as placas dos veículos, gerando caracteres aleatórios para cada veículo, armazenando-as nos servidores do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR). Os dados, então, ficam armazenados de forma desagregada, ou seja, toda passagem é registrada com todos os parâmetros apresentados na Tabela 3 para cada observação de veículo.

Tabela 3 - *Layout* do arquivo de dados gerados pelos aparelhos de fiscalização

<b>Campo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Formato</b>	<b>Exemplo</b>
<i>cod Equipamento</i>	Código único do equipamento	Alfanumérico	FS075
<i>data</i>	Data da passagem	DD-MM-AAAA	22/01/2011
<i>hora</i>	Hora da passagem	HH:MM:SS	10:34:29
<i>faixa</i>	Faixa de rolamento	Numérico	2
<i>velocidade permitida</i>	Velocidade permitida da via (km/h)	Numérico	60
<i>velocidade medida</i>	Velocidade medida na passagem (km/h)	Numérico	58,0
<i>tamanho</i>	Comprimento veicular (m)	Numérico	3,4
<i>perfil</i>	Tipo veicular	Numérico	3
<i>placa</i>	Placa do veículo	Alfanumérico	660d2a52cb7fd054

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Os dados obtidos a partir do CTAFOR estão disponíveis por dia de coleta, o qual agrega as observações feitas por todo o sistema de fiscalização eletrônica da cidade. Como já haviam sido selecionados previamente os pares de aparelhos específicos, procedeu-se com a filtragem apenas destes radares que prosseguiriam para a próxima etapa de análise.

### 3.3 Coleta dos dados meteorológicos

Os dados de pluviosidade foram obtidos a partir do *website* do Cemaden, que dispõe de um histórico de informações pluviométricas desde 2013 de diversos pluviômetros automáticos espalhados por todo o Brasil. O *download* dos dados pode ser feito de maneira gratuita, necessitando especificar a cidade, o mês e o ano que se deseja obter os dados pluviométricos. A partir da exportação dos arquivos mensais, disponíveis conforme apresentado na Tabela 4, é possível proceder com as análises e filtrações subsequentes a este passo da metodologia.



Tabela 4 - *Layout* do arquivo de dados exportados a partir o *website* do Cemaden

<b>Campo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Formato</b>	<b>Exemplo</b>
<i>Município</i>	Município delimitado	Alfabético	Fortaleza
<i>codEstação</i>	Código único por posto	Alfanumérico	230440001A
<i>Uf</i>	Unidade de Federação	Alfabético	CE
<i>NomeEstação</i>	Localização do posto	Alfabético	Edson Queiroz
<i>Latitude</i>	Coordenada Geográfica	Numérico	-3.84621
<i>Longitude</i>	Coordenada Geográfica	Numérico	-37.74444
<i>DataHora</i>	Data e hora da coleta	DD/MM/AAAA HH:MM:SS	01/03/2016 12:00:00
<i>ValorMedida</i>	Intensidade de chuva (mm/h)	Numérico	1,77

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

### 3.4 Consolidação dos bancos de dados

Aqui serão discutidas as etapas de trabalho executadas para consolidação dos dados de cada banco de informações coletadas em áreas urbanas de Fortaleza.

#### 3.4.1 *Dados Meteorológicos*

Para avaliar os horários chuvosos, bem como suas respectivas intensidades, foi necessária a coleta dos dados de precipitação por hora, conforme explicitada no item 3.3. Os horários, é importante destacar, necessitaram de uma transformação, já que eles são disponibilizados via Mapa Interativo de forma bruta, ou seja, não passaram por nenhum tratamento; logo, pode haver inconsistências neles. Em complemento, todos os dados do Cemaden são disponibilizados em horário UTC. O Brasil está a oeste do meridiano de Greenwich, assim, é necessário subtrair a diferença para se conhecer o horário local, que se altera conforme o fuso horário e a vigência do horário de verão. Para as regiões onde se segue o horário de Brasília e o horário de verão não está vigente, é necessário diminuir 3 horas no horário UTC. No período em que o horário de verão está vigente, a diferença que deve ser subtraída passa a ser de apenas 2 horas.

Quanto à próxima filtragem, relacionada às intensidades pluviométricas, as chuvas consideradas de influência significativa no comportamento do condutor e na caracterização do pavimento como escorregadio foram aquelas com pluviometria acima de 1,0 mm/h. A partir

disso, as precipitações foram agrupadas segundo faixas de intensidade próximas às apresentadas na literatura (BILLOT et al., 2009; RAKHA et al., 2008): a) leve, de 1,0 a 2,0 mm/h; b) moderada, de 2,0 a 6,0 mm/h; c) intensa, acima de 6,0 mm/h. Por último, foi feita a seleção dos dias com horas sem nenhuma precipitação coletada (0,0 mm/h) de maneira aleatória e que apresentassem semelhança no número de dados das amostras de condição chuvosa.

Após essa filtragem dos dados para ambas as situações estudadas, partiu-se, então, para a seleção dos dias correspondentes no banco de informações de fiscalização eletrônica disponibilizadas pelo CTAFOR, conforme apresentado no item a seguir.

### **3.4.2 Dados de Fiscalização Eletrônica**

Realizou-se uma filtragem dos dados selecionando apenas os referentes a veículos de passeio e veículos pesados, inclusos ônibus e caminhões, e cujos registros tivessem sido coletados por um dos 9 pares de radares fixos delimitados no item 3.1. Com os dados de fiscalização eletrônica filtrados previamente, pela hora e dia que houve precipitações dentro das faixas de intensidades definidas no item 3.4.1, utilizou-se de um programa escrito em linguagem *python* para facilitar a organização e a análise deles. A rotina desenvolvida seguiu a seguinte lógica de organização: o programa primeiro identifica todas as vezes em que a placa é registrada mais de uma vez, e as agrupa; a seguir, ele separa esse agrupamento agora com base nos pares de aparelhos estudados, sempre organizando-os par a par; por último, ele discrimina a hora da passagem, por exemplo, 21:32:15, em colunas de hora, minuto e segundo que agilizam bastante na etapa subsequente de estimação das velocidades, realizada no *Excel*.

## **3.5 Estimação dos perfis de velocidade**

Primeiramente, os dados registrados para cada situação foram analisados, no intuito de avaliar se o volume veicular poderia ser classificado como baixo ou suficiente para se enquadrar na situação definida como sendo de fluxo livre. Para esta avaliação, considerou-se como premissa base que o fluxo veicular de até 300 veic/h/fx poderia ser considerado como de fluxo livre, podendo desprezar a possibilidade de formação de fila como efeito de veículos pesados ou interferência pelo fato de estarem em regime de tráfego congestionado

Como próxima etapa, foi feita a extração dos tempos de viagens dos veículos

passantes em cada um dos pares avaliados. Antes da análise posterior, foi feita uma filtragem dos tempos discrepantes que poderiam aparecer, por exemplo, de três horas, o que indica que o veículo poder ter sido perdido em alguma das passagens por um dos aparelhos do par delimitado. Além disso, há observações em que o tempo coletado entre o par pode ter sido muito curto, devido a possíveis repetições nas atribuições, do sistema de coleta, da mesma placa alfanumérica a veículos distintos, resultando em velocidades muito altas, o que também foram excluídas das análises seguintes.

Uma vez conhecida a distância entre cada par, elucidada no item 3.1, foi determinada a velocidade média no espaço para cada veículo registrado, conforme mostrado no item 2.4.1, a partir do quociente entre a distância entre o par de aparelhos de fiscalização eletrônica e o tempo medido entre eles. O produto das filtragens até este ponto, portanto, é a velocidade de percurso de um veículo que tenha passado no determinado par delimitado na etapa 3.1, bem como a hora dessa passagem e intensidade da pluviosidade medida em um dos postos pluviométricos localizado mais próximo ao par específico, bem como a definição se o veículo era do tipo passeio, ou pesado, este, caminhões e ônibus.

### **3.6 Análise comparativa por tipo de veículo e condições meteorológicas**

Nesta seção, detalha-se a etapa em que serão realizadas análises exploratórias do comportamento das variáveis dependentes a serem definidas e identificar quais delas têm significativa influência sobre a VFL coletada no item 3.5. Espera-se como produto desta etapa uma melhor compreensão dos fatores que mais podem influenciar a velocidade desenvolvida pelos condutores em corredores arteriais de Fortaleza em regime de fluxo livre.

Para isso, foram propostos diversos cenários de análise, os quais podem ser descritos na Tabela 5, onde a intensidade da chuva varia de seco a intensa; o tipo de veículo entre pesado e de passeio; o perfil do dia entre dia da semana e final de semana; o turno do dia entre: manhã (06h00 a 12h59), tarde (13h00 a 17h59), noite (18h00 a 23h59) e madrugada (00h00 a 05h59); e, por fim, o  $\Delta$  das velocidades, classificados em 1 e 2, que correspondem à diferença simples de velocidades entre a coletada a partir do método proposto e medida, instantaneamente, por cada um dos radares fixos do par definido.

Tabela 5 - Resumo das possíveis variáveis explicativas da VFL

Descrição	Valor numérico	Variável
<b>Intensidade de Chuva</b>	0	Seco
	1	Leve
	2	Moderada
	3	Intensa
<b>Tipo de veículo</b>	0	Veículo de Passeio
	1	Veículo Pesado
<b>Perfil do Dia</b>	0	Dia da Semana
	1	Dia Final de Semana
<b>Turno do Dia</b>	0	Manhã
	1	Tarde
	2	Noite
	3	Madrugada
$\Delta 1$	Numérico Positivo ou Negativo	$V_{medida} - V_{par1}$
$\Delta 2$	Numérico Positivo ou Negativo	$V_{medida} - V_{par2}$

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Uma vez definidos os cenários, as análises exploratórias procedem-se da seguinte forma: estudo da matriz de correlação entre as variáveis explicativas e a variável dependente, velocidade, a fim de identificar se alguma delas não tinha correlação significativa entre si e, portanto, prejudicar a análise; gerar um modelo de regressão múltipla para verificar quais das variáveis apresentavam relevância estatística significativa para explicar a variável dependente velocidade; por fim, a significância estatística das variáveis explicativas levantadas será testada por meio do teste estatístico da Análise de Variância (ANOVA) de um fator. A ANOVA de um fator analisa os dados de duas ou mais amostras e verifica se a hipótese de que as amostras são de uma mesma população é atendida. O uso da ANOVA baseia-se nas premissas de que as distribuições populacionais são normais e têm a mesma variância. Caso as premissas da ANOVA não sejam verificadas, outros testes que não possuam essas restrições serão analisados e aplicados, como o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* utilizado por Valenti et. al. (2010). Importante destacar que a ANOVA ou o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, se for o caso, só serão usados para o teste entre a velocidade e intensidade.

Por conseguinte, propõem-se também a determinação dos vários parâmetros de estatística descritiva (tamanho amostral, média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, gráficos de distribuição acumulada, variados percentis) para caracterizar as amostras dos variados cenários. Além disso, realizar-se-ão testes de probabilidade entre os cenários,

partindo da hipótese nula de normalidade amostral, e realizando o teste de hipótese bicaudal  $t$ , com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a igualdade das médias a hipótese nula ( $H_0$ ). Atrelado a isso, também investiga-se a relação de duas variáveis pareadas entre si com a velocidade a partir do teste estatístico ANOVA de dois fatores, que se propõe a explicar se, por exemplo, intensidade e tipo de veículo podem influenciar ou não, em conjunto, a velocidade. O uso da ANOVA de dois fatores também se baseia nas premissas de que as distribuições populacionais são normais e têm a mesma variância. Importante ressaltar que para esse estudo da influência de duas variáveis ao mesmo tempo sobre a velocidade, as premissas também serão testadas, porém, em caso de não verificação, a análise seguirá adiante, devido à falta de outros testes semelhantes do tipo não paramétricos e por admitir-se que ainda sim ela pode ser robusta aos resultados.

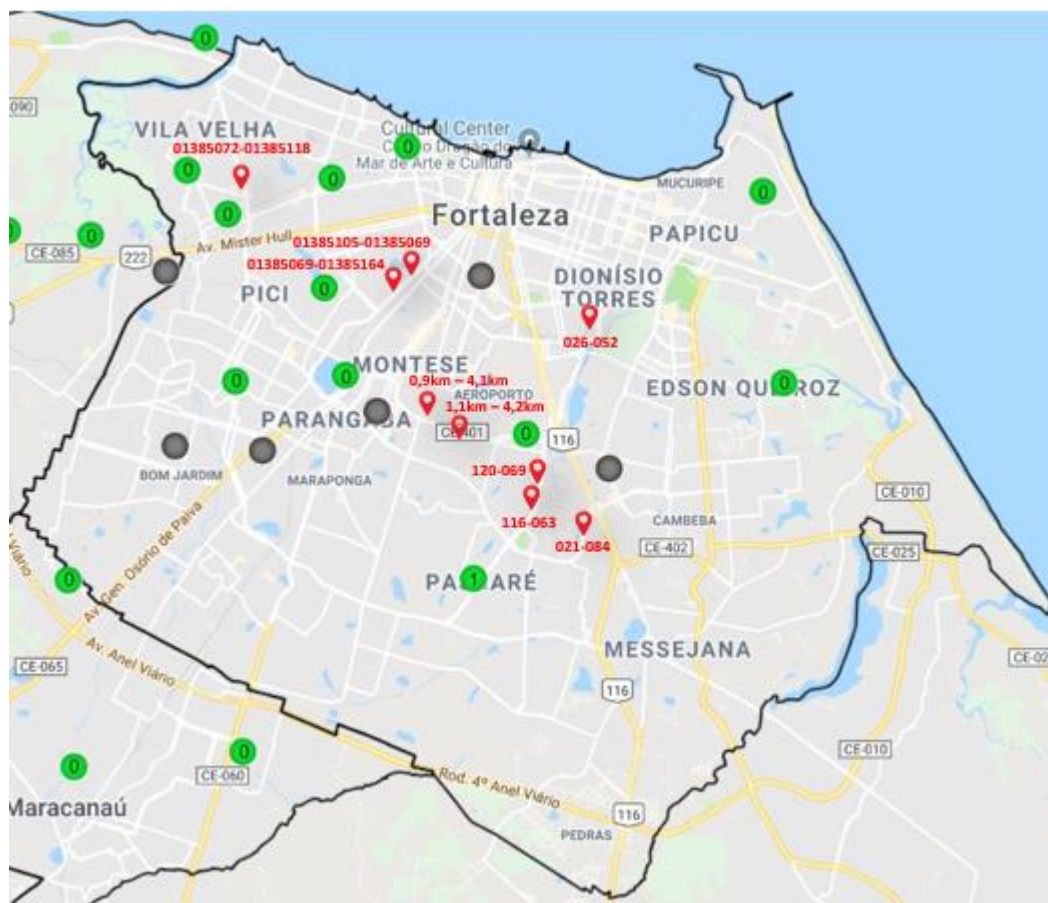
Os resultados obtidos serão plotados e exibidos em forma de gráficos (histogramas, distribuição acumulada, *boxplots*) a fim de que se possa também realizar uma análise visual e facilite na percepção dos resultados obtidos das análises exploratórias das variáveis.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Seleção dos trechos arteriais ininterruptos

Seguindo a metodologia proposta no item 3.1, foram definidos 9 pares de aparelhos de fiscalização espalhados pela cidade de Fortaleza, e que tivessem pelo menos um posto pluviométrico em um raio de até 5 km do par a ser avaliado. A Figura 9 localiza cada par no mapa de Fortaleza, assinalados em vermelho, enquanto que em verde estão destacados os postos pluviométricos automáticos do Cemaden.

