



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VANDEYBERG NOGUEIRA DE SOUZA

ANÁLISE DA DURAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM VIAS ARTERIAIS
DE FORTALEZA-CE

FORTALEZA

2019

VANDEYBERG NOGUEIRA DE SOUZA

ANÁLISE DA DURAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM VIAS ARTERIAIS DE
FORTALEZA-CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto.

FORTALEZA

2019

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)

- S236a Souza, Vandeyberg Nogueira de.
Análise da duração de acidentes de trânsito em vias arteriais de Fortaleza-CE / Vandeyberg Nogueira de Souza. – 2019.
84 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto.
1. Gerenciamento de tráfego. 2. Congestionamento não recorrente. 3. Acidentes de trânsito. 4. Hazard Based Model. I. Título.

CDD 388

VANDEYBERG NOGUEIRA DE SOUZA

ANÁLISE DA DURAÇÃO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM VIAS ARTERIAIS DE
FORTALEZA-CE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Aprovada em: 29/08/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos José Timbó Lima Gomes
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

A Deus.

Aos meus pais, Sebastião e Selma.

A minha esposa Thaylane.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e forças para superar as dificuldades e alcançar mais essa vitória.

Aos meus pais, Sebastião e Selma, por serem meu alicerce e por todo o apoio e incentivo durante a minha caminhada acadêmica.

A minha esposa, Thaylane, pelo seu suporte e por me presentear todos os dias com o seu amor incondicional.

Aos meus irmãos, Vanderley e Dayane, e meus sobrinhos, Carol, Davi e Vanessa por todo o apoio e brincadeiras que tornam o meu dia mais leve e divertido.

Ao professor e amigo, Francisco Moraes, por toda a orientação durante o desenvolvimento desse trabalho, pela motivação durante os momentos de desânimo e pelos conselhos e atenção ao longo desses anos de trabalho juntos.

Aos professores e secretários do DET, por me acolherem tão bem durante minha permanência no departamento, em especial aos professores da área de concentração de Planejamento e Operação de Sistema de Transportes, Felipe, Manoel, Bruno, Flávio e Moraes, pelos ensinamentos passados.

Aos avaliadores, professores Flávio Cunto e Marcos José Timbó, pela prontidão em participar das bancas de qualificação e defesa deste trabalho e por toda a contribuição fornecida.

A todos os amigos do mestrado pelos momentos felizes e descontraídos, em especial aos membros da Obredet, pelas longas e divertidas noites de trabalho em equipe, e aos amigos Eugênio e Manoel por todo auxílio durante a minha estada em Fortaleza.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Vehicles are one of the best modes of transportation. Relationships are one of the best vehicles of transformation.” – Kate McGahan

RESUMO

O impacto gerado no congestionamento urbano pelos acidentes de trânsito está fortemente correlacionado com a sua duração. Por isso, entender quais as características dessa duração e os fatores que a influenciam é de suma importância para o desenvolvimento de estratégias eficientes no controle do tráfego. Visando contribuir com essa problemática, esta pesquisa teve como objetivo geral analisar a duração de acidentes de trânsito ocorridos em vias urbanas arteriais, utilizando como estudo de caso a cidade de Fortaleza-CE. Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado um banco de dados de acidentes de trânsito ocorridos em Fortaleza, no período de 2015 a 2017, com informações, como: o horário reportado do acidente, localização, natureza, severidade e número de veículos envolvidos, entre outras. Visto que o banco de dados obtido não possui a informação sobre a duração dos acidentes, um dos objetivos específicos deste trabalho foi desenvolver um método para extrair essa informação de dados de tráfego registrados por equipamentos de fiscalização eletrônica. A partir do método desenvolvido, foi obtida uma amostra com informações de 324 acidentes de trânsito. A duração média verificada para os acidentes analisados foi de 72 minutos, com um desvio padrão de 48 minutos, indicando uma alta variabilidade na duração dos acidentes. A influência individual dos potenciais fatores explicativos da duração dos acidentes foi testada a partir da análise visual da curva de sobrevivência desses fatores e do teste não paramétrico *de Kruskal-Wallis*. Os resultados obtidos mostraram influência significativa da zona em que o acidente ocorreu (centro ou periferia), do período (pico ou fora pico), do local (interseção ou meio de quadra) e do número de veículos envolvidos. Para analisar a influência conjunta dos potenciais fatores explicativos na variabilidade da duração dos acidentes foi utilizado o modelo de regressão baseado no risco (*Hazard Based Model*) que permite estudar a probabilidade condicional de um determinado evento acabar em breve, uma vez que esse evento já durou um tempo conhecido. Os resultados obtidos mostraram a influência significativa de quatro fatores na duração dos acidentes: Zona, Período, Número de veículos envolvidos e gravidade. Sendo o número de veículos envolvidos o fator de maior impacto na duração dos acidentes. A partir dos resultados obtidos é possível levantar hipóteses como: (i) os agentes de trânsito priorizam a solução dos acidentes ocorridos no centro da cidade por essa possuir maior tráfego; (ii) o número de agentes disponíveis no horário de pico pode não ser suficiente para a demanda do horário.

Palavras-chave: Gerenciamento de tráfego. Congestionamento não recorrente. Acidentes de trânsito. Hazard Based Model.

ABSTRACT

The impact of traffic accidents on urban congestion is strongly correlated with their duration. Therefore, understanding the characteristics of this duration and the factors that influence it is extremely important for the development of efficient traffic control strategies. Aiming to contribute to this problem, this research aimed to analyze the duration of traffic accidents that occurred on arterial urban roads, using as a case study the city of Fortaleza-CE. For the development of the work was used a database of traffic accidents occurred in Fortaleza, from 2015 to 2017, with information such as: the reported time of the accident, location, nature, severity and number of vehicles involved, among others. Since the database obtained does not have information on the duration of accidents, one of the specific objectives of this work was to develop a method to extract this information from traffic data recorded by electronic surveillance equipment. From the developed method, we obtained a sample with information of 324 traffic accidents. The average duration verified for the analyzed accidents was 72 minutes, with a standard deviation of 48 minutes, indicating a high variability in the duration of the accidents. The individual influence of potential factors explaining the duration of accidents was tested by visual analysis of the survival curve of these factors and the nonparametric Kruskal-Wallis test. The results showed significant influence of the zone in which the accident occurred (center or periphery), the period (peak or off peak), the location (intersection or mid block) and the number of vehicles involved. To analyze the joint influence of the potential explanatory factors on the variability of accident duration, the Hazard Based Model was used to study the conditional probability of a given event ending soon, since this event has already lasted. a known time. The results showed the significant influence of four factors on the duration of accidents: Zone, Period, Number of vehicles involved and severity. The number of vehicles involved in the accident was the factor of greatest impact on their duration. From the results obtained, it is possible to raise hypotheses such as: (i) traffic agents prioritize the solution of accidents that occur in the city center because it has higher traffic; (ii) the number of agents available at peak hours may not be sufficient for the time demand.

Keywords: Traffic management. Non-recurrent congestion. Traffic accidents. Hazard Based Model

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fases da definição clássica da duração de um incidente de trânsito.....	20
Figura 2	– Fases da duração de um incidente de trânsito, incluindo o tempo de recuperação.....	21
Figura 3	– Comparação entre a velocidade média no dia do incidente e a distribuição de velocidade encontrada a partir de dados históricos.....	23
Figura 4	– Ajuste das distribuições de probabilidade à duração dos incidentes.....	24
Figura 5	– Distribuição da duração dos incidentes analisados.....	26
Figura 6	– Histograma da duração de ocorrências de trânsito em Fortaleza no ano de 2002.....	27
Figura 7	– Influência dos fatores na variabilidade da duração dos incidentes de trânsito.....	29
Figura 8	– Regressão linear para estimativa da duração de incidentes de trânsito.....	31
Figura 9	– Ilustração do modelo Proportional Hazards (PH).....	32
Figura 10	– Método proposto.....	37
Figura 11	– Método para a análise exploratória da duração dos acidentes e identificação dos fatores que a influenciam.....	43
Figura 12	– Etapas para o desenvolvimento da duração dos acidentes de trânsito.....	46
Figura 13	– Mapa de calor dos acidentes ocorridos em Fortaleza entre 2015 e 2017...	49
Figura 14	– Distribuição espacial dos eq. de fiscalização eletrônica.....	50
Figura 15	– Perfil de velocidade próximo ao horário de um acidente de trânsito.....	52
Figura 16	– Perfil do volume veicular próximo ao horário de um acidente de trânsito	52
Figura 17	– Perfil de velocidade de motocicletas e demais veículos próximos ao horário de um acidente de trânsito.....	53
Figura 18	– Distribuição dos acidentes e eq. de fiscalização e detalhe do buffer de distância.....	54
Figura 19	– Perfis médio e diário do volume e da proporção do volume durante um acidente.....	54
Figura 20	– Perfil de velocidade e estimativa da duração do acidente de trânsito.....	58
Figura 21	– Perfil da proporção do volume por faixa e estimativa da duração do acidente.....	58

Figura 22	– Perfil de velocidade e estimativa da duração do acidente para via com uma faixa.....	59
Figura 23	– Distribuição espacial dos acidentes de Trânsito detectados.....	61
Figura 24	– Histograma da duração dos acidentes detectados.....	62
Figura 25	– Divisão do município de Fortaleza em duas regiões.....	63
Figura 26	– Teste de normalidade da duração dos acidentes estratificada pela zona....	64
Figura 27	– Teste de mesma variância da duração dos acidentes estratificada pela zona.....	64
Figura 28	– Curvas de sobrevivência da duração dos acidentes para cada fator.....	68
Figura 29	– Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada pela gravidade e pela zona.....	70
Figura 30	– Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada pela gravidade e pelo período.....	70
Figura 31	– Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada pela gravidade para acidentes com até dos veículos envolvidos.....	71
Figura 32	– Ajuste de distribuições conhecidas à duração dos acidentes de trânsito...	72
Figura 33	– Gráfico de probabilidade do ajuste da duração dos acidentes à uma distribuição de probabilidade conhecida.....	73
Figura 34	– Curva de sobrevivência da amostra e estimada pelo modelo.....	74
Figura 35	– Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada por fatores a partir do modelo calibrado.....	77
Figura 36	– Curva de sobrevivência estratificada pelo número de veículos envolvidos no acidente.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Exemplo do banco de dados gerado.....	51
Tabela 2	– Coeficiente de variabilidade para as variáveis de tráfego.....	55
Tabela 3	– Resultado obtido no estudo piloto para os oitos cenários analisados.....	57
Tabela 4	– Estatística da amostra da duração dos acidentes em Fortaleza.....	62
Tabela 5	– Potenciais fatores explicativos da duração dos acidentes de trânsito.....	66
Tabela 6	– Matriz de correlação dos fatores explicativos da duração dos acidentes.....	69
Tabela 7	– Distribuições de probabilidade analisadas e os parâmetros que fornecem o melhor ajuste aos dados.....	72
Tabela 8	– Resultados da calibração do modelo.....	74
Tabela 9	– Valores estimados dos coeficientes do modelo e efeito desses na duração dos acidentes.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Fatores que podem influenciar a duração de incidentes de trânsito.....	28
Quadro 2	–	Estudos sobre a análise da duração de incidentes de trânsito.....	34
Quadro 3	–	Campos presentes nas planilhas obtidas dos equipamentos de FE.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	<i>Akaike Information Criteria</i>
AMC	Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania
ANOVA	Análise de Variância
CCFTV	Circuito Fechado de TV
CIOPS	Coordenadoria Integrada de Operações de Segurança
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>
CTAFOR	Controle de Tráfego em Área de Fortaleza
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
QFA	<i>Quantum-Frequency Algorithm</i>
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SIAT	Sistema de Informações de Acidentes de trânsito de Fortaleza

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização	15
1.2	Questões motivadoras	16
1.3	Definição dos objetivos.....	17
1.4	Escopo do trabalho.....	17
1.5	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Duração dos incidentes de tráfego	19
2.2	Dados sobre a duração de incidentes de trânsito.....	21
2.2.1	<i>Estudos que utilizam dados de incidentes registrados por centros de controle de tráfego</i>	21
2.2.2	<i>Estudos que agregam dados de incidentes e de tráfego</i>	22
2.3	Análise da duração de incidentes de trânsito.....	24
2.3.1	<i>Análise exploratória</i>	24
2.3.2	<i>Identificação dos fatores que influenciam a duração de incidentes de trânsito</i>	27
2.4	Modelagem da duração dos incidentes de trânsito.....	30
2.5	Considerações finais	34
3	MÉTODO	37
3.1	Coleta e tratamento dos dados	37
3.2	Algoritmo para a detecção da duração de acidentes de trânsito a partir de perfis de tráfego.....	39
3.2.1	<i>Análises das variáveis de tráfego a serem utilizadas.....</i>	39
3.2.2	<i>Desenvolvimento do algoritmo.....</i>	40
3.3	Análise exploratória da duração dos acidentes	43
3.4	Modelagem estatística	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	Extração da duração dos acidentes de trânsito de dados de tráfego registrados por equipamentos de fiscalização eletrônica.....	48
4.1.1	<i>Coleta e Caracterização dos dados.....</i>	48

4.1.2	<i>Processamento do banco de dados</i>	50
4.2	Estimativa da duração dos acidentes a partir de dados de tráfego	54
4.2.1	<i>Análise das variáveis de tráfego a serem utilizadas para detectar a duração dos acidentes</i>	54
4.2.2	<i>Estudo piloto para definição dos critérios a serem adotados para detecção da duração dos acidentes</i>	55
4.2.3	<i>Deteção dos horários dos acidentes de trânsito</i>	57
4.2.4	<i>Validação do método</i>	60
4.3	Análise exploratória da duração dos acidentes de trânsito	61
4.4	Identificação dos potenciais fatores explicativos da duração dos acidentes de trânsito	62
4.5	Modelagem da duração dos acidentes de trânsito	71
4.5.1	<i>Teste de aderência da duração dos acidentes de trânsito a uma distribuição de probabilidade conhecida</i>	71
4.5.2	<i>Calibração do modelo</i>	73
4.5.3	<i>Interpretação dos coeficientes</i>	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
5.1	Limitações e sugestões de trabalhos futuros	81
	REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a contextualização da problemática de interesse desta pesquisa, as questões que a motivaram, os seus objetivos (geral e específicos), o escopo e a estrutura do trabalho.

1.1 Contextualização

A redução do nível de congestionamento nas vias urbanas tem se mostrado um dos grandes desafios no planejamento das cidades devido a um crescimento exponencial do número de veículos motorizados individuais nas últimas décadas. Segundo Taffarel (2015), a frota de automóveis nas regiões metropolitanas do Brasil aumentou 91,6% entre 2001 e 2012, passando de 24,5 milhões para 50,2 milhões, enquanto a frota de motocicletas passou de 4,5 milhões para 19,9 milhões no mesmo período. Esse crescimento acelerado tem como consequência congestionamentos diários que impactam negativamente na movimentação de pessoas e cargas, aumentando a emissão de poluentes, o consumo de combustível e diminuindo a qualidade de vida da população e a competitividade econômica das cidades.

Esses problemas evidenciam que o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis, mais competitivas economicamente e que ofereçam uma melhor qualidade de vida e de locomoção à sua população requer, entre outras medidas, uma compreensão adequada do processo de formação dos congestionamentos urbanos. Nesse sentido, Hojati *et al.* (2014) definem que o congestionamento do tráfego pode ser dividido em duas parcelas: recorrentes e não recorrentes. Congestionamentos recorrentes são previsíveis e resultam da necessidade da população em realizar viagens em períodos específicos do dia (horário de pico), resultando em demandas acima da capacidade das vias. Enquanto congestionamentos não recorrentes são desencadeados por incidentes de trânsito que reduzem temporariamente a capacidade da via. Entre os eventos considerados como incidentes de trânsito na literatura estão: acidentes de trânsito (o mais frequente e foco deste estudo), veículos quebrados na via, trabalhos temporários na via e condições climáticas adversas (AL-DEEK; EMAM, 2006).

Vários estudos publicados nos últimos anos buscam analisar a influência dos incidentes na formação de congestionamento por meio da análise da sua duração. Segundo a definição comumente utilizada na literatura, a duração dos incidentes de trânsito corresponde ao tempo decorrido entre o momento em que o incidente é detectado por agentes de trânsito até

o momento em que os veículos envolvidos são removidos da via. Hojati *et al.* (2014), ressaltam, no entanto, que após o desbloqueio da via o tráfego ainda apresenta efeitos do incidente, voltando às suas condições normais após um período de recuperação. Assim, os autores definem a duração do incidente como o intervalo entre o momento em que o incidente começa a afetar o tráfego até o momento em que esse retorna às suas condições normais.

No geral, a duração dos incidentes é analisada a partir de dados fornecidos por concessionárias que gerenciam as vias analisadas (ADLER; OMMEREN; RIETVELD, 2013; GAO, 2013; LI; GUO; LU, 2017). Entre as informações contidas nesse tipo de banco de dados estão: o horário em que o incidente é detectado, em que os agentes de trânsito chegam ao local da ocorrência e o momento em que a via é liberada. Além disso, são fornecidos dados sobre a característica do incidente, como: localização, quantidade e tipos de veículos envolvidos e número de vítimas. Porém, em alguns locais os dados sobre a duração do incidente não são registrados ou não são confiáveis, sendo preciso obter essa informação de outras fontes de dados, como, por exemplo, de dados de tráfego de equipamentos de fiscalização eletrônica. Além disso, Li, Pereira e Ben-Akiva (2018) ressaltam que a maioria dos estudos publicados na literatura focam suas análises em incidentes ocorridos em rodovias e que pouco se sabe sobre o comportamento da duração dos incidentes em vias arteriais.

Os principais objetivos em estudos que analisam a duração de incidentes de trânsito são entender o seu comportamento, identificar os fatores que podem influenciar essa duração e compreender como essa influência se dá para cada fator. Entre os principais fatores encontrados em estudos anteriores estão: tipo de incidente, severidade, número de veículos envolvidos, número de faixas bloqueadas, requerimentos médicos, disponibilidade de acostamento, horário do dia e características do tráfego. Segundo Nam e Mannering (2000), os modelos baseados em risco (*Hazard-based models* do inglês) e os modelos de regressão têm se mostrado como as duas principais abordagens metodológicas para analisar a relação entre a duração de incidentes e os seus possíveis fatores explicativos.

1.2 Questões motivadoras

Com base no exposto na seção anterior foram definidas as seguintes questões motivadoras:

- I. Como estimar a duração de acidentes de trânsito ocorridos em vias arteriais?

- II. Como se comporta a duração dos acidentes de trânsito nas vias arteriais da cidade de Fortaleza e quais são seus fatores explicativos?
- III. Qual a relação entre a duração do impacto dos acidentes de trânsito e os fatores que a influenciam para as vias arteriais da cidade de Fortaleza?

1.3 Definição dos objetivos

A partir das questões motivadoras definiu-se como objetivo geral desta pesquisa a análise da duração de acidentes de trânsito de vias arteriais da cidade de Fortaleza. Buscar-se-á atingir esse objetivo a partir da consecução dos seguintes objetivos específicos:

- I. Desenvolver um método para extrair a duração de acidentes de trânsito ocorridos em vias arteriais de dados de tráfego registrados por equipamentos de fiscalização eletrônica;
- II. Analisar o comportamento da duração de acidentes de trânsito em vias arteriais de Fortaleza;
- III. Analisar o efeito conjunto dos fatores explicativos na variabilidade da duração dos acidentes de trânsito ocorridos em vias de fluxo interrompido da cidade de Fortaleza.

1.4 Escopo do trabalho

Nesse trabalho foram analisados os acidentes de trânsito ocorridos em vias arteriais do município de Fortaleza no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017. Os outros tipos de incidentes de trânsito não foram incorporados ao estudo, tais como: quebra de veículo na via, obras de reparo na via ou condições climáticas adversas. Além disso, a duração de um acidente de trânsito foi definida nesse trabalho como o período entre o instante em que o acidente começa a impactar nas condições de tráfego da via até o momento em que os veículos envolvidos são removidos e todas as faixas da via são liberadas.

1.5 Estrutura do trabalho

A estrutura deste texto compreende cinco capítulos. O presente capítulo apresentou a contextualização do tema em estudo, a definição da problemática, as questões motivadoras, os objetivos definidos e o escopo do trabalho. O capítulo dois discorre sobre a revisão dos

trabalhos publicados na literatura na temática de interesse, destacando as suas contribuições metodológicas, resultados alcançados e principais limitações. O capítulo três apresenta os métodos propostos para alcançar os objetivos definidos no primeiro capítulo. No capítulo quatro são apresentados e discutidos os resultados obtidos no trabalho. Por fim, o capítulo cinco traz as considerações finais a respeito do trabalho.

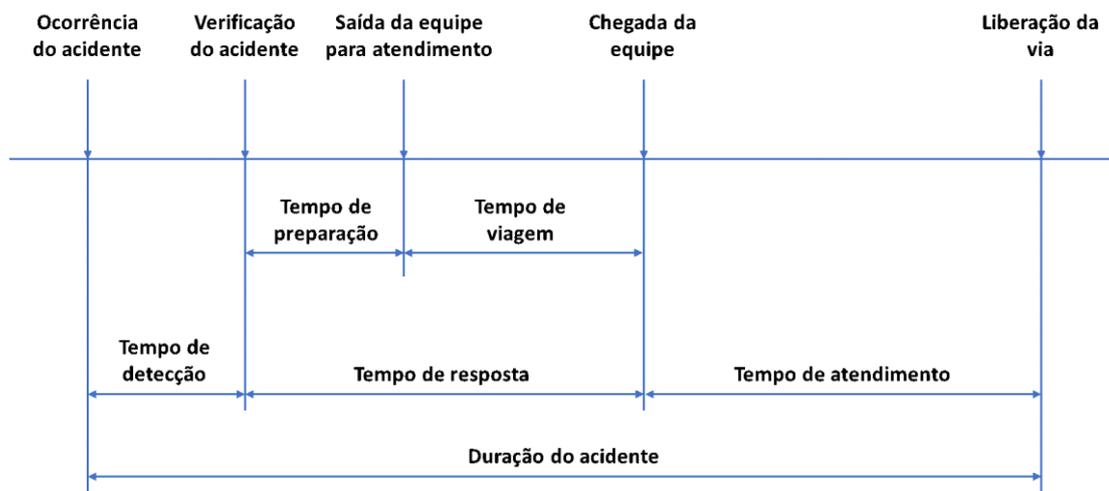
2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem o objetivo de suportar a construção da proposta metodológica, apresentada no próximo capítulo, a partir do levantamento e análise dos principais trabalhos publicados literatura na temática de interesse. Inicialmente são discutidas as definições encontradas na literatura para duração de incidentes de trânsito e os métodos usados para obter essa variável. Em seguida, discorre-se sobre os métodos estatísticos utilizados em trabalhos anteriores para caracterização e compreensão da duração de incidentes de trânsito e identificação dos fatores que influenciam significativamente essa duração.

2.1 Duração dos incidentes de tráfego

A definição comumente usada na literatura para a duração de incidentes de trânsito corresponde à diferença de tempo entre a sua detecção, por parte de agentes de trânsito, e o desbloqueio da via (LI; PEREIRA; BEN-AKIVA, 2018). Esse intervalo contempla três fases – tempo de detecção, tempo de resposta e tempo de atendimento - conforme ilustrado na Figura 1, Smith e Smith (2001) ressaltam, entretanto, a possibilidade de alguns incidentes não apresentarem uma ou mais dessas fases. Por exemplo, o incidente não terá o tempo de atendimento caso os motoristas dos veículos envolvidos cheguem a um acordo e removam por conta própria os seus veículos da via.

Figura 1 - Fases da definição clássica da duração de um incidente de trânsito

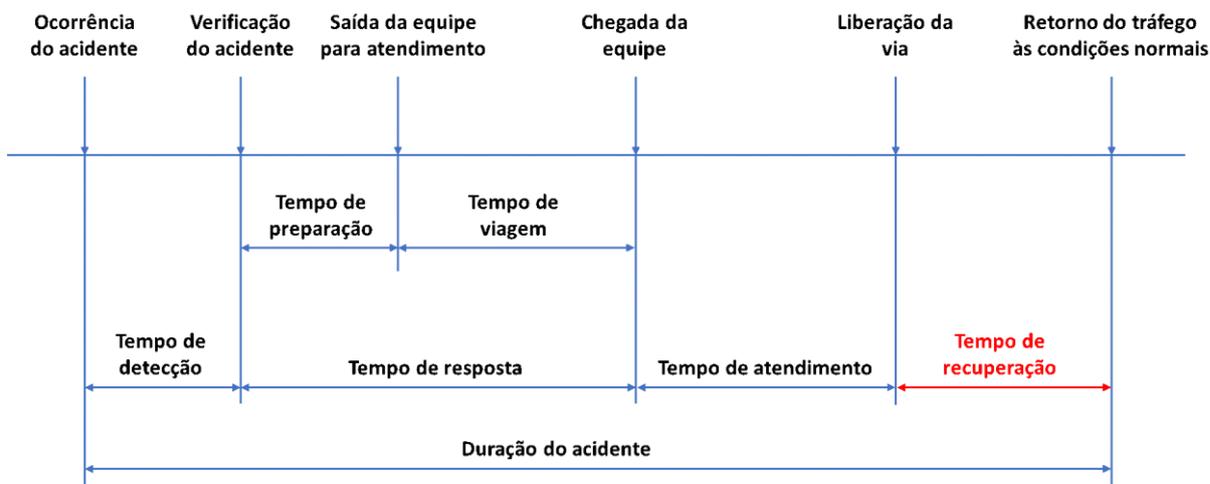


Fonte: Nam e Mannering (2000, com adaptações)

- Tempo de detecção: Período entre a ocorrência do incidente e a sua detecção por parte dos agentes de trânsito;
- Tempo de resposta: Período entre a detecção do incidente e a chegada dos agentes de trânsito ao local da ocorrência, engloba o tempo de preparação da equipe para a saída e o tempo de viagem;
- Tempo de atendimento: Período entre a chegada dos agentes de trânsito e o desbloqueio da via. Corresponde ao tempo necessário para atendimento às vítimas e a remoção dos veículos do local.