Figura 9 - Mapa da localização dos equipamentos de fiscalização utilizados



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Observa-se que os pares escolhidos estão bem espalhados pela cidade, o que pode incorporar uma heterogeneidade em relação à condição atmosférica e ao processo de condução. Além disso, destaca-se que, num universo de 274 aparelhos de fiscalização, o número definido dos que foram avaliados representa menos que 10%, grande parte devido a não presença de

corredores arteriais em Fortaleza com características de possuírem aparelhos de fiscalização subsequentes. Os trechos entre os pares, em muitos casos, eram demasiado extensos, apresentando sinais semafóricos entre eles, o que, conforme elucida o item 3.1, acaba por excluir esse trecho da análise.

É importante destacar também que as informações disponibilizadas pelo CTAFOR tinham três bases de dados referentes a três empresas diferentes responsáveis pelos aparelhos, Atlanta (AT), MOBIT (T) e Fotossensores (FS). Por contrato, os relógios dos aparelhos de cada empresa devem estar sincronizados com base no Observatório Nacional (ON). Entretanto, à medida que a metodologia proposta no item 3 foi implementada, notaram-se discrepâncias nas velocidades coletadas pelos aparelhos de fiscalização quando a análise era feita para diferentes empresas. Assim, isso acabou sendo outro limitante na delimitação dos pares, pois cada par tinha que, obrigatoriamente, pertencer a um determinado grupo, embora tivessem trechos arteriais notados que atendiam às determinações definidas no item 3.1, porém, por apresentarem as discrepâncias evidenciadas de não haver uma de sincronia dos relógios marcadores das passagens dos veículos, e visando também a mitigar os possíveis erros advindos dessa dessincronização, esta filtragem por empresas foi mais uma etapa realizada no processo de implementação da metodologia proposta no estudo.

Como descrito, nove pares seguiram na análise, sendo quatro pares de responsabilidade da Fotossensores, 084/021, 120/069, 063/116 e 026/052; e cinco pares de responsabilidade da MOBIT, 01385118/01385072, 01385105/01385069, 01385069/01385164, e os dois localizados na Avenida Senador Carlos Jeiresatti, CE 401, cujos códigos de referência são ST02085494/ST02085494 e ST02085495/ ST02085497. A Figura 10, a seguir, exemplifica cada par estudado, apresentando uma visão geral da localização de cada um, bem como imagens do campo de visão individual, o que proporciona a verificação das características físicas de cada corredor arterial estudado.

Figura 10 - Localização específica dos pares de radares fixos avaliados: (a) Av. Dep. Paulino Rocha; (b) e (c) Av. Alberto Craveiro; (d) Av. Coronel Carvalho; (e) e (f) Av. José Bastos; (g) Av. Almirante Henrique Sabóia; (h) e (i) Av. Senador Carlos Jeiresatti



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)





(g)



(h)



(i)

Fonte: Adaptada *Google Earth Pro* (2018).

## 4.2 Consolidação dos bancos de dados

Os anos de pluviosidade ficaram restritos a 2014 e 2015, totalizando 434 observações de chuva, ou seja, 434 horas em que foram registradas algum tipo de pluviosidade acima de 1 mm/h. Foram avaliados os dados pluviométricos de oito postos automáticos, identificados segundo *website* do Cemaden em: Antônio Bezerra e Antônio Bezerra2, em relação ao par 01385118/01385072; AC Parangaba, Panamericano e Parangaba referentes aos pares 01385105/01385069, 01385069/01385164; Passaré, referente aos pares 084/021, 120/069, 063/116; e Dias Macedo, referente aos pares 026/052, ST02085494/ST02085496 e ST02085495/ ST02085497.

Com as horas identificadas de pluviosidade aparente, filtraram-se os dados de fiscalização eletrônica referentes aos pares associados a cada posto identificado anteriormente. Com a rotina desenvolvida em *python*, as observações de veículos de cada aparelho de fiscalização foram organizadas e agrupadas por placa alfanumérica identificada no sistema de detecção. Importante destacar que os veículos que não foram detectados por algum dos aparelhos, ou seja, sua identificação de placa estava nula, até este ponto, ainda não foram descartados da análise, pois estes serão importantes na estimação do fluxo veicular referente à hora da precipitação.

## 4.3 Estimação dos perfis de velocidade

Com o banco de dados de fiscalização eletrônica filtrados e organizados, tem-se como produto final até este ponto todas as observações dos aparelhos definidos para o estudo separadas por hora. Assim, conforme delimita-se no item 3.5, o fluxo veicular, para ser considerado em situação de fluxo livre, será de até 300 veic/h/faixa. Os horários observados, portanto, que tinham esse fluxo veicular limitante foram: de 21h00 às 05h59, de 09h00 a 10h59 e de 15h00 a 16h59, por serem a faixa horária que satisfizeram o limite atribuído para admitir a situação de fluxo livre.

O número de horas de pluviosidade acima de 1 mm/h foi reduzido de 434 observações para 241, estas por serem identificadas como horas em que o corredor arterial estava em regime de fluxo livre. A estimação dos perfis de velocidade veiculares se procedeu fazendo a divisão entre a distância aferida entre o par de radares em metros, valores resumidos

na Tabela 6, e o tempo medido entre a passagem do veículo pelo primeiro aparelho e o segundo aparelho, em segundos. Para o período seco, por contemplar um maior número de observações, procurou-se selecionar aleatoriamente o mesmo número de horas de precipitação medida para a classe de condição seca.

Tabela 6 - Distâncias medidas entre cada par de radares fixos avaliados

<b>Par 1</b>	<b>Par 2</b>	<b>Distância em metros</b>
FS 021	FS 084	588
FS 063	FS 116	610
FS 069	FS 120	632
01385118	01385072	727
01385069	01385105	1181
01385069	01385164	971
FS 026	FS 052	1048
ST02085494	ST02085496	3200
ST02085495	ST02085497	3100

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

#### **4.4 Análise exploratória comparativa dos diversos cenários**

Os resultados serão apresentados conforme análises estatísticas entre os diversos cenários definidos no item 3.6.

##### **4.4.1 Análises de correlação e regressão linear múltipla entre os cenários**

Levando-se em conta os cenários definidos no item 3.6, realizou-se a análise de correlação entre as variáveis para identificar se alguma variável teria forte relação com alguma outra definida nos diversos cenários. Essa etapa é importante para evitar usar-se duas variáveis que tenham o mesmo caráter explicativo ao mesmo tempo. O critério utilizado para definir-se que duas variáveis apresentavam alta correlação foi um valor maior ou igual a 0,7. Com a base na Tabela 7, dos valores encontrados da matriz de correlação, fica evidente que nenhuma delas apresenta alta correlação entre si.

O maior valor encontrado de correlação foi 0,52 entre as variáveis  $\Delta 1$  e  $\Delta 2$ , o que se explica por serem referentes a locais de mesma característica geométrica, as medições serem muito próximas temporalmente, tratem-se dos mesmos condutores e dos mesmos dispositivos de fiscalização, além de ambos serem relacionados à diferença entre a velocidade aferida no

trecho avaliado e a velocidade instantânea captada pelo aparelho de fiscalização eletrônica, ou seja, exercem o mesmo papel explicativo. Quando analisadas as variáveis explicativas em relação à velocidade, variável definida como dependente, nota-se que tanto a Intensidade quanto o Veículo apresentaram grau de correlação negativo, o que indica que, para intensidade, à medida que aumenta a pluviosidade, valor 3, a velocidade tende a diminuir. Adiante, há de se notar que para os veículos há o mesmo comportamento, pois presume-se que as velocidades para os veículos leves (0) são maiores do que os pesados (1).

Investigadas as outras variáveis, há indícios de que as velocidades aumentam, grau de correlação positivo, quando avaliados o Turno e o Dia, indicando que os motoristas desenvolvem maiores velocidades em horários de madrugada, valor 3, e em finais de semana, valor 1.

Tabela 7 - Matriz de Correlação entre as variáveis

	<i>Velocidade</i>	<i>Local</i>	<i>Intensidade</i>	<i>Turno</i>	<i>Dia</i>	<i>Veículo</i>	$\Delta 1$	$\Delta 2$
<i>Velocidade</i>	1.00							
<i>Intensidade</i>	-0.15	-0.20	1.00					
<i>Turno</i>	0.10	0.08	-0.08	1.00				
<i>Dia</i>	0.09	0.02	-0.10	0.09	1.00			
<i>Veículo</i>	-0.14	-0.02	0.01	0.06	-0.07	1.00		
$\Delta 1$	0.59	0.48	-0.18	0.08	0.03	-0.01	1.00	
$\Delta 2$	0.51	0.25	-0.16	0.08	0.05	-0.07	0.52	1.00

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Realizando uma regressão múltipla entre as variáveis explicativas e a velocidade, com o coeficiente independente diferente de zero, notou-se que todas as variáveis estudadas apresentaram valor-p inferior a 5%, o que ratifica que todas elas são estatisticamente significativas para explicarem mudanças na velocidade (Tabela 8). Além disso, conforme apresentado anteriormente, os coeficientes de Intensidade e Veículo também apresentaram valores negativos, o que aumentam os indícios de que essas variáveis têm comportamentos inversamente proporcionais à velocidade. Importante destacar que o coeficiente de Veículo foi bastante alto, quando comparado aos outros, o que indica que esta variável apresenta peso significativo na variável dependente, ou seja, veículos pesados tendem a desenvolver velocidades consideravelmente menores do que os veículos de passeio.

Tabela 8 - Resultados da Regressão Linear múltipla entre as variáveis

	<i>Coefficientes</i>	<i>Valor-p</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>Observações</i>
<i>Intercepto</i>	51.90	0.00		
<i>Intensidade</i>	-0.19	0.00		
<i>Turno</i>	0.37	0.00		
<i>Dia</i>	0.82	0.00	0.433	54059
<i>Veículo</i>	-4.94	0.00		
<i>Δ1</i>	0.45	0.00		
<i>Δ2</i>	0.26	0.00		

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Analisando o modelo como o um todo, ou seja, pelo seu valor de  $R^2$  (0,433), significa dizer que ele explica, aproximadamente, 43% das variações nos valores observados da velocidade. Como o trabalho não visa à apresentação de modelos explicativos de previsão da velocidade, mas sim avaliar a influência que cada uma das variáveis definidas exerce sobre ela, os resultados obtidos na regressão foram importantes para entender melhor a relação entre elas, e para mostrar quais as variáveis influenciavam a velocidade, assim, estabelecendo as bases para que, a partir desse ponto, fossem olhados os cenários combinando-as.

#### 4.4.2 *Análise exploratória Intensidade x Velocidade*

A Tabela 9 mostra os resultados dos parâmetros da estatística descritiva resumidos. Nota-se o decréscimo da média das velocidades entre as intensidades, porém, em valores muito pequenos, sendo a máxima diferença encontrada entre o ambiente seco e chuva intensa, de apenas 3,38 km/h. Além disso, o 1º Quartil, Mediana e 3º Quartil também seguem essa diminuição à medida que intensidade da chuva aumenta, porém, semelhantes às diferenças entre as médias, a valores bem pequenos.