Dada a dificuldade em se obter o momento exato do incidente, alguns autores definiram a sua duração como o intervalo entre o momento em que os agentes de trânsito detectam o incidente e o momento em que ocorre a desobstrução da via, englobando apenas as fases de resposta e atendimento (VLAHOIANNI; KARLAFTIS, 2013; VALENTI; LELLI; CUCINA, 2010; JUNHUA; HAOZHE; SHI, 2013; WEI; LEE, 2007; KHATTAK *et al.*, 2016). Enquanto outros se propõem a analisar apenas uma dessas fases (LI; GUO; LU, 2017; SMITH e SMITH, 2001; ALKAABI; DISSANAYAKE; BIRD, 2011). Por fim, alguns estudos consideram que o impacto do incidente nas condições do tráfego não acaba imediatamente após o desbloqueio da via, mas permanece por um tempo extra. Nesse caso, a duração dos incidentes é definida como o intervalo entre a sua ocorrência e o retorno do tráfego às condições normais (HOJATI *et al.*, 2014). A Figura 2 apresenta as fases consideradas nessa última definição.

Figura 2 - Fases da duração de um incidente de trânsito, incluindo o tempo de recuperação



Fonte: Adaptado de Nam e Mannering (2000)

2.2 Dados sobre a duração de incidentes de trânsito

Na seção anterior foram apresentadas as definições comumente usadas na literatura para a duração de incidentes de trânsito. Essas definições e os resultados alcançados estão diretamente relacionadas às fontes de dados disponíveis e a sua confiabilidade. Por isso, segundo Nam e Mannering (2000), a coleta dos dados é a fase mais importante na análise das características dos incidentes, dos seus impactos no tráfego e nas avaliações de programas de gerenciamento de incidentes. No geral, os estudos publicados na literatura podem ser divididos em duas frentes quanto aos dados utilizados: os que usam apenas os dados de incidentes fornecidos por centros de gerenciamento de tráfego e os que integram diferentes bases de dados.

2.2.1 Estudos que utilizam dados de incidentes registrados por centros de controle de tráfego

Li, Pereira e Ben-Akiva (2018) afirmam que a maioria dos estudos anteriores utilizam bases de dados de incidentes ocorridos em *freeways*. Esses dados são, geralmente, fornecidos pelo centro de controle de tráfego responsável pelo gerenciamento da via e contêm informações como: dados temporais (horário em que o incidente é reportado, que os agentes de trânsito chegam ao local da ocorrência, e que a via é desbloqueada), localização, tipo e severidade do incidente, tipo e número de veículos envolvidos, e condições climáticas (LI; GUO; LU, 2017). Todavia, os autores ressaltam que as informações registradas em diferentes bancos de dados podem variar de acordo com os métodos de coleta utilizados e o propósito desses arquivos.

Junhua, Haozhe e Shi (2013) alertam ainda que a dificuldade em se obter bases de dados completas e confiáveis é um problema comum na maioria das pesquisas sobre a duração de incidentes. Com o objetivo de mitigar esse problema e realizar análises mais amplas, estudos recentes buscaram integrar diferentes bases de dados aos dados de incidentes de trânsito, como dados de tráfego obtidos de equipamentos de fiscalização eletrônica. Li, Pereira e Ben-Akiva (2018), porém, destacam a dificuldade no desenvolvimento de métodos para a extração da duração de incidentes de perfis de tráfego, devido à complexidade em identificar a causa do congestionamento observado, isto é, se o congestionamento é devido ao incidente de forma independente ou por outros fatores como congestionamentos recorrentes.

2.2.2 Estudos que agregam dados de incidentes e de tráfego

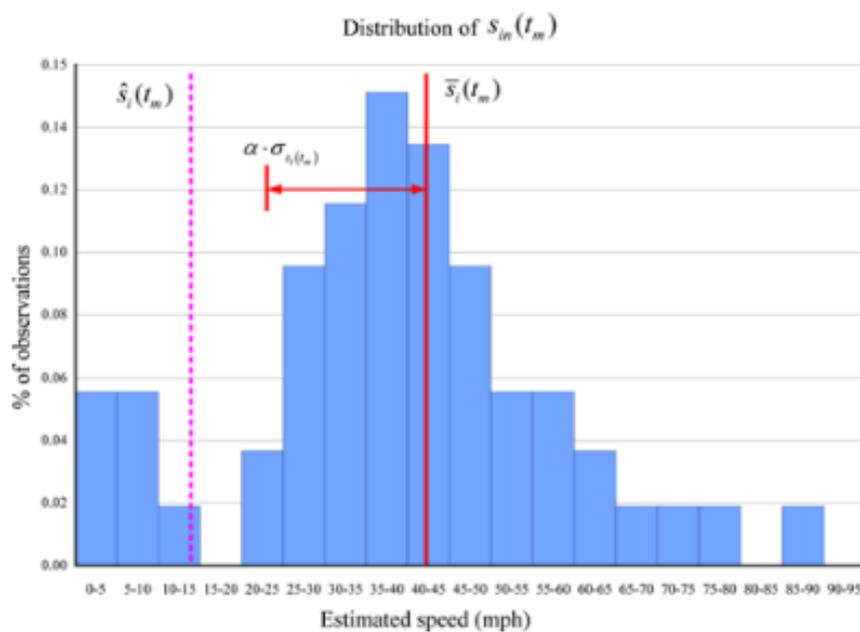
Devido à ausência (ou baixa confiabilidade) de registros sobre a duração de incidentes de trânsito em algumas regiões, alguns estudos anteriores desenvolveram métodos para extrair a duração de incidentes de trânsito a partir das condições de tráfego no local. Em um desses estudos, Hojati *et al.* (2014) estimaram a duração de incidentes (acidentes, quebra de veículos na via, entre outros) em *freeways* de Queensland-AUS por meio de dados históricos de equipamentos de fiscalização eletrônica. Os autores definiram a duração do incidente como o período entre o momento em que o tráfego começa a ser impactado pelo incidente e o momento em que ele retorna às suas condições normais.

Na metodologia proposta foram utilizados como indicadores dados de velocidade e volume - agregados em intervalos de 5 minutos. O perfil recorrente de cada variável foi obtido usando o Algoritmo *Quantum-Frequency* (QFA) (VENKATANARAYANA; SMITH; DEMETSKY, 2008). Para diferenciar as variações no tráfego devido ao incidente das variações típicas, os autores realizaram uma comparação entre os valores de velocidade no dia do incidente e os fornecidos pelo QFA. Para identificar a ocorrência, buscou-se por uma queda substancial nos valores de velocidade (em um intervalo de uma hora antes e depois do horário reportado) por pelo menos quatro intervalos consecutivos. Porém, não foram informados os valores utilizados como limite para considerar que as reduções na velocidade resultaram do incidente. O início do incidente foi identificado ao encontrar o intervalo imediatamente anterior à primeira redução de velocidade, enquanto que o seu final foi definido quando não foram observadas diferenças significativas entre os valores de velocidade no dia do incidente e os fornecidos pelo QFA.

Em uma proposta semelhante, Chung e Yoon (2012) analisaram a duração de 6.182

incidentes de trânsito ocorridos no ano de 2001 nas seis maiores *freeways* do município de Orange, estado da Califórnia, Estados Unidos. Além dos dados de incidentes, foram utilizados dados de velocidade obtidos de equipamentos de fiscalização eletrônica agregados em intervalos de 5 minutos para cada dia da semana. O método desenvolvido consistiu em comparar a distribuição do perfil histórico, construído com uma amostra de um período de um ano, com os valores de velocidade registrados no dia do incidente. Velocidades observadas no dia do incidente abaixo de um limite inferior pré-estabelecido para a distribuição do perfil médio, com base em um certo nível de confiança, foram consideradas atípicas e sob efeito do incidente, esse caso é ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Comparação entre a velocidade no dia do incidente e a distribuição de velocidade encontrada a partir de dados históricos.



Fonte: Chung e Yoon (2012)

O limite para que os valores de velocidades não fossem considerados típicos do perfil de distribuição dos dados históricos foi calculado conforme a Eq. 1.

$$l_{vt} = \bar{x} - \alpha * s, \quad (1)$$

em que: l_{vt} é o limite para valores de velocidades sem efeito do incidente;

\bar{x} é a média da distribuição;

α é uma constante maior que zero;

s é o desvio padrão da distribuição.

O valor atribuído à α foi determinado de forma empírica com base em testes realizados em 50 incidentes selecionados aleatoriamente. Vários valores foram testados utilizando incrementos de 0,05 a partir de 0. O valor de 0,25 foi considerado o mais adequado pelos autores, com base em análises visuais. A duração do incidente foi obtida pelo somatório dos intervalos de agregação subsequentes que apresentaram valores de velocidade no dia do incidente abaixo do limite pré-estabelecido. Por exemplo, se um incidente ocorreu às 08:00h e identificou-se que a velocidade média da via ficou abaixo do limite estabelecido nos intervalos de agregação subsequentes, de forma contínua, até às 08:30h, retornando às condições normais no intervalo 08:30h-08:35h, a duração do efeito do incidente no tráfego é considerada de 30 minutos. O método proposto conseguiu detectar a duração de 2.232 do total de 6182 incidentes analisados, desempenho de 36,10%.

2.3 Análise da duração de incidentes de trânsito

A análise da duração de incidentes de trânsito compreende, geralmente, duas etapas: i) análise exploratória, onde é analisado o comportamento da variável a partir de medidas de tendência central, dispersão e forma ii) modelagem estatística com o objetivo de identificar os fatores que influenciam significativamente na duração dos incidentes e como se dá essa influência.

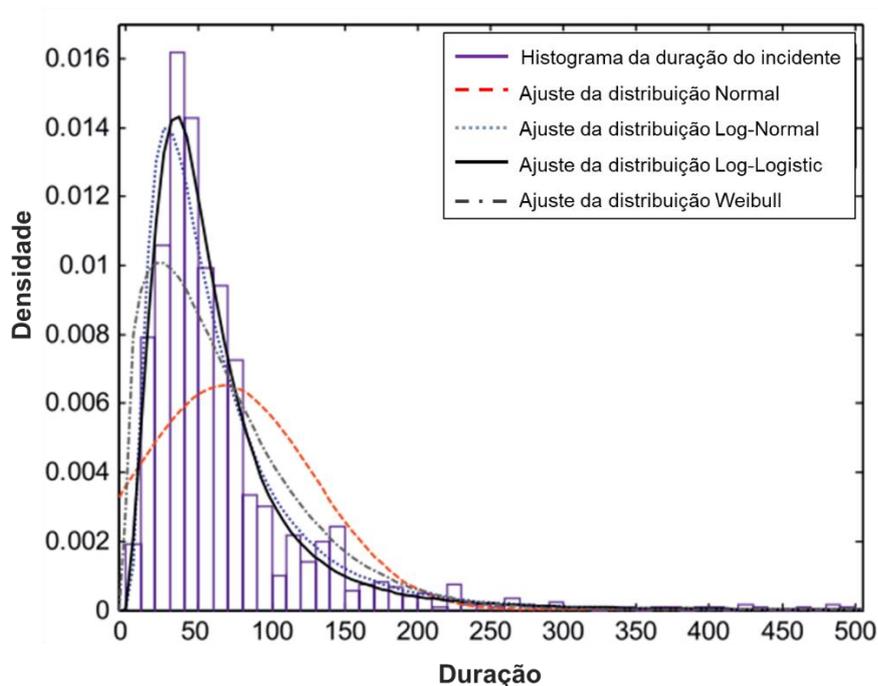
2.3.1 Análise exploratória

Junhua, Haozhe e Shi (2013) afirmam, com base em revisão da literatura, que a duração de incidentes de trânsito possui uma alta variância (valor de desvio padrão de, aproximadamente, 70% da média) e distribuição assimétrica com uma longa cauda à direita. Ao analisar a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta esses dados, alguns estudos encontraram um melhor ajuste para a distribuição log-normal (CHUNG; YOON, 2012; VALENTI; LELLI; CUCINA, 2010; XIE; OZBAY; YANG, 2015), enquanto outros verificaram uma melhor aderência dos dados à distribuição log-logística (JONES; JANSSEN; MANNERING, 1991; JUNHUA; HAOZHE; SHI, 2013; NAM; MANNERING, 2000) ou Weibull (ALKAABI; DISSANAYAKE; BIRD, 2011; HOJATI *et al.*, 2013; ALKAABI; DISSANAYAKE; BIRD, 2012).