Tabela 9 - Resumo da análise exploratória das amostras classes de intensidade

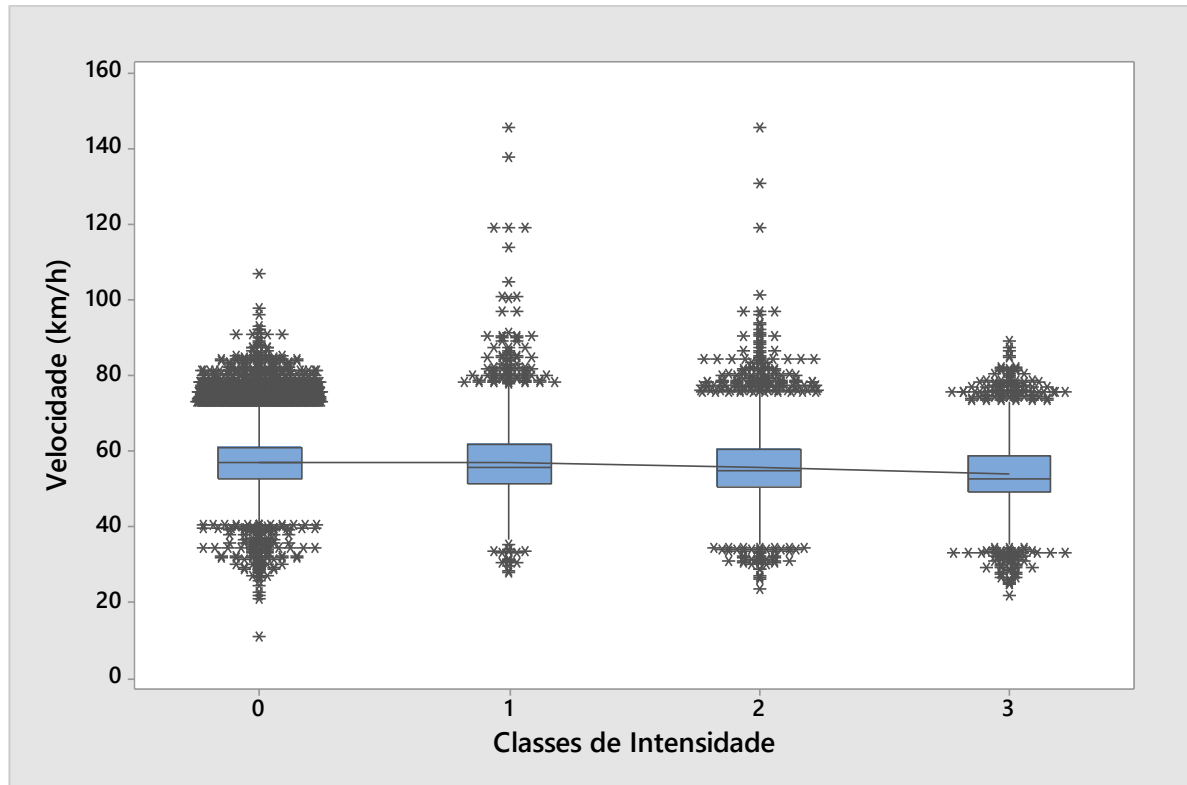
<i>Intensidade</i>	<i>N° de Observações</i>	<i>Média</i>	<i>Sd</i>	<i>Variância</i>	<i>Mín</i>	<i>1° Quartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>3° Quartil</i>	<i>Máx</i>
0	32504	57,25	6,87	47,16	11,1	52,91	56,88	61,0	106,7
1	5122	57,01	8,39	70,41	28,2	51,63	55,71	60,94	145,4
2	9715	55,63	8,31	69,11	23,8	50,4	54,86	60,48	145,4
3	6718	53,87	7,27	59,71	21,8	49,22	52,92	58,8	89,30

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Figura 11, em formato *boxplot*, evidencia a diferença de velocidades à medida que a intensidade também muda. Nota-se que as velocidades decrescem quando a intensidade da pluviosidade aumenta, evidenciado pela linha em movimento decrescente que liga as médias de cada classe no gráfico. Essa diferença não fica tão evidente quando comparados os cenários

de chuva leve (1) e ambiente seco (0), o que pode ser explicado por serem classes de intensidade muito semelhantes entre si, com uma diferença de apenas 2 mm/h entre elas.

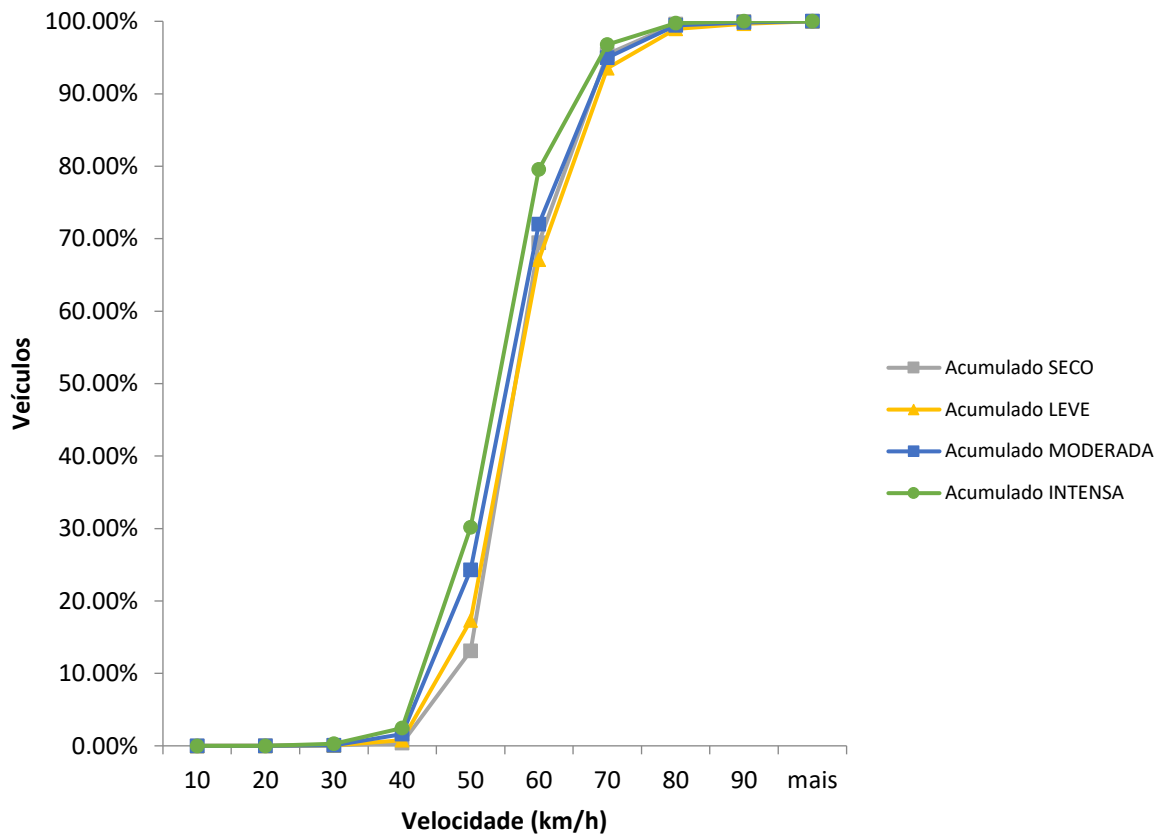
Figura 11 - Gráfico de *boxplot* das velocidades em diferentes intensidades de chuva



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Outra forma de representar o comportamento das velocidades é em forma de gráfico de distribuição acumulada, conforme apresentado na Figura 12. Nota-se que a curva de chuva intensa sempre fica mais à esquerda das demais, indicando que os motoristas desenvolvem velocidades menores nessa intensidade. Pode-se inferir também, até à velocidade de 65 km/h, que as curvas estão apresentadas da seguinte forma: seco mais à direita do que leve e moderada, respectivamente. Em velocidades maiores que essa, estas três curvas se confundem e fica difícil, visualmente, notar-se alguma diferença entre elas.

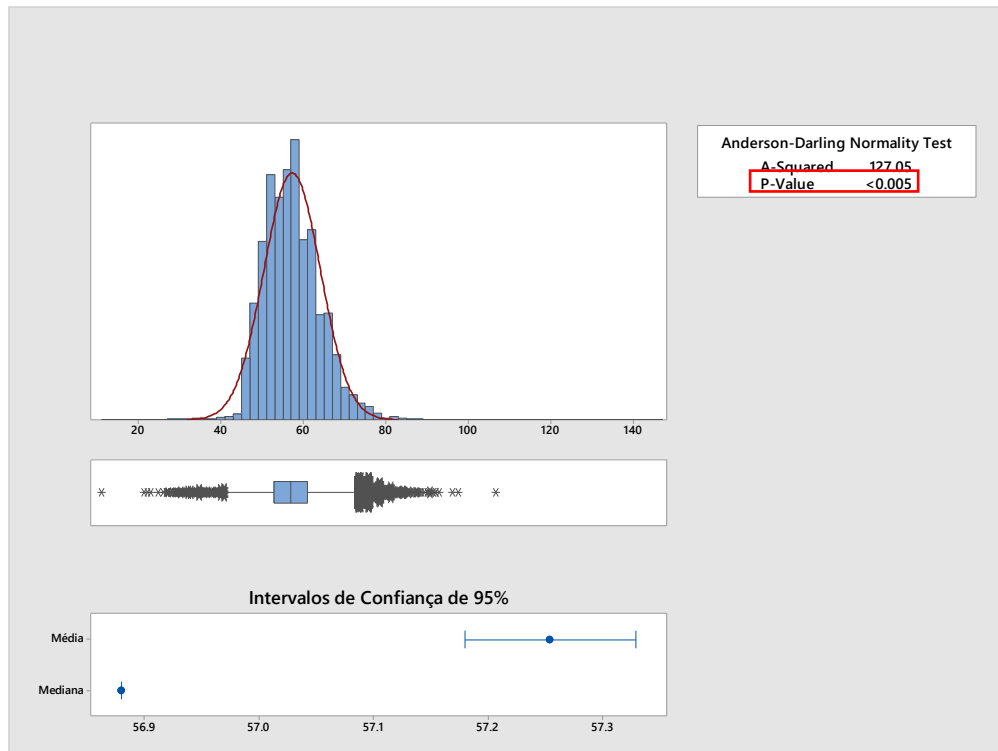
Figura 12 - Distribuição percentual acumulada para as diferentes classes de intensidade



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Seguindo a metodologia elucidada no item 3.6, também realizaram-se testes para verificação das premissas para uso da ANOVA, a fim de complementar a análise exploratória com um estudo estatístico dos cenários avaliados. O primeiro teste consiste em verificar se a distribuição das quatro intensidades segue a distribuição normal, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de que a distribuição estudada segue normal. Os testes de normalidade do tipo Anderson-Darling foram feitos para os quatro tipos de intensidade, com resultados obtidos semelhantes ao apresentado na Figura 13, o que se leva a inferir que em todas as amostras houve significância estatística para rejeitar a hipótese nula, visto que o valor-p em todos os testes deram inferior a 0,05. Assim, como uma premissa já não foi verificada, fica inviabilizado o uso da análise estatística ANOVA.

Figura 13 - Teste de Normalidade da Distribuição para Intensidade 0



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Conforme explicado no item 3.6, se alguma das premissas para uso da ANOVA não fosse respeitada, seria realizado o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, mais uma vez com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, onde a hipótese nula é de que todas as medianas avaliadas são iguais. A Tabela 10 resume os resultados obtidos a partir do *software* Minitab. Podem ser inferidas informações importantes, primeiramente, de que a hipótese nula de igualdade das medianas pode ser rejeitada, visto o valor-p encontrado ser inferior a 0,05. Além disso, analisando o ranking das médias, quanto maior o valor nesta coluna, maiores são os valores de velocidades encontrados, o que se revela o resultado esperado, visto que o ranking aumenta à medida que a intensidade da chuva diminui. Concomitante a esse ranking, o valor-z revela que quanto maiores e positivos os valores, mais as observações são maiores e mais distantes da média geral, enquanto que valores negativos e menores, a média das observações é cada vez menor em relação à média geral. Para esse valor, nota-se que a chuva intensa apresentou menor valor negativo em relação à moderada, o que ratificam as menores velocidades para esse grau de intensidade, enquanto que o seco, um valor-z muito maior, indica maiores velocidades atribuídas a essa classe, quando comparadas à média entre os grupos.



Tabela 10 - Teste de *Kruskal-Wallis*: Velocidade x Intensidade

<i>Intensidade</i>	<i>Nº de Observações</i>	<i>Mediana</i>	<i>Ranking das médias</i>	<i>Z</i>
0	32504	56,88	28699,6	30,55
1	5122	55,71	27588,8	2,69
2	9715	54,86	24992,6	-14,21
3	6718	52,92	21472,2	-31,19
		H = 1396, 29	DF = 3	<b>P = 0,000</b>
		H = 1397, 09	DF = 3	<b>P = 0,000</b> (ajustado para valores iguais)

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Aprofundando a análise exploratória, realizou-se o teste-t para verificação se a diferença entre as médias seria confirmada. Repetindo-se o grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de igualdade das médias, não assumindo igualdade das variâncias e considerando que ambas são amostras independentes, foram encontrados os valores resumidos na Tabela 11. Foi verificado que a hipótese nula de igualdade das amostras pode ser rejeitada, visto que, entre os grupos 1, 2 e 3, o valor-p encontrado foi menor que 0,05. Entretanto, analisando as intensidades seco (0) e leve (1) não houve evidência estatística para rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias, o que indica que a influência de condições de pluviosidade leve não tenha grande impacto sobre o comportamento de condução dos motoristas. Estes resultados vão na mesma linha de raciocínio do teste de *Kruskal-Wallis*, apontando diferenças estatisticamente significativas entre as amostras, embora este tenha indicado para a não igualdade das medianas, enquanto que o teste-t rejeitou a hipótese nula de igualdade das médias.

Tabela 11 - Teste-t entre os grupos de intensidade

<i>Teste</i>	<i>Nº de Observações</i>	<i>Média</i>	<i>Sd</i>	<i>Valor-p</i>
0 vs 1	32504; 5122	57,25; 57,01	6,87; 8,39	<b>0,051</b>
1 vs 2	5122; 9715	57,01; 55,63	8,39; 8,31	0,000
2 vs 3	9715; 6718	55,63; 53,87	8,31; 7,73	0,000

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

#### 4.4.3 *Análise exploratória Intensidade x $\Delta 1$ e $\Delta 2$*

As variáveis  $\Delta 1$  e  $\Delta 2$  correspondem às diferenças medidas entre as velocidades dos pares de radares estudados e as velocidades instantâneas capturadas pelos aparelhos de fiscalização eletrônica. Como o objetivo do trabalho é o estudo a respeito do comportamento de condução veicular frente às adversidades climáticas, é importante também ser realizada essa

avaliação de quanto o motorista porventura reduz diante da fiscalização eletrônica e se há diferenças nessas reduções variando as intensidades de pluviosidade.

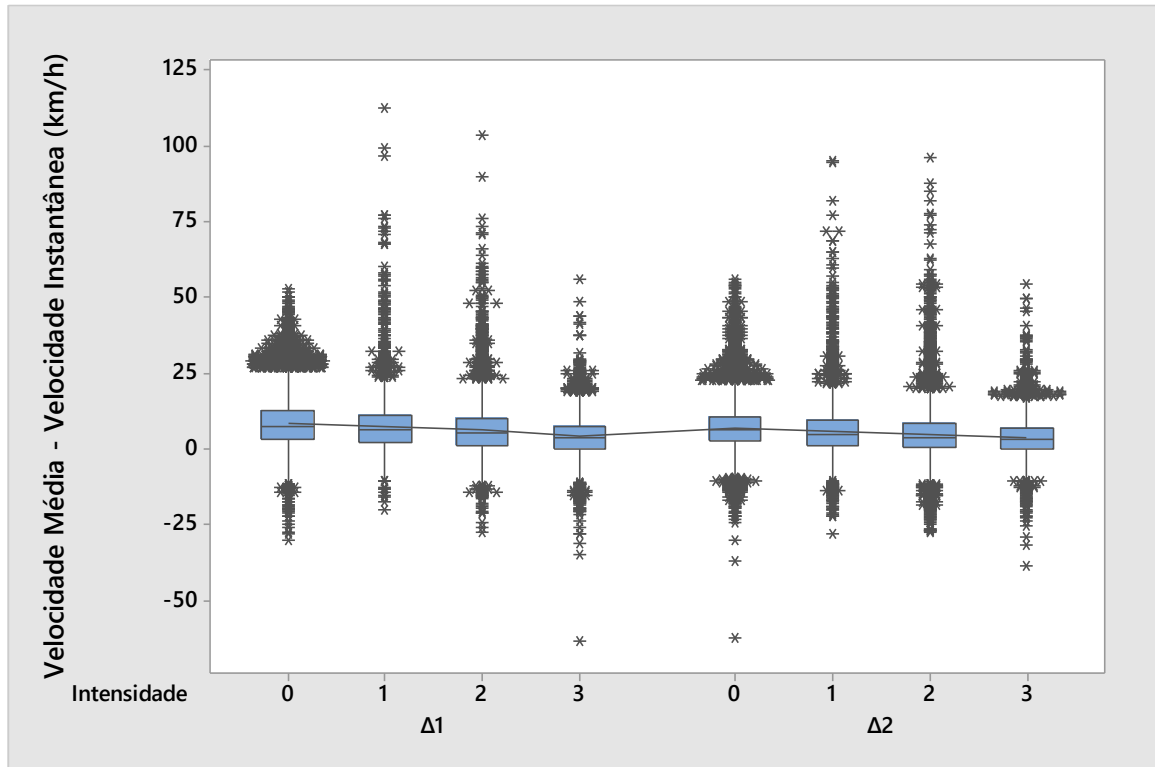
A Tabela 12 mostra os resultados dos parâmetros da estatística descritiva resumidos. Nota-se o decréscimo da média dos  $\Delta$  à medida que as intensidades aumentam, destacando um decréscimo levemente maior do  $\Delta 1$  (4,22 km/h) em relação ao evidenciado no  $\Delta 2$  (3,40 km/h), o que também foi notado na Figura 14. Além disso, o 1° Quartil, Mediana e 3° Quartil também seguem essa diminuição à medida que intensidade da chuva aumenta, seguindo o mesmo grau de grandeza às diferenças entre as médias, sendo as maiores diferenças evidenciadas nos 3° Quartis, para  $\Delta 1$  de 4,91 km/h e para  $\Delta 2$  de 3,85 km/h.

Tabela 12 - Resumo da análise exploratória das amostras dos  $\Delta$

Variável	Intensidade	N° de Observações	Média	Sd	Variância	Mín	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Máx
$\Delta 1$	0	32504	8,32	7,78	60,5	-30,4	2,92	7,17	12,5	52,7
	1	5122	7,34	8,50	72,3	-20,1	2,28	6,11	10,8	112,8
	2	9715	6,23	8,38	70,3	-27,4	1,11	5,11	10	103,4
	3	6718	4,10	6,71	44,9	-63,6	0,11	3,4	7,59	56,1
$\Delta 2$	0	32504	6,82	7,13	50,8	-62,5	2,4	6,02	10,48	55,9
	1	5122	6,00	8,74	76,4	-28,3	1,21	4,92	9,27	95,4
	2	9715	4,71	8,63	74,5	-27,4	0,20	3,70	8,14	96,4
	3	6718	3,42	6,29	39,5	-38,8	-0,31	3,02	6,63	54,4

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Figura 14, em formato *boxplot*, evidencia de forma visual essa diferença dos  $\Delta$  à medida que a intensidade também muda. Nota-se que eles decrescem quando a intensidade da pluviosidade aumenta, vide a linha em movimento decrescente que liga as médias de cada classe de intensidade por grupo de variável,  $\Delta 1$  e  $\Delta 2$ , no gráfico. Nota-se uma queda levemente mais acentuada da linha referente a  $\Delta 1$ , enquanto que a correspondente a  $\Delta 2$ , apresenta também decréscimo, porém de uma forma mais suave.

Figura 14 - Gráfico de *boxplot* dos  $\Delta$  para diferentes intensidades de chuva

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Por fim, realizou-se o teste-t para verificação se a diferença entre as médias entre os grupos seria confirmada. Com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de igualdade das médias, não assumindo igualdade das variâncias e considerando que ambas são amostras independentes, foram encontrados os valores resumidos na Tabela 13. Para todas as comparações entre os grupos, assumindo igualdade das médias como hipótese nula, foram encontradas evidências estatísticas, valor-p menor que 0,05, para se rejeitá-la, assim, indicando que todas as médias diferem entre si, dentro do grupo discretizado de cada variável ( $\Delta 1$  e  $\Delta 2$ ).

Tabela 13 - Teste-t entre os  $\Delta$  para os diferentes grupos de intensidade

Variável	Teste	Nº de Observações	Média	Sd	Valor-p
$\Delta 1$	0 vs 1	32504; 5122	8,32; 7,34	7,78; 8,50	0,000
	1 vs 2	5122; 9715	7,34; 6,23	8,50; 8,38	0,000
	2 vs 3	9715; 6718	6,23; 4,10	8,38; 6,71	0,000
$\Delta 2$	0 vs 1	32504; 5122	6,82; 6,00	7,13; 8,74	0,000
	1 vs 2	5122; 9715	6,00; 4,71	8,74; 8,63	0,000
	2 vs 3	9715; 6718	4,71; 3,42	8,63; 6,29	0,000

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

#### 4.4.4 Análise exploratória Intensidade x Veículo

As análises exploratórias a partir dessa seção serão conduzidas agrupando variáveis independentes duas a duas em relação à velocidade. Neste item, investigou-se a possível relação entre a velocidade, intensidade da chuva e o tipo de veículo. A Tabela 14 mostra os resultados dos parâmetros da estatística descritiva resumidos. Nota-se o maior decréscimo entre as médias dos veículos leves, 3,37 km/h, quando comparado ao decréscimo dos veículos pesados, de 2,80 km/h. Além disso, é possível identificar que para os veículos pesados a velocidade média das observações coletadas foi menor para intensidade 2 do que para a 3, sugerindo um comportamento atípico e diferente do conferido para os veículos de passeio, o qual o decréscimo seguiu-se proporcional ao aumento da intensidade da pluviosidade aferida. É possível notar também que as velocidades máximas dos veículos de passeio foram muito superiores aos do grupo dos veículos pesados.

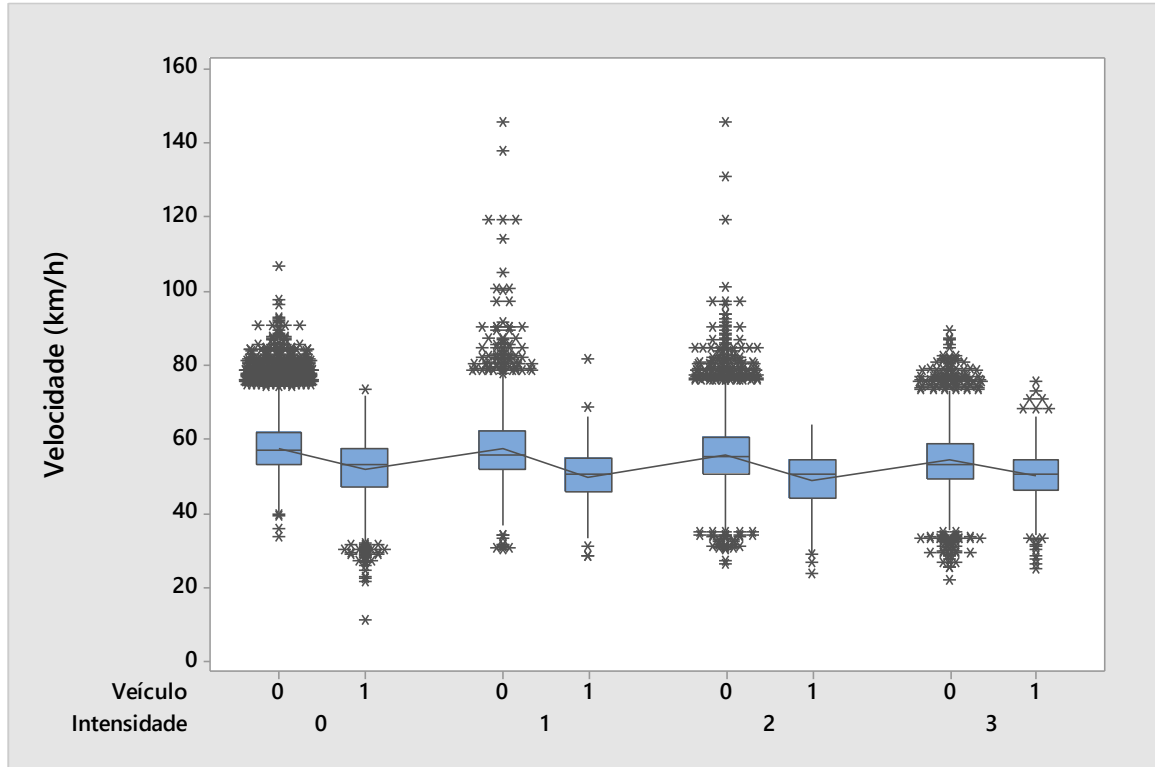
Tabela 14 - Resumo da análise exploratória das amostras entre tipos de veículos

Veículo	Intensidade	N° de Observações	Média	Sd	Variância	Mín	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Máx
0	0	31328	57,47	6,69	44,8	33,4	52,9	56,9	61,9	106,7
	1	5028	57,2	8,32	69,1	29,9	51,6	55,7	61,5	145,4
	2	9516	55,78	8,26	68,2	26,4	50,4	55,2	60,5	145,4
	3	6337	54,10	7,67	58,9	21,8	49,2	53,1	58,8	89,3
1	0	1176	51,5	8,66	74,9	11,1	47,1	52,9	57,2	73,4
	1	94	49,5	9,02	81,4	28,2	45,7	50,4	54,6	81,4
	2	199	48,7	8,10	65,7	23,8	44,1	50,4	54,3	63,8
	3	381	50,0	7,58	57,5	24,9	46,0	50,4	54,3	75,6

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Figura 15, em formato *boxplot*, deixa claro de forma visual uma clara diminuição da velocidade quando comparados veículos de passeio (0) com os veículos pesados (1), para todas as classes de intensidades. Dentro dos grupos de intensidade, corroborado pela tabela 14, notam-se diferenças da mesma ordem de grandeza, 6,9 km/h, em média, para as intensidades 0, 1 e 2, enquanto que para as chuvas intensas (3), a decréscimo na velocidade foi menor, 4,1 km/h.

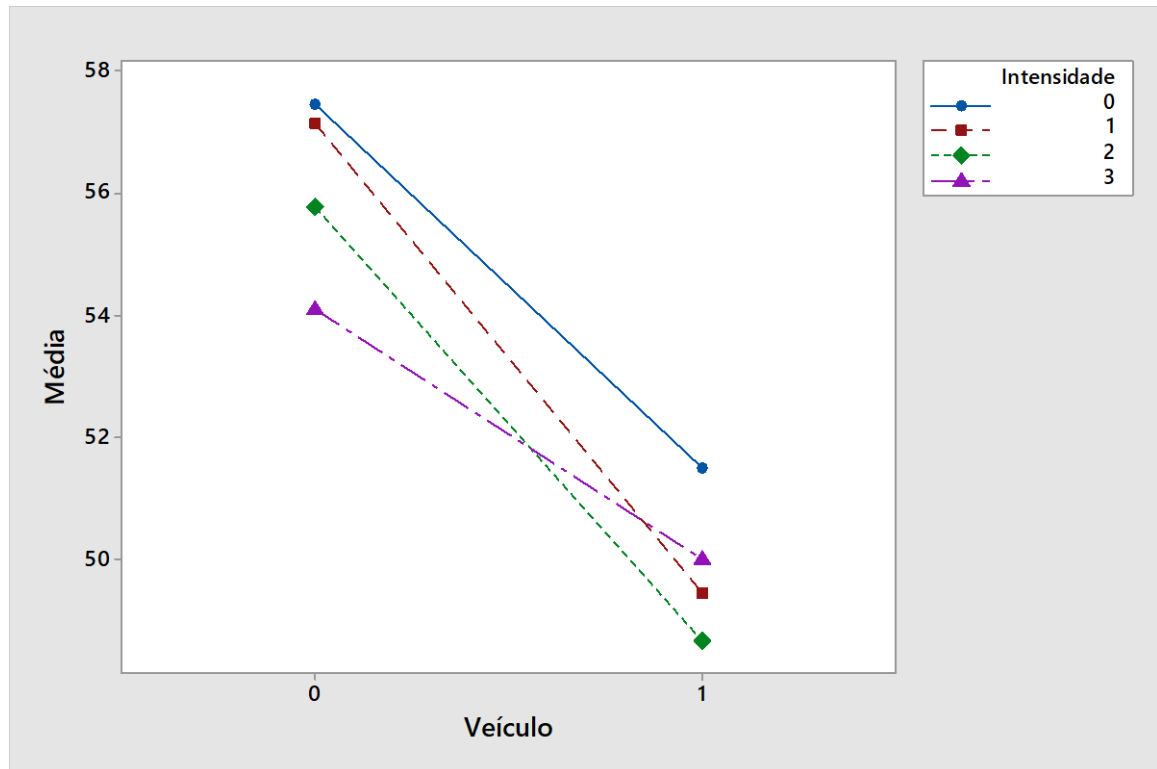
Figura 15 - Gráfico de *boxplot* da relação intensidade de chuva e tipo de veículo



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Avaliando a Figura 16, que representa o grau de interação das variáveis, nota-se, também de forma visual, que a diferença de velocidade é mais acentuada para as intensidades 1 e 2, vide as retas estarem quase paralelas entre si, e menos acentuada para chuvas intensas (3), já que a inclinação da reta é notadamente mais suave do que as outras três intensidades de chuva. Ademais, é visto que, para os veículos pesados, as reduções das intensidades, leve, moderada e intensa, estão muito próximas e não seguem o mesmo padrão dos veículos de passeio, o que leva a crer que os condutores dos veículos pesados são mais sensíveis à presença de chuva, sem relevância das intensidades.