Junhua, Haozhe e Shi (2013), por exemplo, verificaram um tempo médio de 67

minutos para a duração de 1.198 incidentes ocorridos em *freeways* da província de Zhejiang, China, durante os anos de 2009 e 2010. Os incidentes apresentaram ainda um desvio padrão de 61 minutos e um coeficiente de variação de 0,92 (Evidenciando uma alta dispersão da duração dos incidentes analisados). A Figura 4 mostra o histograma dos dados e funções de densidade de probabilidade que podem expressar a distribuição da duração dos incidentes: Normal, Log-normal, Log-logística e Weibull. Os autores testaram diferentes valores para os parâmetros das distribuições e usaram os testes de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) e *Anderson-Darling* (A-D) para testar a aderência das distribuições à duração dos incidentes. Segundo os resultados obtidos, a distribuição Log-logística apresentou o melhor ajuste dentre as distribuições testadas.

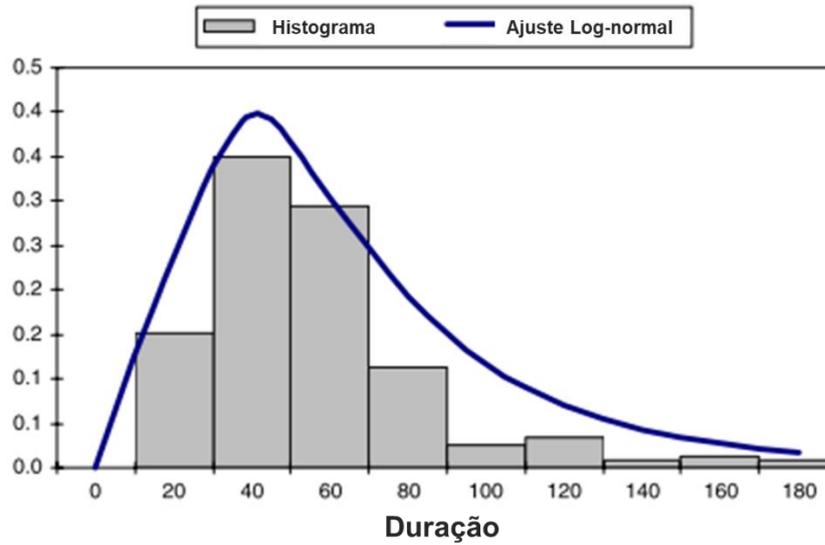
Figura 4 - Ajuste das distribuições de probabilidade à duração dos incidentes



Fonte: Junhua, Haozhe e Shi (2013)

Em outro estudo, Valenti, Lelli e Cucina (2010) encontraram um tempo médio de 45 minutos para 237 incidentes ocorridos nos meses de janeiro, abril e agosto de 2005, em duas seções da autoestrada de per I'Italia Spa. O desvio padrão foi de 29 minutos e o coeficiente de variação de 0,65. A distribuição encontrada para os dados é assimétrica à direita, conforme mostrado na Figura 5.

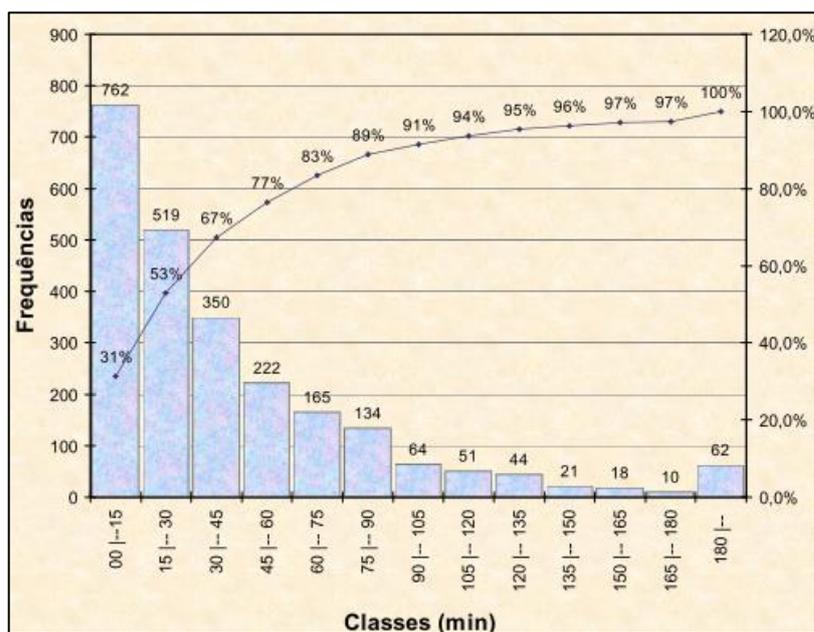
Figura 5 - Distribuição da duração dos incidentes analisados



Fonte: Valenti, Lelli e Cucina (2010)

No âmbito nacional, Oliveira Neto *et al.* (2002) realizaram uma análise exploratória de uma amostra de ocorrências de trânsito ocorridas em Fortaleza no ano de 2002, registradas pelo sub-sistema de Circuito Fechado de TV (CFTV) do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR). Foram registradas no período 2449 ocorrências, das quais 1886 foram acidentes de trânsito. Os autores definiram a duração da ocorrência como o tempo entre a detecção do incidente pelo operador na central de controle até a sua solução por parte do(s) agente(s) de trânsito. Os resultados obtidos mostraram uma duração média das ocorrências de 43,4 minutos e um coeficiente de variação de 1,27 – próximo aos valores encontrados na literatura para incidentes ocorridos em *freeways*. O comportamento da distribuição de frequências encontrado se assemelha ao de uma função exponencial, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Histograma da duração de ocorrências de trânsito em Fortaleza no ano de 2002



Fonte: Oliveira Neto *et al.* (2002)

A partir da revisão conduzida nessa seção percebe-se que a duração dos incidentes de trânsito possuem uma alta variabilidade e uma forma assimétrica à direita. Diversas distribuições de probabilidade mostraram ter um bom ajuste aos dados analisados (Log-normal, Log-logística, Weibull, Gamma, entre outras) a depender da região de estudo e dos dados utilizados. É notável também a carência de estudos no âmbito nacional que busquem compreender a duração dos incidentes de trânsito e a impossibilidade do uso dos resultados encontrados em estudos realizados em outros países para o contexto nacional, dado as diferenças nas características dos incidentes, do tráfego, e no comportamento de motoristas e agentes de trânsito.

2.3.2 Identificação dos fatores que influenciam a duração de incidentes de trânsito

Vários fatores que influenciam significativamente na duração de incidentes de trânsito foram identificados em estudos anteriores, incluindo características do incidente, condições climáticas e do tráfego, fatores operacionais e geometria das vias (LI; PEREIRA; BEN-AKIVA, 2018). O Quadro 1 mostra os principais fatores encontrados na literatura que podem influenciar significativamente na duração de incidentes de trânsito.

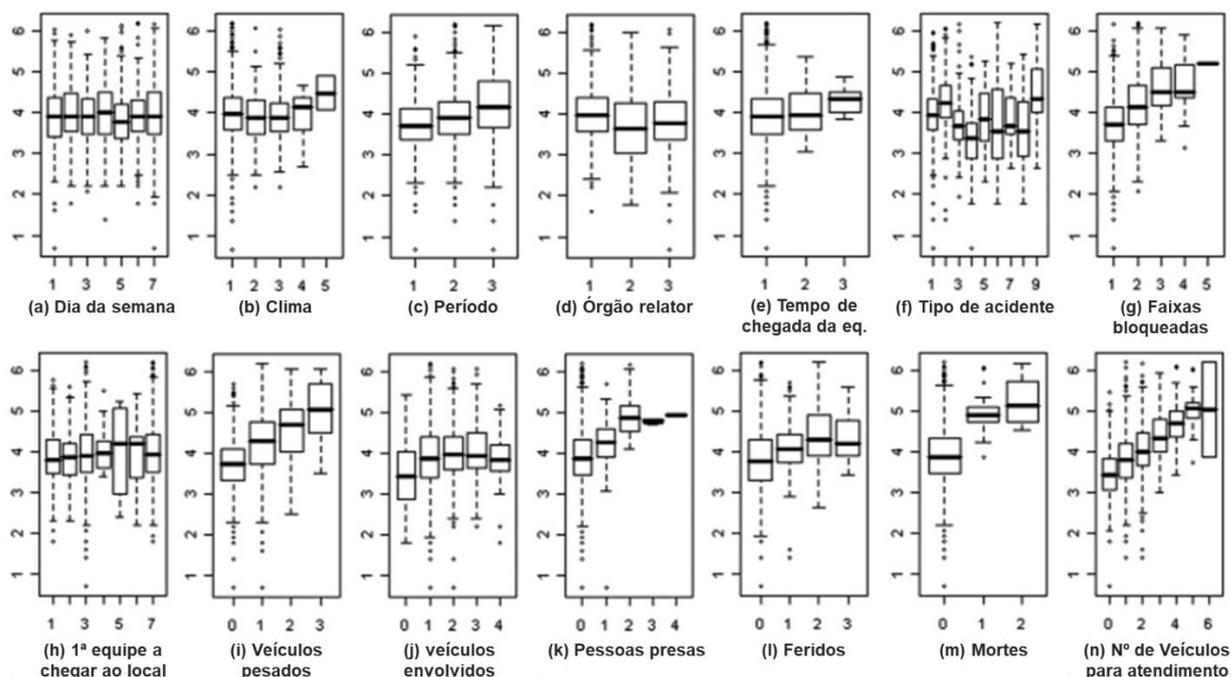
Quadro 1 - Fatores que podem influenciar a duração de incidentes de trânsito.

Tipo de fator	Fator
Características do incidente	Severidade, tipo de incidente, exigência de reboque, número de faixas bloqueadas e localização do incidente.
Condições climáticas	Chuva, neve, seco ou molhada.
Fatores temporais	Horário do dia, dia da semana, mês, estação.
Características da via	Meio de quadra, interseção, sinalização horizontal e vertical, engarrafamentos, tipo de via e <i>layout</i> da via.
Condições de tráfego	Volume, velocidade, densidade, tamanho de fila.
Características dos veículos envolvidos	Taxis, veículos especiais, número e tipo de veículos envolvidos.
Outros	Caraterísticas dos motoristas, eventos especiais, mecanismo de detecção/notificação do incidente.

Fonte: Li, Pereira e Ben-Akiva (2018, com adaptações)

Diversas técnicas estatísticas vêm sendo empregadas nos últimos anos para identificar os fatores que influenciam a duração dos incidentes de trânsito. Junhua, Haozhe e Shi (2013), por exemplo, utilizaram a técnica de *boxplots* para verificar a relação entre um único fator e a variabilidade da duração dos incidentes. A Figura 7 mostra os resultados obtidos, o eixo vertical representa o logaritmo da duração dos incidentes, aplicado para tornar a variável normalmente distribuída. Ao analisar os *boxplots* os autores perceberam, por exemplo, que o dia da semana não afetou significativamente na duração dos incidentes, ao contrário do número de faixas bloqueadas e do tipo de incidente.

Figura 7 - Influência dos fatores na variabilidade da duração dos incidentes de trânsito.