Figura 16 - Gráfico resultado da interação intensidade e tipo de veículo



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Conforme elucidado na seção 3.6, foram feitos testes para saber se as amostras estudadas seguem distribuição normal. Os resultados dos testes de Anderson-Darling, semelhante aos executados no item 4.4.2, estão resumidos na Tabela 15. Com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de que a distribuição estudada segue normal, foi verificada evidência estatística em todos os testes para rejeição da hipótese nula, tendo em vista em nenhum teste o valor-p ter sido superior a 0,05.

Tabela 15 - Resumo dos testes de normalidade das amostras entre tipos de veículos

Veículo	Intensidade	Valor-p
0	0	<0,005
	1	<0,005
	2	<0,005
	3	<0,005
1	0	<0,005
	1	0,024
	2	<0,005
	3	<0,005

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

O teste da ANOVA de dois fatores, embora com evidências estatísticas de que nenhuma amostra seguisse normal, foi feito, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, estando resumido na Figura 17. As variáveis Intensidade e Tipo de Veículo tanto individualmente

quanto agindo ao mesmo tempo (Intensidade\*Veículo) apresentaram significância estatística de influência nas velocidades, tendo em vista o valor-p encontrado ser menor que 0,05 para os três casos testados.

Figura 17 - Resumo dos resultados do teste ANOVA *two-factor* entre intensidade e tipo de veículo

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Intensidade	Fixed	4	0, 1, 2, 3
Veículo	Fixed	2	0, 1

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intensidade	3	8449	2816.2	52.41	0.000
Veículo	1	31419	31418.7	584.73	0.000
Intensidade*Veículo	3	1744	581.2	10.82	0.000
Error	54051	2904276	53.7		
Total	54058	3039407			

Fonte: Adaptada de Minitab (2016).

#### 4.4.5 Análise exploratória Intensidade x Perfil do Dia

A Tabela 16 mostra os resultados dos parâmetros da estatística descritiva resumidos. A média de aumento das velocidades médias das intensidades 0, 1 e 3 entre os dias aos finais de semana (1) para os dias de semana (0) foi de apenas 0,97 km/h, enquanto que a redução, evidenciada para a intensidade 2, foi de apenas 0,5 km/h. Esta inversão de comportamento não é notada quando analisados os 3º Quartis, onde todos os valores são maiores para os dias aos finais de semana, muito embora essa variação também seja muito pequena, média de 0,5 km/h de aumento.

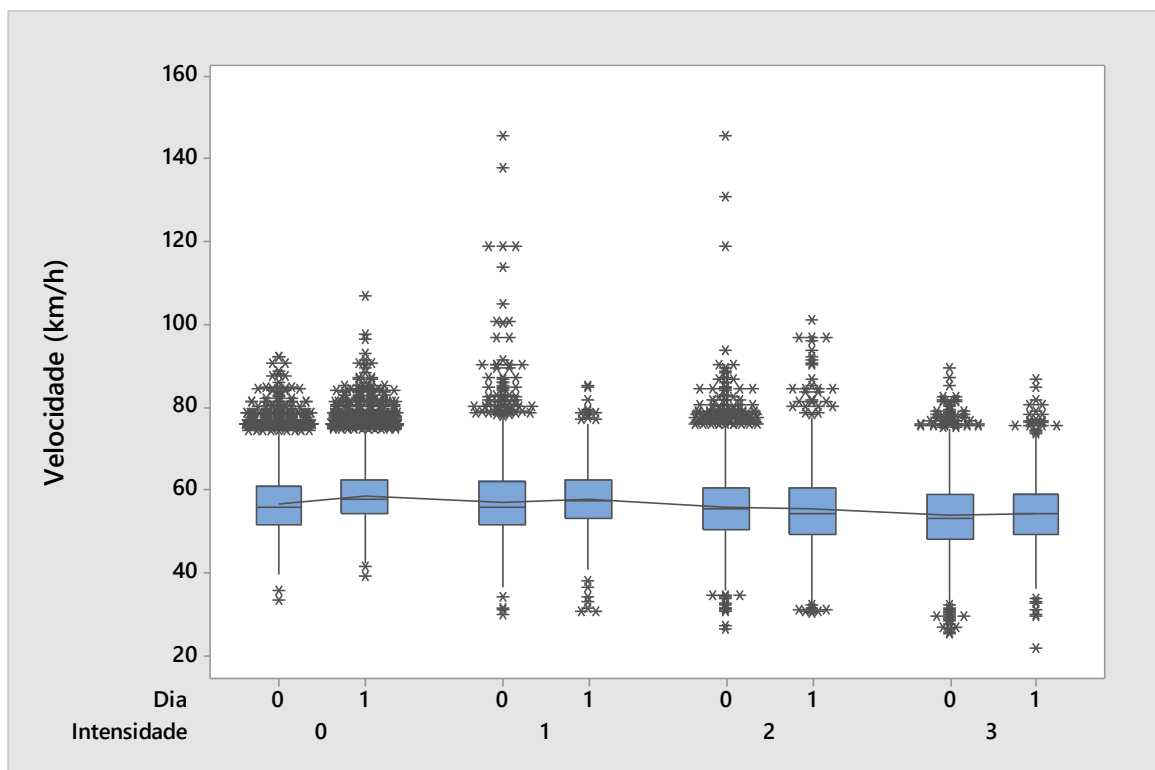
Tabela 16 - Resumo da análise exploratória das amostras dos perfis do dia para veículos leves

Perfil do dia	Intensidade	N° de Observações	Média	Sd	Variância	Mín	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Máx
0	0	18729	56,7	6,49	42,1	33,4	51,7	55,7	60,6	92,2
	1	4131	57,1	8,53	72,8	29,9	51,6	55,7	61,9	145,4
	2	7149	55,9	8,14	66,2	26,4	50,4	55,4	60,5	145,4
	3	4163	53,9	7,98	63,7	25,2	48,1	52,9	58,8	89,3
1	0	12599	58,6	6,85	46,9	39,3	54,2	57,8	62,3	106,7
	1	897	57,6	7,20	51,9	30,7	52,9	57,2	62,3	85,3
	2	2367	55,4	8,60	73,9	30,2	49,2	54,3	60,5	101,1
	3	2174	54,4	7,05	49,7	21,8	49,2	54,3	58,8	86,6

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Figura 18, em formato *boxplot*, não deixa muito claro visualmente qualquer evidência de influência que o dia, seja dia de semana, seja final de semana, tenha sobre a velocidade. Analisando a Figura 19, é possível inferir que para as intensidade 0, 1 e 3, aos finais de semana, as velocidades dos veículos são maiores, enquanto que para a intensidade 2, houve uma suave inversão nos resultados, apresentando uma maior velocidade média para os dias da semana.

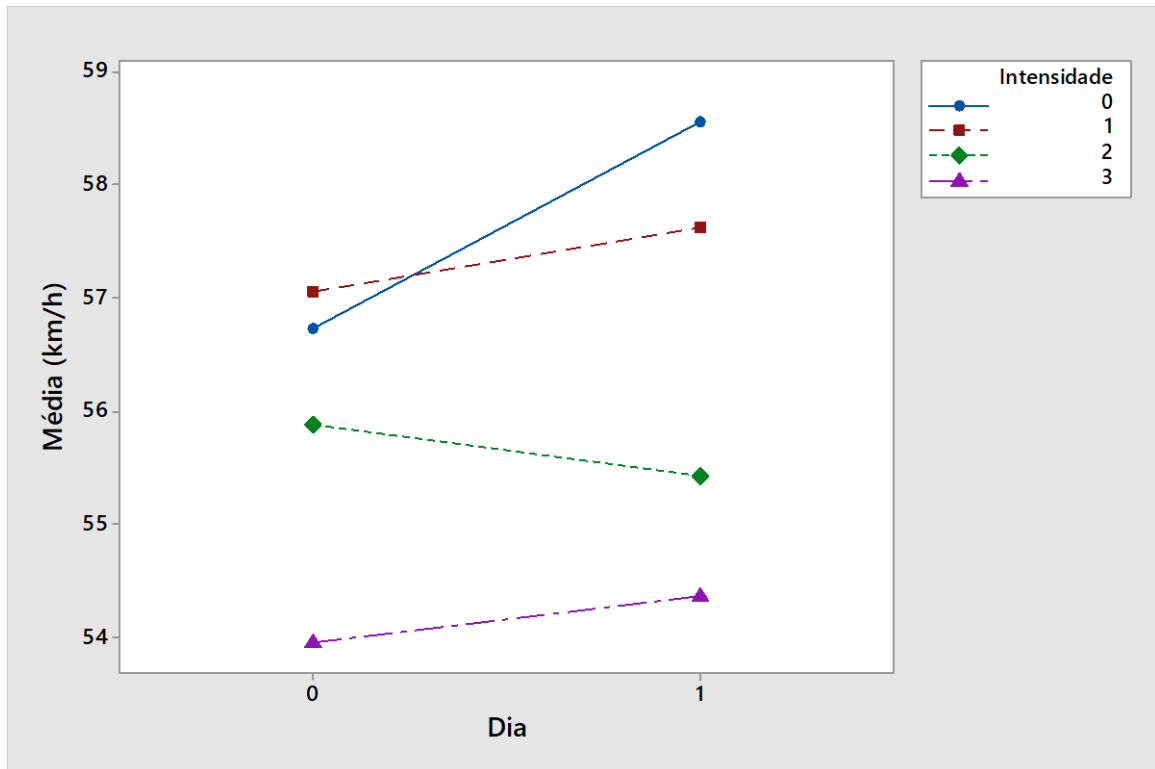
Figura 18 - Gráfico de *boxplot* da relação intensidade de chuva e perfil do dia para veículos de passeio



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).



Figura 19 - Gráfico resultado da interação intensidade e perfil do dia para veículos de passeio



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Os resultados dos testes de Anderson-Darling, teste de normalidade para as amostras dos veículos de passeio, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de que a distribuição estudada segue normal, indicaram haver evidências estatísticas em todos os testes para rejeição da hipótese nula, tendo em vista em nenhum teste o valor-p ter sido superior a 0,05.

Seguindo com o teste da ANOVA de dois fatores, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, resumido na Figura 20, mostrou que as variáveis Intensidade e Perfil do Dia tanto individualmente quanto agindo ao mesmo tempo (Intensidade\*Dia) apresentaram significância estatística de influência nas velocidades dos veículos de passeio, tendo em vista o valor-p encontrado ser menor que 0,05 para os três casos testados, embora não se tenha verificada uma influência clara visualmente quando analisadas as Figuras 18 e 19.

Figura 20 - Resumo dos resultados do teste ANOVA *two-factor* entre intensidade e perfil do dia para veículos de passeio

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Intensidade	Fixed	4	0, 1, 2, 3
Dia	Fixed	2	0, 1

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intensidade	3	71057	23685.6	449.94	0.000
Dia	1	1988	1987.7	37.76	0.000
Intensidade*Dia	3	9002	3000.7	57.00	0.000
Error	52201	2747966	52.6		
Total	52208	2844298			

Fonte: Adaptada de Minitab (2016).

Analisando dessa vez os veículos pesados, Tabela 17, nota-se que os comportamentos sofrem muitas variações, por exemplo, as velocidades médias não decrescem quando se aumenta a intensidade, além disso, quando se averiguam os perfis dos dias, as velocidades são 3,4 km/h, em média, maiores nos dias de semana para intensidade 1, 2 e 3, enquanto que a 0 foi 2,3 km/h menor em comparação com os dias aos finais de semana. Os 1° e 3° Quartis também apresentam esse mesmo comportamento das médias, de velocidades maiores para os dias da semana nas intensidade 1, 2 e 3, e o inverso para os dias sem pluviosidade.