Fonte: Junhua, Haozhe e Shi (2013, com adaptações)

(a) Dia da semana	1 Segunda, 2 Terça, 3 Quarta, 4 Quinta, 5 Sexta
(b) Clima	1 Ensolarado, 2 Nublado, 3 chuvoso, 4 nevando, 5 nevoeiro
(c) Período	1 horário de pico, 2 fora do pico, 3 noite
(d) Órgão relator	1 Motorista; 2 Polícia, 3 Bombeiros
(e) Tempo de chegada da eq.	1 (0-15) min, 2 (16-30) min, 3 (31-60) min
(f) Tipo de incidente	1 Col. traseira, 2 capotamento, 3 col. transversal, 4 veículo quebrado, 5 col. lateral, 7 pneu furado, col. com <i>guardrail</i> , 8 carga derramada, 9 fogo
(g) Faixas bloqueadas	Número de faixas bloqueadas
(h) 1ª equipe a chegar ao local	1 Polícia, 2 reboque, 3 mecânico, 4 ambulância, 5 administração da rodovia, 6 concessionária, patrulha
(i) Veículos pesados	Número de ônibus ou carretas envolvidos
(j) Veículos envolvidos	Número de veículos envolvidos; 0 refere-se a carga espalhada
(k) Pessoas presas	Número de pessoas presas as ferragens
(l) Feridos	Número de feridos
(m) Mortes	Número de mortes
(n) Veículos para atendimento	Número de veículos de resgate e de trânsito

Como alternativa ao uso de *boxplots*, alguns estudos utilizaram a Análise de Variância (ANOVA) em cada variável explicativa para verificar a sua influência na duração do conjunto de incidentes analisados. Hojati *et al.* (2012), por exemplo, usaram a ANOVA para verificar quais dos fatores levantados inicialmente, a partir da revisão da literatura, influenciavam significativamente na duração dos incidentes de trânsito. A hipótese nula de média iguais foi rejeitada para 22 variáveis, entretanto, devido à correlação entre algumas dessas variáveis, apenas 15 foram consideradas nas análises posteriores. Os autores não mencionam se os pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância foram verificados. Por outro lado, Valenti, Lelli e Cucina (2010) testaram as premissas da ANOVA e

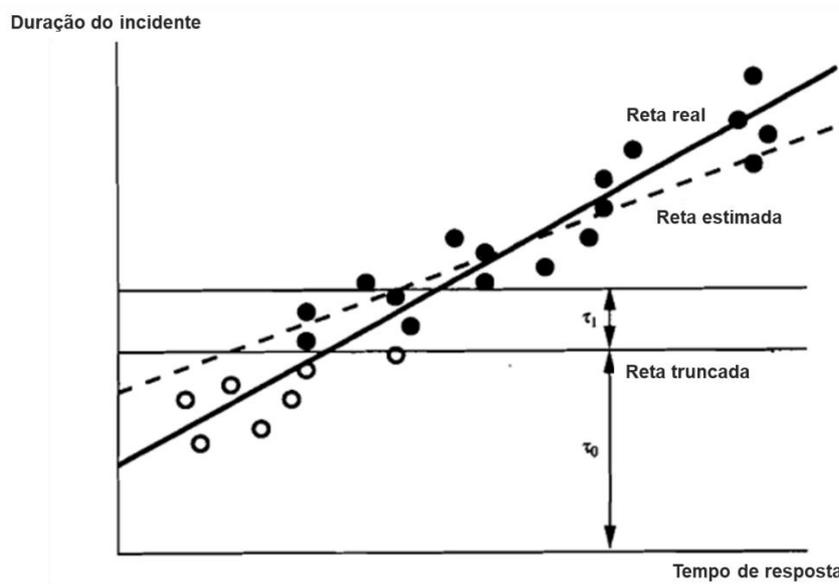
utilizaram o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* para os casos em que essas premissas não foram atendidas.

2.4 Modelagem da duração dos incidentes de trânsito

Ao longo das últimas décadas vários métodos vêm sendo aplicados para analisar e modelar a duração dos incidentes de trânsito. Porém, Segundo Nam e Mannering (2000), os modelos baseados em risco (*Hazard-based models* do inglês) e os modelos de regressão têm se mostrado como as duas principais abordagens para analisar a relação entre a duração dos incidentes de trânsito e os seus fatores explicativos. Ainda segundo os autores, os modelos de regressão possuem a vantagem de ter uma formulação e interpretação mais fácil do que os modelos baseados em risco. Enquanto que os modelos baseados em risco permitem o estudo explícito dos efeitos da duração, ou seja, a relação entre o tempo decorrido desde o início do incidente e a probabilidade dele acabar em breve.

Khattak, Schofer e Wang (1995) utilizaram esses dois modelos para estimar a duração de 109 incidentes ocorridos em vias expressas de Chicago, Estados Unidos. De acordo com os autores, os dois modelos apresentaram resultados parecidos, sendo a regressão linear múltipla escolhida por ser mais simples e intuitiva. O conjunto de dados usado no estudo não contemplava os incidentes com pequenas durações, devido a limitações do sistema de detecção de incidentes do órgão de trânsito fornecedor dos dados. Ainda segundo os autores, o uso do método dos mínimos quadrados nesse caso pode gerar estimativas enviesadas. A Figura 8 (Duração x Tempo de resposta) ilustra essa problemática de forma mais clara: espera-se que altos tempos de resposta estejam associados a altas durações, relação representada pela linha sólida. Entretanto, devido à impossibilidade de captar incidentes com baixas durações, os dados são truncados em determinado valor, representado pela linha horizontal, e não são considerados na análise. A reta de regressão resultante, representada de forma tracejada, não irá estimar corretamente o efeito do tempo de resposta na duração dos incidentes. Para contornar esse problema, os autores utilizaram o método da máxima verossimilhança para estimar os parâmetros do modelo.

Figura 8 - Regressão linear para estimativa da duração de incidentes de trânsito



Fonte: Khattak, Schofer e Wang (1995, com adaptações)

Em outro estudo, Valenti, Lelli e Cucina (2010) utilizaram um modelo de regressão linear para compreender a relação entre os fatores encontrados inicialmente por meio da ANOVA (conforme discutido na seção anterior) e a duração dos incidentes. O logaritmo da duração dos incidentes foi adotado como variável dependente para obdecer o pressuposto de normalidade exigido pelo modelo – coeficiente de assimetria igual a 0,24. A técnica de *stepwise* foi utilizada para determinar as variáveis explicativas que deveriam ser consideradas. O modelo calibrado forneceu um coeficiente de determinação de 0,32. Entretanto, os autores não realizaram nenhuma análise sobre os valores estimados para os parâmetros do modelo.

Apesar do uso de modelos de regressão ser utilizado em alguns estudos na análise da duração dos incidentes, a maioria dos estudos recentes sobre o tema vem aplicando os modelos baseados em risco para esse tipo de (LI; PEREIRA; BEN-AKIVA, 2018). Segundo Nam e Mannering (2000), o uso de modelos baseados em risco permite o cálculo da probabilidade do incidente acabar nos próximos minutos, sabendo-se que já se passou um período conhecido desde o início do incidente. Essa probabilidade é calculada por meio da função de risco, calculada a partir da equação 2:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{S(t)}, \quad (2)$$

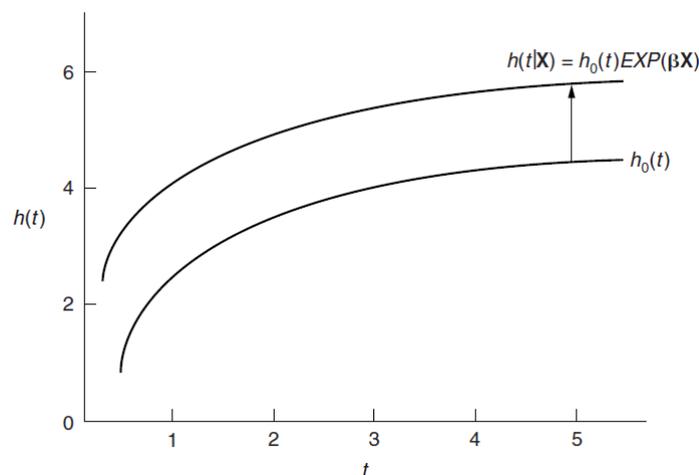
na qual, $f(t)$ é a função densidade de probabilidade, $F(t)$ é Função de distribuição acumulada e $S(t)$ é a função de sobrevivência que indica a probabilidade da duração do evento ser maior do

que um tempo específico (t).

Para verificar o efeito dos fatores explicativos na probabilidade do evento acabar em breve, podem ser usados dois métodos alternativos: i) *Proportional Hazard (PH) Model* ou *Accelerated Failure Time Model (AFT)* (LI; GUO; LU, 2017). O modelo PH assume que os fatores agem de forma multiplicativa em uma função de risco base $h_0(t)$. Essa função base é a função de risco assumindo que todos os fatores são zero. Por simplicidade, assume-se que os fatores influenciam a função base a partir da função $exp(\beta X)$, onde β é o vetor dos coeficientes estimados (WASHINGTON, KARLAFTIS e MANNERING, 2003). Para o modelo PH a função de risco com o efeito dos fatores é dada pela Equação 3. A Figura 9 ilustra a premissa do modelo PH.

$$h(t \parallel X) = h_0(t) * e^{(\beta X)} \quad (3)$$

Figura 9 – Ilustração do modelo *Proportional Hazards*



Fonte: (WASHINGTON, KARLAFTIS e MANNERING, 2003)

O segundo método para incorporar o efeito dos fatores no modelo (AFT) assume que esses aceleram (ou desaceleram) o tempo em uma função base (que é a função de sobrevivência quando todos os fatores são zero). O modelo AFT assume que a relação entre o logaritmo do tempo de sobrevivência (T) e os fatores explicativos é linear, conforme mostrado na equação 4 (LEE E WANG, 2003). Além disso, o modelo AFT assume que T segue uma distribuição de probabilidade teórica conhecida (Weibull, Gamma ou Lognormal, por exemplo).

$$\log(T) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sigma \varepsilon, \quad (4)$$

Na qual, x é o vetor de fatores, a o vetor de coeficientes, σ é um parâmetro de escala não conhecido, e ε , o termo do erro, é uma variável aleatória com forma conhecida e função de densidade $g(\varepsilon, d)$ e função de sobrevivência $G(\varepsilon, d)$ com parâmetro desconhecido d . Para a estimação dos parâmetros da função é utilizado o método de maximização da verossimilhança (LEE E WANG, 2003).

Chung e Yoon (2012), por exemplo, desenvolveram um modelo AFT baseado em risco para analisar a relação entre a duração de 6.200 incidentes ocorridos no município de Orange, California, e seus fatores explicativos. Três modelos foram estimados com base no tipo de distribuição assumida para a função de risco: Log-normal, Log-logística e Weibull. O critério da informação de Akaike (*Akaike Information Criteria – AIC*) foi utilizado pelos autores para definir o melhor modelo. Esse critério compara os modelos com base no equilíbrio entre o viés e a variância introduzidos ao incluir as variáveis no modelo - o modelo com menor valor de AIC é o escolhido. Segundo esse critério, o modelo com a distribuição Log-normal da função de risco apresentou o melhor resultado.

A interpretação da relação entre as variáveis independentes e a variável dependente é feita por meio da análise dos valores dos coeficientes exponenciais das variáveis explicativas, a partir da formulação mostrada na equação (4). Por exemplo, o coeficiente da variável “horário de pico da manhã” foi de 0,861, o que indica que os incidentes ocorridos no horário de pico da manhã demoram, em média, 13,9% menos do que os incidentes ocorridos em outros períodos.

Como o estudo de Chung e Yoon (2012), a maioria dos modelos baseado no risco definidos em estudos anteriores utilizaram o modelo AFT (LI; PEREIRA; BEN-AKIVA, 2018). Alguns desses estudos são apresentados no Quadro 2, em conjunto com estudos que utilizaram outros tipos de modelos.