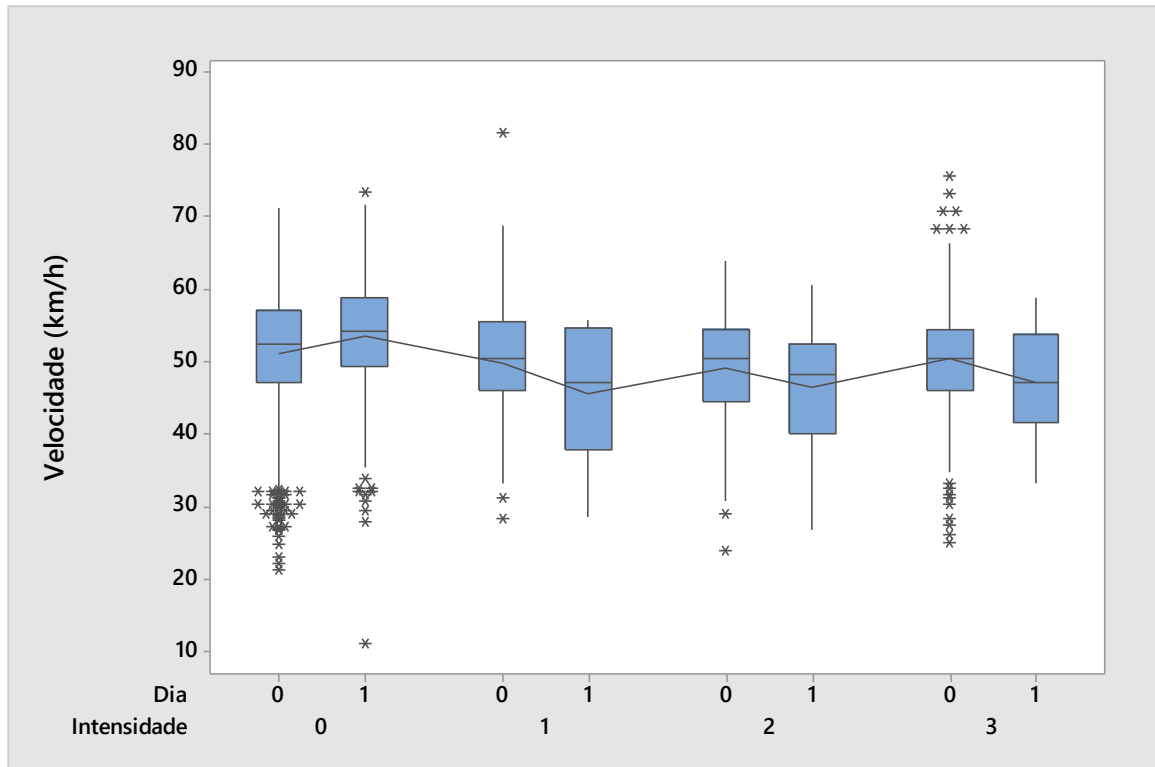
Tabela 17 - Resumo da análise exploratória das amostras dos perfis do dia para veículos pesados

Perfil do dia	Intensidade	N° de Observações	Média	Sd	Variância	Mín	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Máx
0	0	928	51,0	8,61	74,1	21,3	47,0	52,4	56,9	71,1
	1	88	49,7	8,96	80,2	28,2	46,0	50,4	55,3	81,4
	2	174	49,0	7,87	61,9	23,8	44,3	50,4	54,3	63,8
	3	352	50,3	7,56	57,1	24,9	46,0	50,4	54,3	75,6
1	0	248	53,3	8,60	74,0	11,1	49,2	54,2	58,8	73,4
	1	6	45,6	9,97	99,3	28,6	37,7	47,1	54,6	55,7
	2	25	46,3	9,42	88,7	26,7	40,0	48,1	52,3	60,5
	3	29	46,9	7,33	53,8	33,1	41,5	47,0	53,6	58,8

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

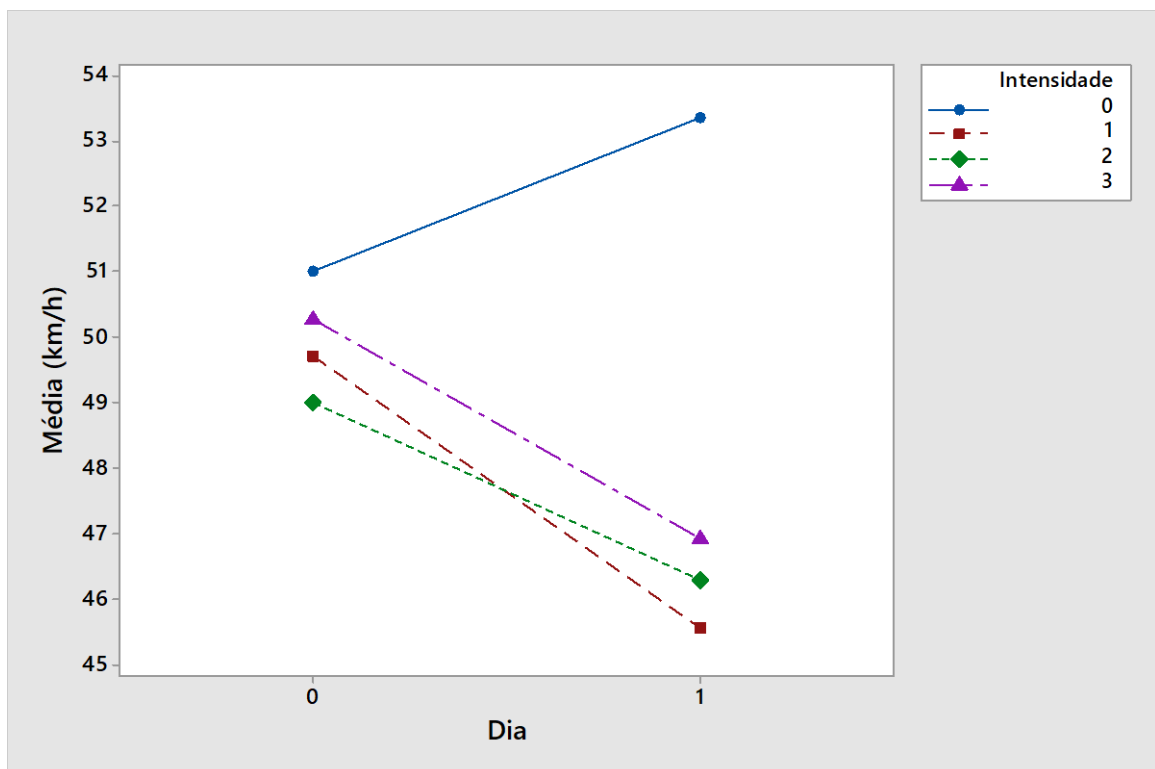
A Figura 21, em formato *boxplot*, deixa claro, visualmente, esse comportamento antagônico ao evidenciado pelos veículos de passeio. A linha que liga as médias dos grupos mostra esse comportamento, reforçada pela representação da Figura 22, onde deixa claro que para as intensidades 1, 2 e 3 o grau de diminuição é muito similar, enquanto que a 0 a reta apresenta um inclinação totalmente inversa.

Figura 21 - Gráfico de *boxplot* da relação intensidade de chuva e perfil do dia para veículos pesados



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Figura 22 - Gráfico resultado da interação intensidade e perfil do dia para veículos pesados



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Os resultados dos testes de Anderson-Darling, teste de normalidade para as

amostras dos veículos de passeio, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de que a distribuição estudada segue normal, tiveram resultados indicando evidência estatística em quase todos os testes para rejeição da hipótese nula, tendo em vista em nenhum teste o valor-p ter sido superior a 0,05, à exceção das amostras de intensidades 1, 2 e 3 dos finais de semana, que, conforme apresentado na Tabela 17, foram as amostras com menor número de observações.

O teste da ANOVA de dois fatores, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, resumido na Figura 23, mostrou que apenas as variáveis Intensidade, individualmente, e Intensidade\*Dia apresentaram significância estatística de influência nas velocidades dos veículos pesados, tendo em vista o valor-p encontrado ser menor que 0,05. A variável Dia isolada não apresentou significância estatística de influência, pois o valor-p foi maior que 0,05. Estes resultados são compreensíveis, pois ficou claro visualmente, segundo as Figuras 21 e 22, que as velocidades realmente se comportam de forma diferente entre os dois perfis de dias, variadas as intensidades, o que corrobora o nível de significância da variável Intensidade\*Dia. A não significância da variável isolada Dia se deve, possivelmente, ao comportamento muito inverso para a intensidade 0, que acabou rejeitando-a de uma possível influência quando analisada sozinha.

Figura 23 - Resumo dos resultados do teste ANOVA *two-factor* entre intensidade e perfil do dia para veículos pesados

#### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Intensidade	Fixed	4	0, 1, 2, 3
Dia	Fixed	2	0, 1

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intensidade	3	2848	949.48	13.58	0.000
Dia	1	233	233.17	3.33	0.068
Intensidade*Dia	3	1295	431.72	6.17	0.000
Error	1842	128816	69.93		
Total	1849	132326			

Fonte: Adaptada de Minitab (2016).

#### 4.4.6 Análise exploratória Intensidade x Turno do Dia

Esta seção será referente à última análise feita, dessa vez estudando-se a possível relação conjunta das intensidades das chuvas e dos turnos dos dias. A Tabela 18 mostra os resultados dos parâmetros da estatística descritiva resumidos. Conforme falado anteriormente, as velocidades médias ficaram evidentemente maiores para os turnos da noite e madrugada, com exceção da intensidade 2 e 0. Porém, a diferença notada foi muito pequena, de 0,01 km/h para intensidade 2 e 0,02 km/h para intensidade 0. As maiores diferenças de velocidade ficaram para intensidades 1, tarde para noite, e para intensidade 2, manhã para noite, ambas de 4,5 km/h.

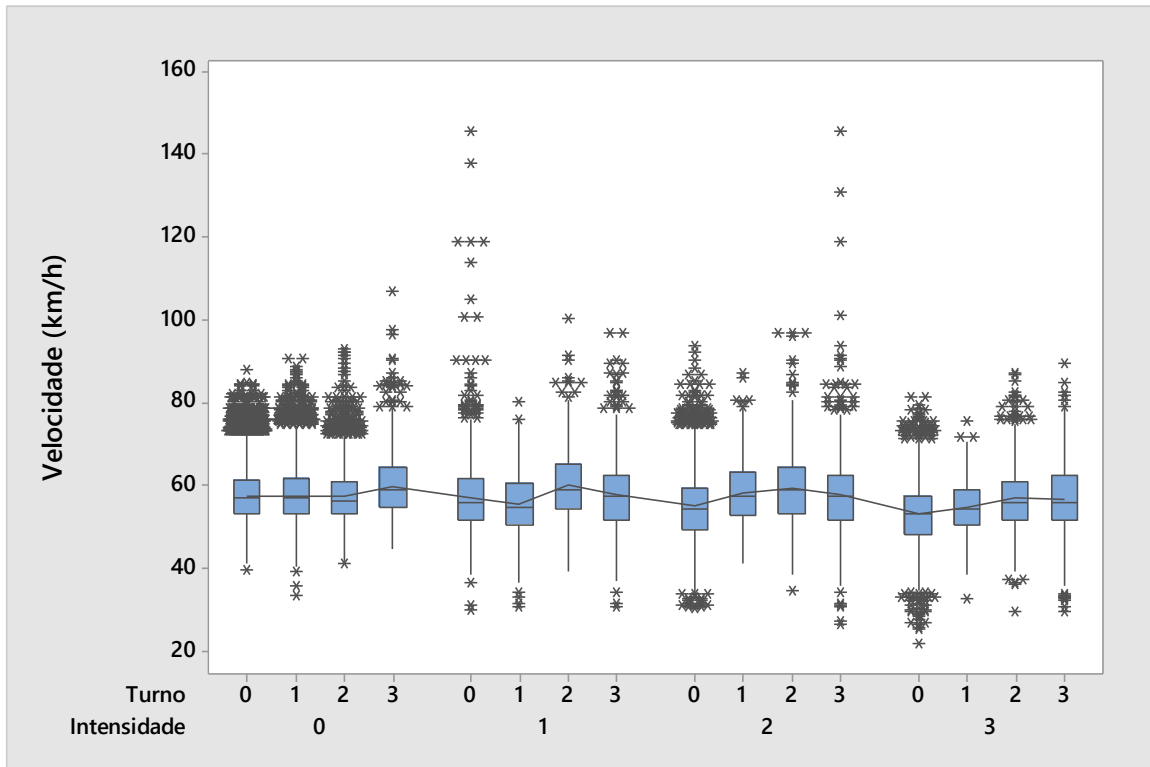
Tabela 18 - Resumo da análise exploratória das amostras dos turnos do dia para veículos de passeio

Intensidade	Turno do dia	N° de Observações	Média	Sd	Variância	Mín	1° Quartil	Mediana	3° Quartil	Máx
0	0	12165	57,4	6,61	43,6	39,7	52,9	56,9	61,0	87,7
	1	12872	57,3	6,62	43,8	33,4	52,9	56,9	61,5	90,7
	2	4499	57,1	6,65	44,1	41,0	52,9	56,3	60,6	92,9
	3	1792	59,7	7,51	56,4	44,6	54,5	59,0	64,1	106,7
1	0	2449	56,9	8,43	71,1	29,9	51,6	55,7	61,4	145,4
	1	915	55,5	6,94	48,2	30,7	50,4	54,6	60,5	80,0
	2	620	60,0	8,49	72,1	39,2	54,3	58,8	65,1	100,2
	3	1044	57,6	8,58	73,5	30,7	51,6	57,2	62,3	96,9
2	0	6831	54,8	7,69	59,2	30,2	49,2	54,3	59,4	93,5
	1	992	57,9	8,02	64,3	41,0	52,6	57,3	63,1	87,3
	2	531	59,3	9,23	85,2	34,7	52,9	58,8	64,1	96,9
	3	1162	57,8	9,89	97,8	26,4	51,6	57,2	62,3	145,4
3	0	4325	53,0	7,27	52,9	21,8	48,1	52,9	57,2	81,1
	1	319	54,6	6,24	38,9	32,6	50,4	54,3	58,8	75,6
	2	961	56,8	7,86	61,7	29,4	51,6	55,7	60,9	87,3
	3	732	56,7	8,76	76,8	29,4	51,5	55,7	62,3	89,3