Quadro 2 - Estudos sobre a análise da duração de incidentes de trânsito

Método	Modelo	Duração	Distribuição da duração	Pesquisadores
Testes estatísticos	ANOVA	Incidente	Log-normal e Log-logística	(HOJATI <i>et al.</i> , 2012)
	Testes estatísticos	Tempo de resposta e desbloqueio da via	Log-normal	(GIULIANO, 1989)
Regressão	Regressão truncada	Incidente	Log-normal e Log-logística	(KHATTAK; SCHOFER; WANG, 1995)
	Log-linear	Incidente	Log-normal	(GOLOB; RECKER; LEONARD, 1987)
	<i>Binary probit e switching regression</i>	Tempo de resposta e desbloqueio da via		(DING <i>et al.</i> , 2015)
<i>Hazard-based</i>	AFT	Incidente	Log-logística	(CHUNG; WALUBITA; CHOI, 2010)
		Tempo de desbloqueio da via	Weibull	(ALKAABI; DISSANAYAKE; BIRD, 2011)
		Incidente	Log-normal	(CHUNG; YOON, 2012)
		Incidente	Weibull e Log-logística	(HOJATI <i>et al.</i> , 2014)
	Semi-paramétrico	Tempo de desbloqueio da via		(HOU <i>et al.</i> , 2014)

Fonte: Li, Pereira e Ben-Akiva (2018, com adaptações)

2.5 Considerações finais

A revisão bibliográfica mostrou que os estudos sobre a análise da duração de incidentes de trânsito foram aplicados, em sua maioria, para rodovias e que a definição dessa variável pode variar de acordo com a disponibilidade de dados e objetivos do trabalho. Existindo, assim, uma lacuna na literatura sobre o comportamento dessa variável para

incidentes ocorridos em vias arteriais urbanas. Além disso, a revisão mostrou que alguns trabalhos se propuseram a detectar a duração dos incidentes a partir de dados de tráfego, propondo métodos que comparam as condições de tráfego da via no dia do incidente com a sua média histórica para a região e horário da ocorrência. Entretanto, esses trabalhos não são claros nos critérios utilizados para detecção dos incidentes. Hojati *et al.* (2014), por exemplo, não especificaram os valores utilizados como limite para considerar que a redução no perfil de velocidade pode ser atribuída à ocorrência de um incidente. Enquanto Chung e Yoon (2012) utilizaram dados históricos para o período de um ano para gerar os perfis típicos de velocidade, sem considerar a possibilidade de efeito da sazonalidade do tráfego na estimativa. Além disso, os métodos propostos foram aplicados para vias de fluxo ininterrupto, não sendo possível inferir o desempenho desses para vias de fluxo interrompido (que apresentam maior variabilidade do tráfego).

A análise exploratória da duração de incidentes em trabalhos anteriores tem mostrado que essa variável possui uma alta variância e que a maioria dos valores estão abaixo da média (assimetria à direita). As distribuições log-normal, log-logística e Weibull têm apresentado os melhores ajustes para os dados de duração de incidentes de trânsito ocorridos em rodovias de acordo com a literatura, mas pouco se sabe sobre a forma da duração dos incidentes ocorridos em vias arteriais. Diversos fatores foram encontrados em estudos anteriores para explicar a duração dos incidentes de trânsito, como: características do incidente (tipo, severidade, número e tipo de veículos envolvidos); dos condutores (idade, sexo, consumo de bebidas alcoólicas); temporais (época do ano, dia da semana, período do dia); da via (número de faixas, presença de acostamento, capacidade, sentido) e do tráfego (fluxo, velocidade média). Ainda assim, alguns fatores inerentes à incidentes ocorridos em vias arteriais de diferentes regiões do meio urbano foram poucos explorados na literatura, como: ocorrência em interseções ou meio de quadra, e região da cidade em que o incidente ocorreu. Possivelmente, esses fatores são poucos explorados na literatura por conta do foco dos trabalhos em analisar incidentes ocorridos em rodovias.

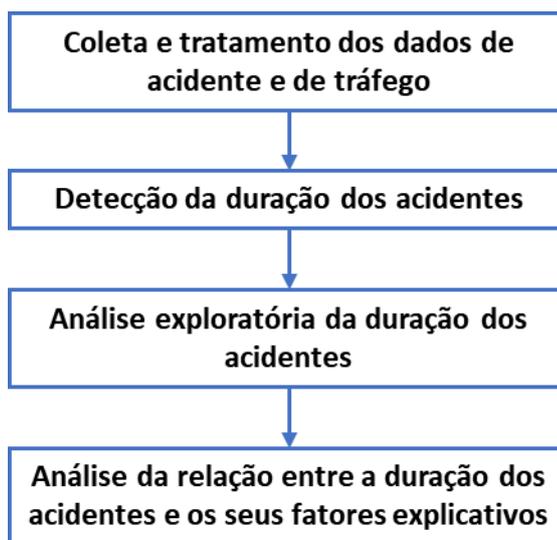
Por fim, a revisão bibliográfica mostrou que diversos modelos foram aplicados para analisar a relação entre a duração e os fatores explicativos. Entre esses, os modelos de regressão e *Hazard-Based* são os mais difundidos, com os modelos de regressão possuindo formulação mais simples e intuitiva e os modelos *Hazard-Based* permitindo o cálculo da probabilidade de o incidente acabar em breve. A maioria dos estudos que calibraram um modelo baseado em risco utilizaram a abordagem AFT. Contudo, os autores não justificam o motivo da escolha do modelo. Possivelmente, essa escolha se deve ao fato desse modelo não assumir que todos os

fatores agem de forma multiplicativa na função de sobrevivência, premissa assumida pelo modelo PH. Uma vez que se espera que alguns fatores ajam de forma a acelerar a solução do problema e diminuir a sua duração. Por exemplo, se os condutores chegarem a um acordo e removerem os veículos da via por conta própria ou se os agentes de trânsito estiverem próximo ao local do incidente no momento da sua ocorrência.

3 MÉTODO

Neste capítulo é apresentado o método proposto para alcançar os objetivos definidos no primeiro capítulo. Conforme destacado na seção 1.4, este trabalho teve como foco os acidentes de trânsito, não fazendo parte da análise outros tipos de incidentes de trânsito, como: veículos quebrados na via, condições climáticas adversas ou obras de reparo nas vias. O método sugerido é composto por quatro macro etapas, conforme ilustrado na Figura 10: i) coleta e tratamento dos dados de acidentes e de condições de tráfego para a região de estudo e período de interesse; ii) obtenção da duração dos acidentes de trânsito por meio de uma análise integrada dos dados de acidente e de condições de tráfego; iii) análise exploratória da variável obtida por meio de métodos estatísticos; iv) análise da relação entre a duração dos acidentes e os seus fatores explicativos por meio de modelagem estatística.

Figura 10 - Método proposto



Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 Coleta e tratamento dos dados

Para realização deste trabalho foram utilizados dois bancos de dados, o primeiro com informações de 52.503 acidentes de trânsito ocorridos no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2017 e o segundo com as informações de tráfego (volume e velocidade) registradas por equipamentos de fiscalização eletrônica para o mesmo período. Os dados de acidentes de trânsito foram fornecidos pela prefeitura de Fortaleza por meio do Sistema de Informações de Acidentes de trânsito de Fortaleza (SIAT). Entre as informações contidas nesse

banco de dados estão: data e horário do acidente, localização (endereço e coordenadas geográficas), quantidade e tipos de veículos envolvidos (automóvel, motocicleta, ônibus, entre outros), tipo de acidente (atropelamentos, colisão traseira, transversal, etc.) e gravidade (ileso ou ferido), idade e sexo dos condutores, entre outras.

Os dados de tráfego foram registrados foram fornecidos pela Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC) por meio de planilhas em que cada linha é referente à passagem de um veículo por um equipamento de fiscalização eletrônica. No total, foram obtidos dados de 334 equipamentos espalhados pelas principais vias da cidade. Os equipamentos são utilizados com o objetivo de verificar infrações de trânsito, tais como: excesso de velocidade, avanço de sinal vermelho e utilização da faixa exclusiva de ônibus por veículos particulares. As informações registradas para cada veículos são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Campos das planilhas obtidas dos equipamentos de FE

CAMPO	DESCRIÇÃO
ID	Código de identificação do equipamento
DATA	Data de detecção do veículo
FAIXA	Horário de detecção do veículo (hora, minuto, segundo)
V_REG	Velocidade regulamentada na via (km/h)
V_DETEC	Velocidade instantânea do veículo detectado (km/h)
TAMANHO	Tamanho do veículo (metros)
PERFIL	Classificação do perfil veicular (automóvel, motocicleta, caminhão ou ônibus)
PLACA	Placa criptografada do veículo detectado

Fonte: Adaptado de AMC

Após a coleta dos dados foi feita uma etapa de tratamento para excluir os registros com informações inconsistentes ou que não eram de interesse desta pesquisa. Além disso, os dados de tráfego foram agrupados em intervalos de 1 minuto para melhorar o desempenho computacional das análises realizadas nas etapas subsequentes. Em seguida, foi realizada uma caracterização das informações fornecidas, como a análise da distribuição espacial dos acidentes

e dos equipamentos de fiscalização, assim como, da distribuição dos acidentes dentro de alguns fatores, como: dia da semana, horário do dia, gravidade e natureza do acidente. Foram testadas, ainda, algumas hipóteses sobre o comportamento do tráfego após um acidente de trânsito, visando reduzir a variabilidade das variáveis de tráfego. Duas hipóteses foram testadas com o objetivo de reduzir a variabilidade das variáveis de tráfego obtidas (volume e velocidade) e potencializar o desempenho do método de detecção proposto: i) os acidentes de trânsito impactam de diferentemente cada faixa de rolamento da via, uma vez que, geralmente, obstruem a via de forma parcial, impedindo a passagem dos veículos por determinada(s) faixa(s); ii) as motocicletas apresentam maior variabilidade do que os demais veículos por apresentarem menores dimensões e conseguirem trafegar com maior facilidade em uma via congestionada pela ocorrência de um acidente de trânsito. Para testar essas hipóteses, foram analisados, visualmente, os gráficos de velocidade e volume veicular de um equipamento localizado próximo ao local de ocorrência de um acidente de trânsito.

Por fim, os dois bancos de dados com informações dos acidentes e das condições de tráfego foram integrados, selecionando os acidentes ocorridos a uma distância máxima de um equipamento de fiscalização eletrônica, definida com base na qualidade e no tamanho da amostra resultante. Dado que adotar uma distância grande pode resultar em análises imprecisas, ao passo que uma distância pequena pode reduzir consideravelmente o tamanho da amostra obtida.

3.2 Algoritmo para a detecção da duração de acidentes de trânsito a partir de perfis de tráfego

O método proposto nesta seção estima a duração dos acidentes por meio da comparação das condições de tráfego (velocidade média e proporção do volume por faixa) no horário e local do acidente com as condições típicas para esse mesmo local e horário em dias sem a ocorrência de acidentes. Inicialmente, as variáveis de tráfego a serem utilizadas no método são analisadas. Em seguida, o método de detecção proposto é detalhado. Por fim, é explicada a etapa de validação do método.

3.2.1 Análises das variáveis de tráfego a serem utilizadas

Conforme visto na revisão da literatura, as principais variáveis utilizadas em estudos anteriores para extrair a duração de acidentes de trânsito são a velocidade média da

corrente de tráfego e o volume veicular – agregados, normalmente, em intervalos de 5 minutos. Além disso, no geral, os métodos desenvolvidos são aplicados para rodovias, onde essas variáveis apresentam uma menor variabilidade, quando comparadas às vias arteriais. Buscando minimizar o efeito dessa maior variabilidade das condições de tráfego no desempenho do método proposto, foi proposto o uso de uma nova variável (p) que representa a proporção do volume veicular, por sentido, que passa pela faixa de rolamento i em uma dada seção da via. Assim, seja v o volume, por sentido, de uma via com n faixas de rolamento e v_i o volume nessa mesma seção para a faixa i . A proporção do volume total (p_i), por sentido, que passa pela faixa i pode ser obtida pela equação (5).

$$p_i = 100 * \frac{v_i}{v} \quad (5)$$

A proposta do uso de p para detecção da duração de acidentes de trânsito está baseada no fato de que p é menos sensível a eventos não-recorrentes que impactam todas as faixas da via, como quebra de semáforos, manifestações populares e chuvas fortes e mais sensível à ocorrência de eventos que impactam parcialmente a via, obstruindo apenas algumas de suas faixas, caso da maioria dos acidentes de trânsito. Além disso, p apresenta uma menor variabilidade quando comparada ao volume e a velocidade. Para testar essa afirmação, foi calculado o coeficiente de variabilidade médio (para um mês de observação) para as três variáveis de tráfego: volume veicular, velocidade e proporção do volume por faixa, comparando os resultados obtidos. Além disso, como uma análise complementar, foram comparados os perfis dessas variáveis em uma via obstruída por um acidente de trânsito.

3.2.2 Desenvolvimento do algoritmo

A ideia básica para detectar a duração dos acidentes de trânsito é comparar o perfil das variáveis de tráfego no dia do acidente (agregadas em um intervalo de tempo t) com o seu perfil médio e identificar, para um certo nível de confiança, padrões anormais no comportamento esperado dessas variáveis. Seguindo essa ideia, o método proposto neste trabalho estima a duração dos acidentes ao analisar o comportamento conjunto dos perfis de velocidade (v) e proporção do volume veicular (p), para vias com mais de uma faixa de rolamento por sentido, e do perfil de velocidade para vias com apenas uma faixa por sentido. O período de análise consiste do intervalo entre duas horas antes e quatro horas após o horário

reportado do acidente.