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

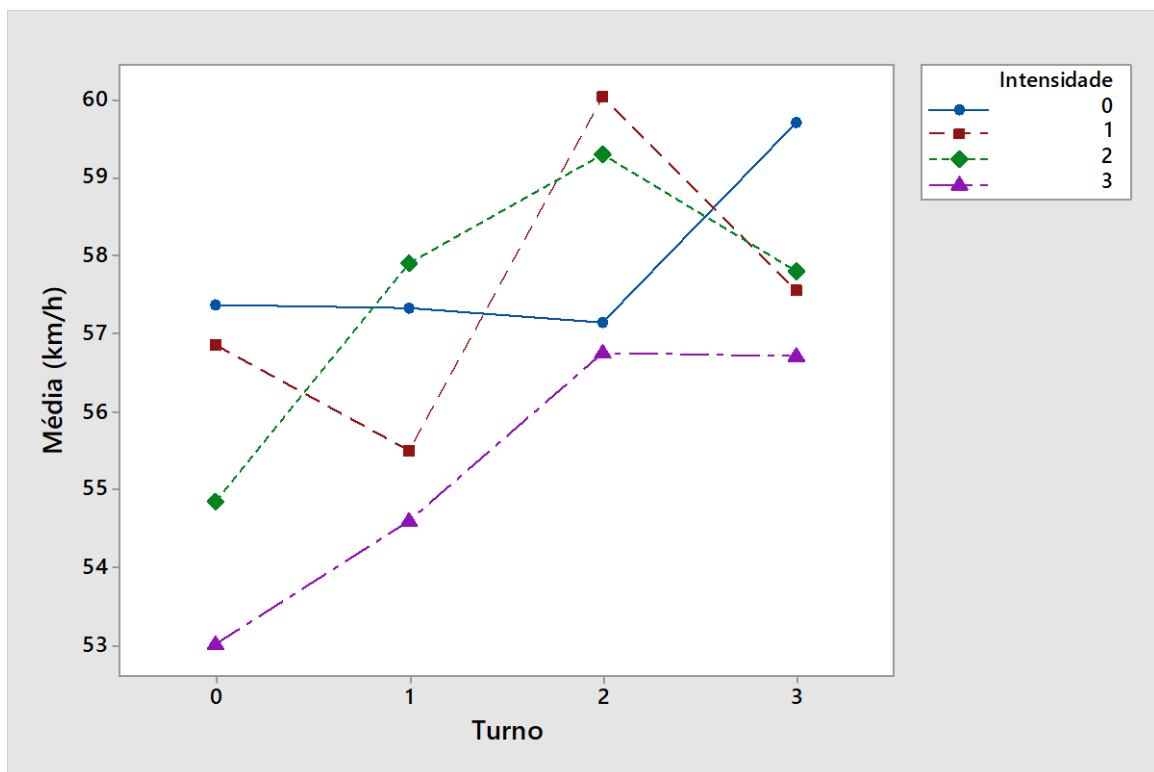
A Figura 24, em formato *boxplot*, nota-se para as intensidades 1, 2 e 3, as retas que ligam as médias seguindo a forma de um arco, indicando maiores velocidades nos turnos noturno (2) e de madrugada (3), enquanto que para a intensidade 0, a reta aproxima-se de um comportamento horizontal até o turno 2, saltando para o turno 3 com uma inclinação positiva evidente. A Figura 25 mostra de maneira mais clara exatamente o que foi dito anteriormente, velocidades médias maiores para noite e madrugada das intensidade 1, 2 e 3, sendo a 2, com um valor para madrugada levemente inferior ao da tarde (1). E a intensidade 0, com comportamento semelhante à intensidade 2, porém a velocidade menor em relação à tarde é a referente ao turno da noite.

Figura 24 - Gráfico de *boxplot* da relação intensidade de chuva e turno do dia para veículos de passeio



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Figura 25 - Gráfico resultado da interação intensidade e turno do dia para veículos de passeio



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Na Figura 25, também é possível notar que as velocidades, quando analisadas

apenas as intensidades, não possuem o padrão atestado no item 4.4.2, já que as intensidades 1, 2 e 3 estão em constantes mudanças, com as retas cruzando umas às outras. A única intensidade que se manteve conforme esperado, a velocidades menores, foi a 3, que fica claro por apresentar uma reta sempre abaixo das demais, sem que haja qualquer cruzamento entre ela e a de alguma outra intensidade.

Os resultados dos testes de Anderson-Darling, teste de normalidade para as amostras dos veículos de passeio, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de que a distribuição estudada segue normal, indicaram evidências estatísticas, mais uma vez, em todos os testes para rejeição da hipótese nula, tendo em vista em nenhum teste o valor-p ter sido superior a 0,05.

O teste da ANOVA de dois fatores, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, resumido na Figura 26, mostrou que os três testes, Intensidade e Turno, individualmente, e Intensidade\*Turno apresentaram significância estatística de influência nas velocidades dos veículos de passeio, tendo em vista o valor-p encontrado ser menor que 0,05. Esse resultado é corroborado pelo notado grau de interação entre as variáveis exibido na Figura 25, mesmo não ficando evidente um mesmo padrão comportamental de variação quando associados turno e intensidade pluviométrica.

Figura 26 - Resumo dos resultados do teste ANOVA *two-factor* entre intensidade e turno do dia para veículos de passeio

#### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Intensidade	Fixed	4	0, 1, 2, 3
Turno	Fixed	4	0, 1, 2, 3

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intensidade	3	16394	5464.6	104.96	0.000
Turno	3	36264	12087.9	232.18	0.000
Intensidade*Turno	9	30120	3346.6	64.28	0.000
Error	52193	2717349	52.1		
Total	52208	2844298			

Fonte: Adaptada de Minitab (2016).

Analisando dessa vez os veículos pesados em relação ao turno e à intensidade da chuva, a Tabela 19 mostra que os valores das médias das velocidades são todas maiores nos turnos noite e madrugada, inclusive com diferença significativas, por exemplo, entre a manhã e madrugada dos dias de chuva intensa encontra-se um aumento de 7,5 km/h, o que corresponde

a mais de 15% de aumento. A exceção notada foi em relação à intensidade 3, entre tarde e noite, foi uma diferença quase irrisória, apenas 0,02 km/h.

Tabela 19 - Resumo da análise exploratória das amostras dos turnos do dia para veículos pesados

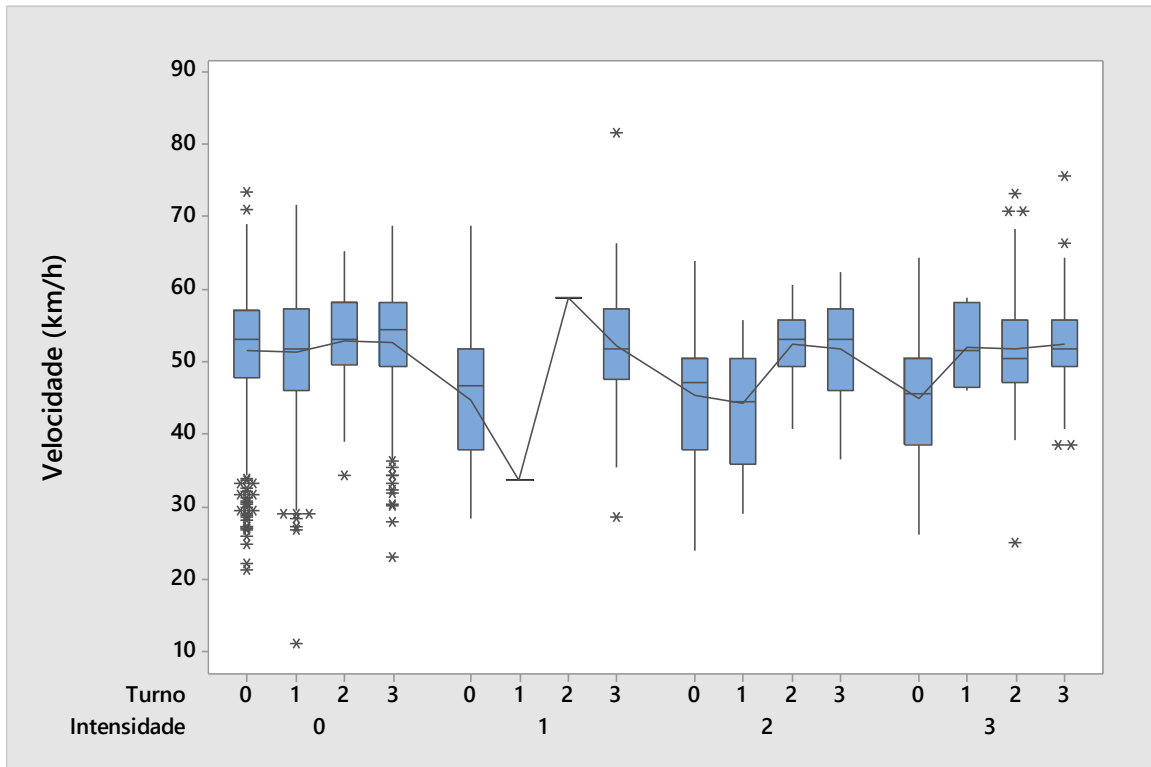
<i>Intensidade</i>	<i>Turno do dia</i>	<i>N° de Observações</i>	<i>Média</i>	<i>Sd</i>	<i>Variância</i>	<i>Mín</i>	<i>1° Quartil</i>	<i>Mediana</i>	<i>3° Quartil</i>	<i>Máx</i>
0	0	506	51,4	8,43	71,0	21,3	47,8	52,9	56,9	73,4
	1	500	51,2	8,97	80,4	11,1	46,0	51,7	57,2	71,6
	2	57	52,7	6,34	40,2	34,1	49,4	52,9	58,0	65,0
	3	113	52,7	9,20	84,6	22,9	49,3	54,3	58,1	68,6
1	0	31	44,6	8,83	78,0	28,2	37,8	46,6	51,6	68,6
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	61	52,0	7,92	62,7	28,6	47,6	51,6	57,2	81,4
2	0	87	45,3	8,90	79,2	23,8	37,8	47,0	50,4	63,8
	1	11	44,1	8,87	78,6	29,0	35,9	44,4	50,4	55,7
	2	58	52,3	4,87	23,7	40,7	49,2	52,9	55,7	60,5
	3	43	51,8	6,30	39,7	36,5	46,0	52,9	57,2	62,3
3	0	104	44,8	7,78	60,5	26,1	38,5	45,5	50,4	64,1
	1	4	51,9	6,33	40,1	46,0	46,3	51,4	58,0	58,8
	2	157	51,7	6,99	48,8	24,9	47,0	50,4	55,7	73,0
	3	116	52,3	5,83	34,0	38,5	49,2	51,6	55,7	75,6

Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

A Figura 27, em formato *boxplot*, expõe um comportamento muito próximo ao evidenciado para os veículos de passeio, com as maiores velocidades para os turnos noite e madrugada, com uma única exceção para intensidade de chuva intensa (3), em que o turno da tarde supera a velocidade de todos os outros turnos. Quando se analisa a Figura 28, nota-se uma variação também muito próxima entre as médias encontradas quando comparadas as dos veículos de passeio, já que o eixo y possui valores variando de 45 km/h a próximo de 53km/h, e o eixo de veículos leves vai de 53 km/h a 60 km/h. É importante ressaltar que não foram aferidos dados da intensidade 1 para os turnos 1 e 2, conforme foi mostrado na Tabela 19, pois não houve observações coletadas para esses grupos explicitados. Assim, é importante desconsiderar as representações dessas classes em ambas as Figuras 27 e 28.

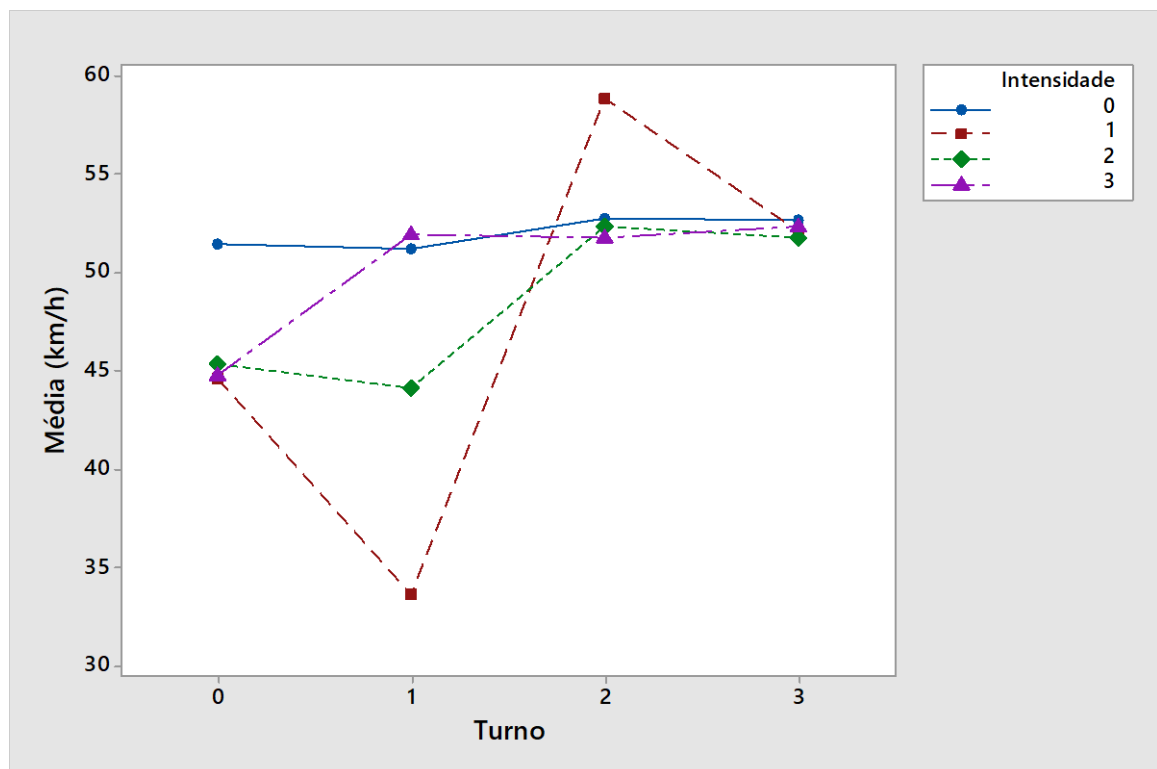


Figura 27 - Gráfico de *boxplot* da relação intensidade de chuva e turno do dia para veículos pesados



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Figura 28 - Gráfico resultado da interação intensidade e turno do dia para veículos pesados



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Os resultados dos testes de Anderson-Darling, teste de normalidade para as

amostras dos veículos de passeio, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, sendo a hipótese nula de que a distribuição estudada segue normal, apresentaram evidências estatísticas em quase todos os testes para rejeição da hipótese nula, tendo em vista em nenhum teste o valor-p ter sido superior a 0,05, à exceção das amostras de intensidade seca (0) turno 2, intensidade leve (1) turno 0, intensidade moderada (2) turnos 1 ao 3, e intensidade intensa (3) turno 1, que, conforme apresentado na Tabela 19, foram as amostras com menor número de observações.