Para calcular os perfis médios de (v) e (p) foi utilizada uma amostra com os dados dessas variáveis para os 20 dias (úteis) anteriores e posteriores ao dia do acidente – sem ocorrência de outros acidentes. Assim, foram obtidas 40 observações para cada intervalo de agregação t do período analisado. O tamanho da amostra foi definido visando minimizar o efeito da sazonalidade do tráfego nas estimativas sem prejudicar as premissas dos testes estatísticos utilizados no método. Em seguida, foi calculado o valor médio (aparado em 10%, para evitar o efeito de outliers) de cada intervalo de agregação, assim como, o intervalo de previsão (IP_t) para um nível de previsão de $100(1-\alpha)\%$. O intervalo de previsão foi utilizado pois busca prever um único valor futuro de uma variável, em vez do seu valor médio, sendo calculado a partir da equação (6).

$$IP = t_{\alpha/2; n-1} * s \sqrt{1 + \frac{1}{n}} \quad (6)$$

Os perfis de velocidade e proporção do volume no dia do acidente foram gerados para o mesmo período de análise e intervalo de agregação dos perfis históricos. Dada a alta variabilidade dos perfis de (v) e (p), mesmo em condições sem a ocorrência de um acidente de trânsito, aplicou-se a técnica de média móvel para suavizar os perfis gerados e minimizar a variabilidade dessas variáveis.

Após o cálculo dos perfis diário e médio das variáveis de tráfego, foi estimado o período em que a via ficou obstruída pelos veículos envolvidos no acidente. Para isso, o primeiro passo foi identificar uma sequência mínima de n intervalos de agregação (t) em que os valores das variáveis (v) e (p) no dia do acidente ficaram fora dos limites do intervalo de previsão (IP). Após identificar o período em que as condições de tráfego ficaram fora do padrão esperado, buscou-se identificar o momento exato do início do acidente e da desobstrução da via.

Para identificar o início exato do acidente foram analisados os 15 minutos anteriores ao t_1 (primeiro intervalo de agregação em que as condições de tráfego se encontraram fora do limite de previsão) em busca de uma mudança abrupta (d) na distância entre os perfis diário e médio das variáveis de tráfego. O fim do impacto dos acidentes nas condições de tráfego da via foi considerado como o momento em que as variáveis (v) e (p) voltaram a ficar dentro do perfil do intervalo de previsão por no mínimo três intervalos de agregação consecutivos. Por fim, o momento de desobstrução da via foi identificado ao analisar os intervalos de agregação entre t_1

e t_n em busca de uma alteração significativa nos valores das variáveis, seguida de uma tendência de retorno às condições esperadas para aquele dia e horário.

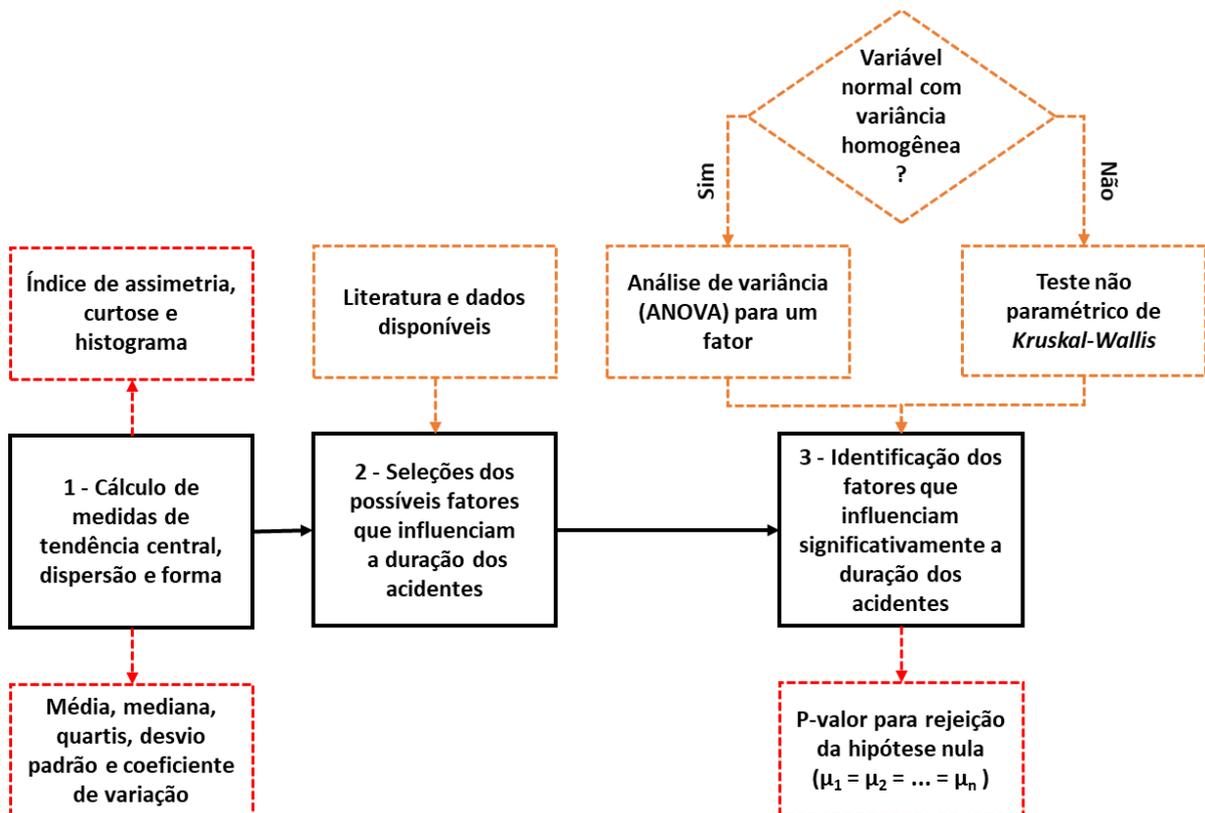
Para determinarr os valores de (t) , (n) , e (d) que fornecem os melhores resultados para o método proposto foi realizado um estudo piloto com 100 acidentes retirados de forma aleatória da base de dados. Foram testados oito cenários com base nos valores do intervalo de agregação (t - 3 ou 5 min.), do número mínimo (n) de intervalos de agregação subsequentes (3 ou 5) e da mudança brusca na distância (d) entre os perfis diário e médio (10 ou 15% para a variável p e 15 ou 25% para v ; a maior porcentagem atribuída à velocidade resulta da maior variabilidade apresentada por essa variável). O melhor cenário foi escolhido com base nos seus valores de sensibilidade (probabilidade de o método identificar um acidente que não foi identificado pela análise visual) e especificidade (probabilidade de o método não identificar um acidente que não foi detectado na análise visual). Uma sensibilidade próxima a cem por cento reduz a probabilidade do método não identificar a ocorrência de um acidente de trânsito (falso-negativo), enquanto que uma especificidade próxima a cem por cento reduz a probabilidade do método identificar uma perturbação natural do tráfego como um acidente de trânsito (falso-positivo). Dessa forma, um método com baixa sensibilidade implica em uma amostra menor, enquanto que um método com baixa especificidade implica em uma amostra viesada pela detecção de acidentes de forma errônea.

A confiabilidade dos resultados obtidos pelo método proposto foi testada ao comparar os horários estimados pelo algoritmo para alguns acidentes com os horários registrados pelo sistema de vídeo monitoramento do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR), que registra o horário em que os agentes de trânsito tomam ciência da ocorrência do acidente e do início e fim do atendimento. Uma vez que o CTAFOR registra como início do acidente o momento e que os agentes verificam a ocorrência do evento, ao passo que para o método proposto o início do acidente é quando esse começa a impactar nas condições do tráfego, espera-se que o horário estimado pelo algoritmo seja anterior ao registrado nos arquivos do CTAFOR. Enquanto que o horário estimado pelo método como o momento em que a via foi liberada esteja entre o início e o fim do atendimento registrado pelo CTAFOR. Caso os horários estimados pelo algoritmo atendam a essas condições, o método proposto será considerado satisfatório para a detecção da duração dos acidentes em vias arteriais.

3.3 Análise exploratória da duração dos acidentes

Nesta seção é detalhado o método para realizar análise exploratória do comportamento da duração dos acidentes de trânsito e identificar os fatores que a influenciam. A Figura 11 apresenta as etapas do método proposto. Espera-se como produto desta etapa uma melhor compreensão das características da duração dos acidentes de trânsito nas condições de tráfego das vias de Fortaleza e a identificação dos fatores que influenciam significativamente para essa duração, fornecendo os *inputs* necessários para a modelagem estatística proposta na próxima seção.

Figura 11 – Método para a análise exploratória da duração dos acidentes e identificação dos fatores que a influenciam



Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira etapa do método consistiu do cálculo de medidas de tendência central (média, moda, e quartis), de dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação) e de forma (índice de assimetria e curtose). Foi construído também o histograma da duração dos acidentes, buscando-se uma melhor compreensão da variável por meio de uma análise visual da sua distribuição. Em seguida, os possíveis fatores explicativos da duração dos acidentes

foram levantados com base na literatura e em hipóteses sobre as características do local de estudo. Um fator comumente encontrado na literatura com uma contribuição significativa para a duração dos acidentes é o tempo de respostas dos agentes de trânsito (que corresponde ao intervalo entre os agentes tomarem ciência do acidente e chegarem ao local da ocorrência). Dada a impossibilidade de se analisar esse fator, pela limitação dos dados disponíveis, foi utilizado como *proxy* a região da cidade em que ocorreu o acidente. O uso desse fator busca capturar o efeito da distância dos agentes ao local do acidente, uma vez que a hipótese levantada é que os agentes priorizam as regiões com maior tráfego, visto que os acidentes ocorridos nessas regiões possuem um maior impacto no fluxo de veículos. Os demais fatores analisados foram escolhidos com bases em hipóteses levantadas sobre o efeito desses na duração dos acidentes e na disponibilidade dos dados, conforme detalhado a seguir.

- I. Os acidentes sem vítimas possuem menor duração do que os acidentes com vítimas, uma vez que o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), em seu artigo 178, informa que o condutor estará cometendo uma infração média, passível de multa, caso deixe de adotar providências para remover o veículo da via em casos de acidentes sem vítima.
- II. Quanto maior o número de veículos envolvidos no acidente, maior a sua complexidade, e conseqüentemente, a sua duração.
- III. Acidentes ocorridos no centro da cidade têm uma menor duração quando comparado aos acidentes ocorridos em regiões mais periféricas, por possuir um maior fluxo de veículo e, possivelmente, maior prioridade por parte dos agentes de trânsito.
- IV. Acidentes ocorridos no horário de pico possuem uma maior duração do que os acidentes ocorridos fora do horário de pico, visto que o efetivo de agentes de trânsito pode não ser suficiente para atender as ocorrências no horário de pico e os congestionamentos podem retardar a chegada desses agentes ao local do acidente.
- V. Acidentes ocorridos em interseções podem apresentar menor duração quando comparado a acidentes ocorridos em meio de quadra por, geralmente, terem maior impacto no tráfego, possuindo assim uma maior prioridade por parte dos agentes de trânsito.
- VI. Acidentes com colisão traseira duram menos do que acidentes com colisão lateral ou transversal, por ser mais fácil de definir o culpado, existindo uma

maior possibilidade de não precisar do auxílio dos agentes de trânsito para resolver a situação.

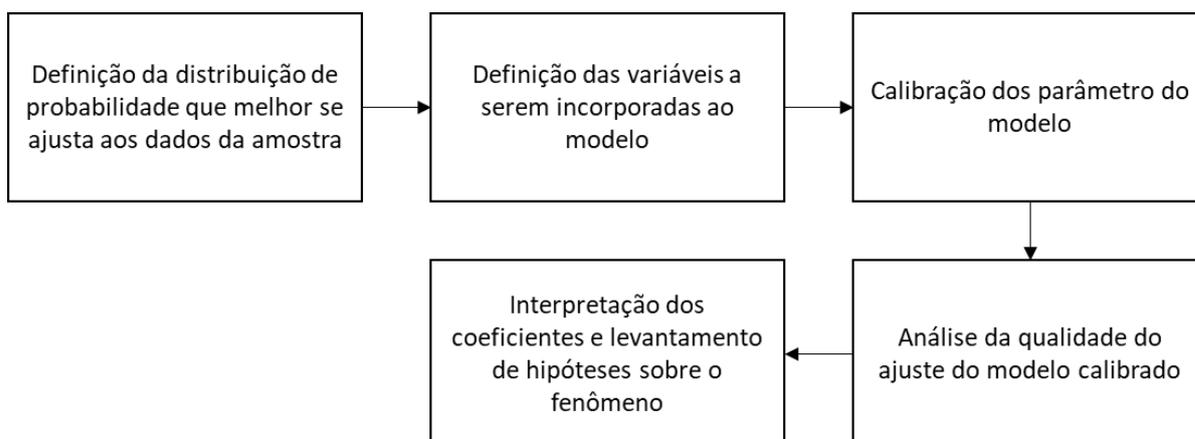
- VII. Acidentes ocorridos em locais com maior fluxo tendem a ter uma menor duração, por ter prioridade por parte dos agentes de trânsito, devido ao maior impacto gerado no congestionamento.