O teste da ANOVA de dois fatores, com grau de confiança ( $\alpha$ ) de 5%, resumido na Figura 29, mostrou que os três testes, Intensidade e Turno, individualmente, e Intensidade\*Turno apresentaram significância estatística de influência nas velocidades dos veículos de passeio, tendo em vista o valor-p encontrado ser menor que 0,05. Esse resultado também ficou semelhante ao encontrado para os veículos leves, onde foi notado grau de interação entre as variáveis, porém não ficou claro um mesmo padrão comportamental de variação quando associados turno e intensidade pluviométrica.

Figura 29 - Resumo dos resultados do teste ANOVA *two-factor* entre intensidade e turno do dia para veículos pesados

#### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Intensidade	Fixed	4	0, 1, 2, 3
Turno	Fixed	4	0, 1, 2, 3

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Intensidade	3	1406	468.59	7.02	0.000
Turno	3	5079	1693.02	25.38	0.000
Intensidade*Turno	9	2762	306.89	4.60	0.000
Error	1834	122344	66.71		
Total	1849	132326			

Fonte: Adaptada de Minitab (2016).

## 5 CONCLUSÕES

Esse Trabalho de Conclusão de Curso buscou avaliar o impacto que variáveis relacionadas à condição climática chuva, atuando concomitantemente com as condições de tráfego, veículos, perfil do dia e hora do dia, exercem sobre a velocidade dos motoristas em corredores arteriais na cidade de Fortaleza.

Primeiramente, buscou-se definir os pares de aparelhos de fiscalização eletrônica para coleta dos dados de velocidade, tendo como base a localização dos postos pluviométricos automáticos do Cemaden. Tendo como base os critérios da seção 3.1, em um universo de 274 radares fixos espalhados pela cidade de Fortaleza, foram escolhidos 18, ou 9 pares, distribuídos de forma igualitária pela cidade e que fizessem parte de corredores arteriais.

Definidos os pares, foram delimitados também os cenários de estudo, para isso, foram propostos cinco grupos de variáveis: tipo de veículo, perfil do dia, intensidade pluviométrica, turno do dia e  $\Delta$ , diferença entre a velocidade medida no trecho e a velocidade instantânea captada pelo aparelho de fiscalização eletrônica. O horizonte de pesquisa foi de dois anos, 2014 e 2015, sendo o número de observações coletado de 54059 veículos, sendo, então, para cada um delimitada uma variável de cada grupo exposto anteriormente.

Foram encontradas evidências estatisticamente significativas de que a intensidade da chuva é capaz de influenciar as velocidades desenvolvidas em ambiente urbano, sendo encontrada uma diminuição de até 3,38 km/h, aproximadamente, 6% entre as médias da situação seca para a de chuva mais intensa. Isso mostra que a chuva tem influência sobre o comportamento de condução do motorista, embora não seja a valores muito altos, devido ao estudo ser em ambiente urbano, onde as características das vias e do tráfego não oferecem condições suficientes para o desenvolvimento de velocidades mais altas. O resultados ficaram muito próximos aos encontrados na literatura do capítulo 2, de redução entre 1 e 7%, encontrada por AGARWAL et al. (2006), e 2 a 9% de redução na VFL para chuvas intensas, aferida por Rakha et al. (2008).

Ficou evidenciado, também, que os motoristas reduzem em média suas velocidades, quando deparam-se com um radar fixo, em até 8,3 km/h para ambientes secos, sendo essa diferença gradativamente menor à medida que a intensidade pluviométrica aumenta, chegando a 4,10 km/h, o que indica que em chuvas mais intensas o condutor tende a se manter a uma velocidade mais constante quando comparado a momentos límpidos de chuvas.

Prosseguindo com as análises também foram verificadas influências estatisticamente significativas envolvendo a intensidade e o tipo de veículo, onde as velocidades continuavam apresentando leve diminuição à medida que a intensidade aumentava, 6% em média, o que equivale a cerca de 3,1 km/h, dentro dos grupos, e quando comparadas entre os tipos de veículos, a redução encontrada foi de até 16% para as velocidades dos veículos pesados, o que equivale a, aproximadamente, 7,7 km/h.

Quando verificadas as variáveis intensidade e perfil do dia, separadas entre cada tipo de veículos, verificou-se comportamentos antagônicos, sendo que os veículos leves apresentaram evidências estatisticamente significativas de influência do perfil do dia nas velocidades levemente maiores, 0,6 km/h, nos finais de semana. Enquanto que os veículos pesados tiveram redução aos finais de semana, em média, de 2,0 km/h. Os valores encontrados de variação ficaram próximos à faixa de grandeza de diferenças encontradas entre os cenários até então.

A última análise foi feita com base na intensidade e turnos do dia, onde também foram verificadas influências estatisticamente significativas entre as duas atuando em conjunto à velocidade veicular. Notou-se o comportamento similar entre os veículos leves e pesados, com velocidades maiores, em média, 2,2 km/h para os de passeio, e 4,6 km/h para os pesados, quando avaliadas as horas da noite e madrugada em comparação com as manhãs e tardes. Isso pode indicar que horários noturnos, ou com luminosidade baixa, os motoristas de veículos leves tendem a desenvolver maiores velocidades, talvez, por serem períodos do dia de maior probabilidade de haver condutores que tenham ingerido bebida alcoólica, o que tende a elevar os índices de velocidades maiores.

Dentre as limitações do trabalho ressaltam-se as restrições nas escolhas dos locais e do número de radares fixos definidos em função da necessidade de se observar o fluxo ininterrupto para estimação da VFL. Apesar de terem sido estimadas as velocidades médias no espaço entre os dois aparelhos, a presença dos equipamentos pode, de certa forma, influenciar o comportamento do condutor podendo reduzir a diferença entre os dois cenários. Além disso, não se podem desprezar os possíveis erros oriundos dos equipamentos de fiscalização eletrônica passíveis de registros errôneos ou dessincronizados. Ademais, por se ter três operadores distintos dos dados dos radares fixos, a análise não se expandiu ainda mais exatamente por não se ter garantia na sincronização nos relógios marcadores dos aparelhos. Possíveis trabalhos futuros deveriam focar na expansão amostral contemplando mais de uma base de aparelhos de fiscalização ao mesmo tempo e aperfeiçoar novas formas de coletar e estimar a VFL.

## REFERÊNCIAS

- AASHTO. **Highway Safety Manual**. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1st Edition, Washington DC, USA, 2010.
- AGARWAL, M.; MAZE, T. H.; SOULEYRETTE, R. **The Weather and Its Impact on Urban Freeway Traffic Operations**. In: Transportation Research Board (TRB) 85th Annual Meeting Compendium of Papers. Washington, D.C., United States of America, 2006.
- AKIN, D.; SISIOPIKU, V. P.; SKABARDONIS, A. **Impacts of Weather on Traffic Flow Characteristics of Urban Freeways in Instambul**. In: 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, v. 16, p. 89-99, 2011.
- ARCHER, J.; FOTHRINGHAM, N.; SYMMONS, M; CORBEN, B. **The Impact of Lowered Speed Limits in Urban and Metropolitan Areas**. Monash University: Accident Research Center, p. 71, 2008.
- ASAMER, J.; REINTHALER, M. **Estimation of Road Capacity and Free Flow Speed for Urban Roads Under Adverse Weather Conditions**. In: Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, Madeira Island, Portugal, 2010.
- BASSO, J. A. **Estabelecimento de Limites de Velocidade em Rodovias no Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado** – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- BILLOT, R.; EL-FAOUZI, N. E.; DE VUYST, F. **Multilevel Assessment of the Impact of Rain on Drivers' Behavior – Standarized Methodology and Empirical Analysis**. In: Transportation Research Record, No. 2107, p. 134-142, 2009.
- CALEFFI, F.; LUCCHESI, S. T.; AZANELLO, M. J.; CYBIS, H. B. B. **Influência das Condições Climáticas e de Acidentes na Caracterização do Comportamento do Tráfego em Rodovias**. TRANSPORTES, v. 24, n. 4, pp. 67-83, 2006.
- CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS. **Mapa Interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden**. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/>>. Acesso em: 07 agosto 2018.
- CHAKRABARTYA, N.; GUPTAB, K. **Analysis of Driver Behaviour and Crash Characteristics during Adverse Weather Conditions**. In: 2nd Conference of Transportation Research Group of India, v. 104, pp. 1048-1057, 2013.
- DEVORE, J. **Probability and Statistics for Engineering and the Sciences**. 8th Edition. Cengage Learning, Brooks/Cole, Massachusetts, 2010.
- GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.2.5491, 2018.
- GORALZIK, A.; VOLLRATH, M. **The effects of road, driver, and passenger presence on drivers' choice of speed: a driving simulator study**. In: World Conference on Transport

Research, v. 25, pp. 2061-2075, 2017.

GREENBERG, H. **An Analysis of Traffic Flow**. Operations Research, v. 7, pp. 78-85, 1959.

GREENSHIELDS, B. D. **A Study of Traffic Capacity**. Highway Research Board, Proceedings, v. 14, pp. 448-477, 1935.

HOU, T; MAHMASSANI, H. S.; ALFELOR, R. M; KIM, J.; SABERI, M. **Calibration of Traffic Flow Models Under Adverse Weather and Application in Mesoscopic Network Simulation**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2391, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, pp. 92-104, 2013.

HUA, C. **Comparison of Field Speed Data Collection Methods**. In: Proceedings of the 16th International Conference Road Safety on Four Continents. Beijing, China, 2013.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Estimativa de Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do Ipea** – Relatório de Pesquisa. Brasília, 2015. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7456/1/RP\\_Estimativa\\_2015.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7456/1/RP_Estimativa_2015.pdf)>. Acesso em: 23 julho 2018.

ITE. **The Traffic Safety Toolbox** – A Primer on Traffic Safety. Washington DC, Institute of Transportation Engineers, 257 p., 1993.

JIA, Y.; WU, J.; DU, Y.; QI, G. **Impacts of rainfall weather on urban traffic in Beijing: analysis and modeling**. In: 94th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, USA, p. 1-13, 2015.

KLOEDEN, C. N.; McLEAN, A. J.; MOORE, V. M.; PONTE, G. **Travelling Speed and The Risk of Crash Involvement**. Federal Office of Road Safety, report no. CR 172, 1997.

LEDUC, G. **Road Traffic Data: Collection Methods and Applications**. Joint Research Centre-Institute for Perspective Technological Studies, JRC 47967, 2008.

MAIA, F. V. B. **Calibração e Validação de Modelos de Meso e Microsimulação do Tráfego para a Avaliação de Intervenções Tático-operacionais na Malha Viária Urbana. Dissertação de Mestrado** – Departamento de Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, 2007.

MINITAB. **Guia de Introdução ao Minitab 17**. User's Guide Release 17.3.0, 2016.

OH, J. S.; SHIM, Y. U.; CHO, Y. H. **Effect of Weather Conditions to Traffic Flow on Freeway**. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 6, No. 4, pp. 413-420, 2002.

OMS - Organização Mundial da Saúde. **Global Status Report on Road Safety 2015**. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Global, p. 340, 2015.

RAKHA, H.; FARZANAHEH, M.; ARAFEH, M.; STERZIN, E. **Inclement Weather Impacts on Freeway Traffic Stream Behavior**. Transportation Research Record Journal of the

Transportation Research Board, v. 2071-02, p. 8-18, 2008.

RAO, A. M.; RAO, K. M. **Free Speed Modeling for Urban Arterials – A case Study on Delhi**. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, v. 43 (3), pp. 111-119, 2015.

ROESS, R. P.; PRASSAS, E. S.; McSHANE, W. R.. **Traffic Engineering**. Third Edition. Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, 2004.

SETTI, J. R. A. **Tecnologia de Transportes**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 214 p., 2002.

SMITH, B. L.; BYRNE, K.G.; HENNESSY, S. M.; GOODALL, N. J. **An Investigation into the Impact of Rainfall of Freeway Traffic Flow**. In: 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2004.

STUSTER, J; COFFMAN, Z.; WARREN, D. **Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Limits**. FHWA-RD-98-154, Federal Highway Administration, EUA, 1998.

TRB. **Highway Capacity Manual**. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 2010.

UNDERWOOD, R.T. **Speed, Volume and Density Relationships: Quality and Theory of Traffic Flow**. Yale Bureau of Highway Traffic, pp. 141-188, 1961.

VALENTI, G.; LELLI, M.; CUCINA, D. **A Comparative Study of Models for the Incident duration prediction**. European Transporte Research Review, v. 2, n. 2, p. 103-111, 2010.

WANG, Y.; LUO, J. **Study of Rainfall Impacts on Freeway Traffic Flow Characteristics**. In: World Conference on Transport Research, v. 25, p. 1533-1543, 2016.

WRAMBORG, P. **A New Approach to a Safe and Sustainable Road Structure and Street Design for Urban Areas**. In: Proceedings Road Safety on four Continents, Poland: Warsaw, 2005.

ZHANG, L.; COLYAR, J.; PISANO, P.; HOLM, P. **Identfying and Assessing Key Weather-Related Parameters and their Impacts on Traffic Operations using Simulation**. In: Transportation Research Board 84th Annual Meeting Compendium of Papers, USA: Washington, DC, 2005.