Para analisar a significância estatística dos potenciais fatores explicativos foi utilizado o teste da Análise de Variância (ANOVA) de um fator, caso as premissas do teste de que as distribuições populacionais são todas normais e têm a mesma variância fossem atendidas. Para os casos em que as premissas da ANOVA não foram verificadas, foi utilizado o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis* que não assume as premissas de normalidade e mesma variância. Além disso, foi feita uma análise visual da curva de sobrevivência estratificada em cada fator para entender melhor como esses fatores influenciam a duração dos acidentes de trânsito ao longo do tempo.

3.4 Modelagem estatística

A análise do efeito conjunto dos fatores explicativos na duração dos acidentes foi realizada utilizando o modelo baseado em risco (*Hazard Based Model*), a partir da abordagem paramétrica *Accelerated Failure Time* (AFT), mais utilizada para esse tipo de análise, conforme visto no capítulo 2. Esse modelo foi escolhido baseado na premissa de que os fatores explicativos atuam acelerando (ou desacelerando) a duração do acidente, por exemplo, a solução do acidente será acelerada (e conseqüentemente a sua duração será menor) se os condutores chegarem a um acordo e removerem os veículos da via por conta própria ou se os agentes de trânsito estiverem próximo ao local do acidente no momento em que ele ocorrer. A Figura 12 mostra as etapas executadas na modelagem da duração dos acidentes de trânsito.

Figura 12 – Etapas para o desenvolvimento da duração dos acidentes de trânsito



Fonte: Elaborado pelo autor

Para calibrar o modelo paramétrico AFT, a primeira etapa consiste em analisar qual distribuição de probabilidade conhecida possui o melhor ajuste à função de sobrevivência da duração dos acidentes. Para isso, foi construído o gráfico de probabilidade para cada distribuição. Os gráficos de probabilidade comparam os percentis dos dados da amostra e os percentis correspondentes da distribuição considerada, caso a distribuição possua um bom ajuste aos dados, o gráfico resultante será próximo a uma reta com inclinação de 45°. Além da análise visual dos gráficos de probabilidade, foi realizado o teste estatístico de Anderson-Darling, que tem a hipótese nula que os dados seguem uma distribuição específica. No geral, quanto melhor o ajuste da distribuição à amostra, menor será a estatística AD.

Após a definição da distribuição de probabilidade que melhor se ajusta aos dados foi feita a seleção do conjunto de fatores explicativos da duração dos acidentes que apresentou o melhor ajuste ao modelo. A seleção foi realizada por meio da técnica de *stepwise*, que realiza interações adicionando ou retirando variáveis explicativas do modelo a partir do conjunto de fatores disponíveis. O critério utilizado para selecionar o melhor modelo foi o indicador *Akaike Information Criteria* (AIC) que compara os modelos baseando-se no equilíbrio entre o viés e a variância que a inclusão de variáveis incorpora aos modelos. O modelo que apresenta o menor valor de AIC é considerado o mais equilibrado. Em seguida, foi realizada a calibração dos parâmetros do modelo utilizando o método de maximização da verossimilhança. A qualidade do ajuste global do modelo calibrado e da significância estatística dos fatores incorporados foi analisada a partir da análise dos sinais dos coeficientes e da estatística da razão da verossimilhança que compara a verossimilhança com e sem a presença do fator no modelo.

Por fim, foi realizada a interpretação dos coeficientes calibrados pelo modelo para entender a influência desses na duração dos acidentes de trânsito. Conforme visto no capítulo 2, o efeito do fator na duração dos acidentes é obtido ao calcular o exponencial do seu coeficiente. Além da análise dos valores dos coeficientes, foram plotadas as curvas de sobrevivência do modelo calibrado para entender melhor o efeito conjunto desses coeficientes na duração dos acidentes e auxiliar no levantamento de hipóteses sobre o fenômeno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos na aplicação dos métodos detalhados no capítulo anterior. Inicialmente, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do método proposto para extrair a duração dos acidentes de trânsito de dados de tráfego registrados por equipamentos de fiscalização eletrônica, em seguida é apresentada a análise exploratória da duração dos acidentes da amostra obtida. Por fim, é feita a modelagem para entender os efeitos dos fatores explicativos na duração dos acidentes de trânsito em Fortaleza.

4.1 Extração da duração dos acidentes de trânsito de dados de tráfego registrados por equipamentos de fiscalização eletrônica.

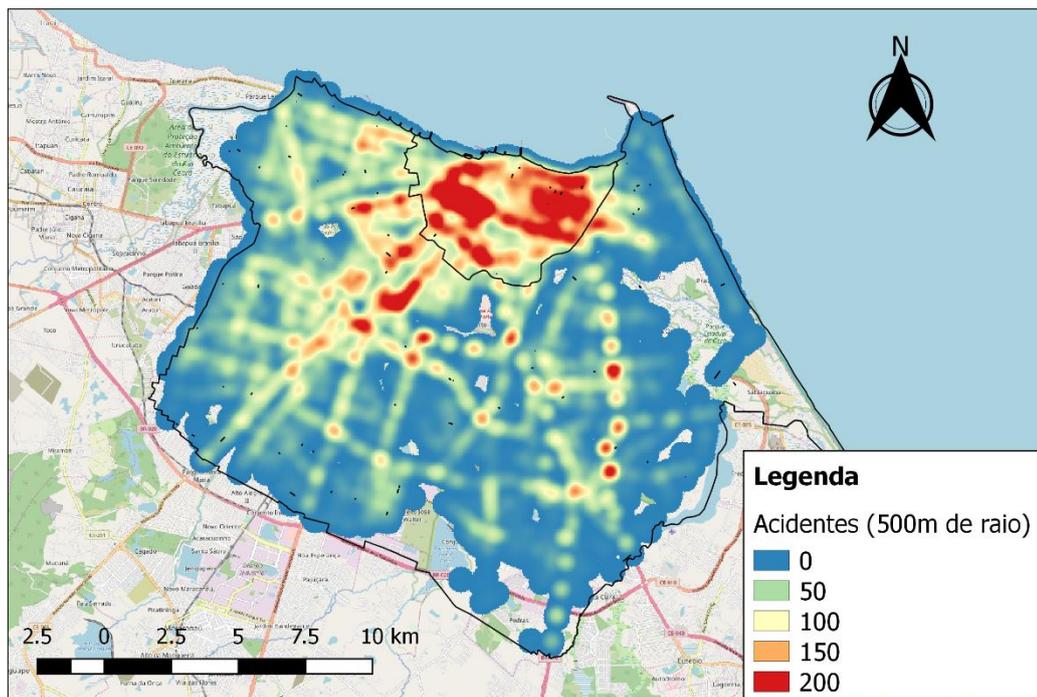
Nesta seção os resultados são apresentados e analisados em quatro etapas. Inicialmente é feita a caracterização e processamento do banco de dados. Em seguida, são apresentados os resultados do estudo de caso para definição dos critérios de detecção dos horários de início do acidente e liberação da via. Na sequência, os resultados da aplicação do método para todo o banco de dados são apresentados e analisados. Por fim, é mostrado o resultado da validação do método por meio da comparação do horário de alguns acidentes detectados e que também foram observados pelo sistema de vídeo monitoramento do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR).

4.1.1 Coleta e Caracterização dos dados

Conforme dito no capítulo anterior, esse trabalho analisou apenas os acidentes de trânsito ocorridos no município de Fortaleza, não sendo considerados outros tipos de incidentes de trânsito, como quebra de veículos na via ou pane nos semáforos. Os dados dos acidentes foram obtidos junto à prefeitura de Fortaleza por meio do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT) e contemplam os acidentes de trânsitos ocorridos entre janeiro de 2015 e dezembro de 2017. Foram obtidos 52.503 acidentes para o período de três anos (16.871 em 2015, 18.844 em 2016 e 16.788 em 2017). A Figura 13 mostra o mapa de calor desses acidentes, por ela é possível perceber uma maior concentração de acidentes na região central da cidade (região em vermelho) que concentra a maior parte dos postos de trabalho da cidade de Fortaleza. Enquanto que na periferia existe uma maior concentração dos acidentes

nas principais vias arteriais da cidade (regiões em amarelo). O banco de dados possui informações, como: localização, data, horário reportado, gravidade, natureza e número de veículos envolvidos. Entretanto, não foram fornecidas informações do horário exato do início do acidente e da remoção dos veículos da via, sendo necessário obter essas informações de outra fonte.

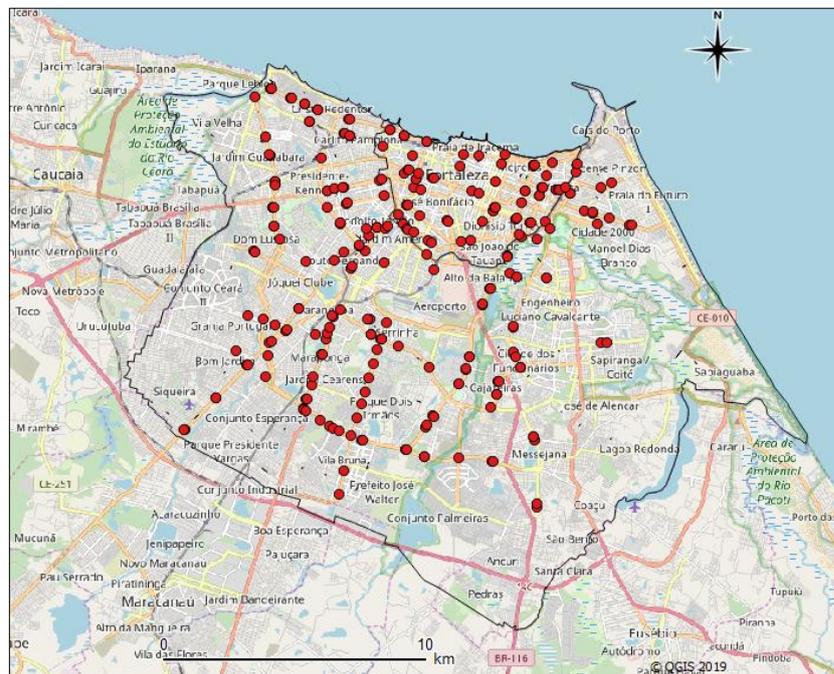
Figura 13 – Mapa de calor dos acidentes de trânsito em Fortaleza entre 2015 e 2017



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados de tráfego foram fornecidos pela Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC) para o mesmo período dos acidentes (2015 a 2017). As informações foram registradas por equipamentos de fiscalização eletrônica no menor nível de agregação possível, uma vez que cada observação equivale à passagem de um veículo. Foram obtidos dados de 251 equipamentos localizados em todas as regiões da cidade, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Distribuição espacial dos equipamentos de fiscalização eletrônica



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2 Processamento do banco de dados

Inicialmente foi realizada uma análise da consistência dos registros do banco de dados de acidentes de trânsito, excluindo os que possuíam falhas nas informações. Além disso, acidentes que ocorreram em períodos de baixo fluxo também foram excluídos do banco de dados, visto à dificuldade do método proposto em detectar a duração dos acidentes ocorridos nessas condições de tráfego. Foram considerados períodos de baixo fluxo os finais de semana (sábado e domingo) e o período das 19:00h às 06:00h de dias úteis. Além disso, foram removidas as informações consideradas irrelevantes para o objetivo dessa pesquisa.

Os dados de tráfego foram fornecidos em arquivos .CSV em que cada arquivo contém os dados registrados durante um dia (00:00:00 às 23:59:59), para cada passagem de veículo, por todos os equipamentos de fiscalização. Os arquivos fornecidos possuem um tamanho médio de 200Mb e milhões de linhas de informações. Com o objetivo de deixar os dados em um formato mais apropriado e reduzir o custo computacional do método de detecção, os arquivos .CSV diários com as informações de todos os equipamentos foram transformados em arquivos por equipamento com informações agregadas em um minuto, para cada faixa de rolamento, para o período de um ano. Além disso, os campos tamanho e velocidade regulamentada foram removidos do conjunto de dados, uma vez que não eram do interesse desta

pesquisa. Os arquivos resultantes tem um tamanho médio de 27Mb e 700 mil linhas de informações. A Tabela 1 mostra as cinco primeiras linhas de um desses arquivos.

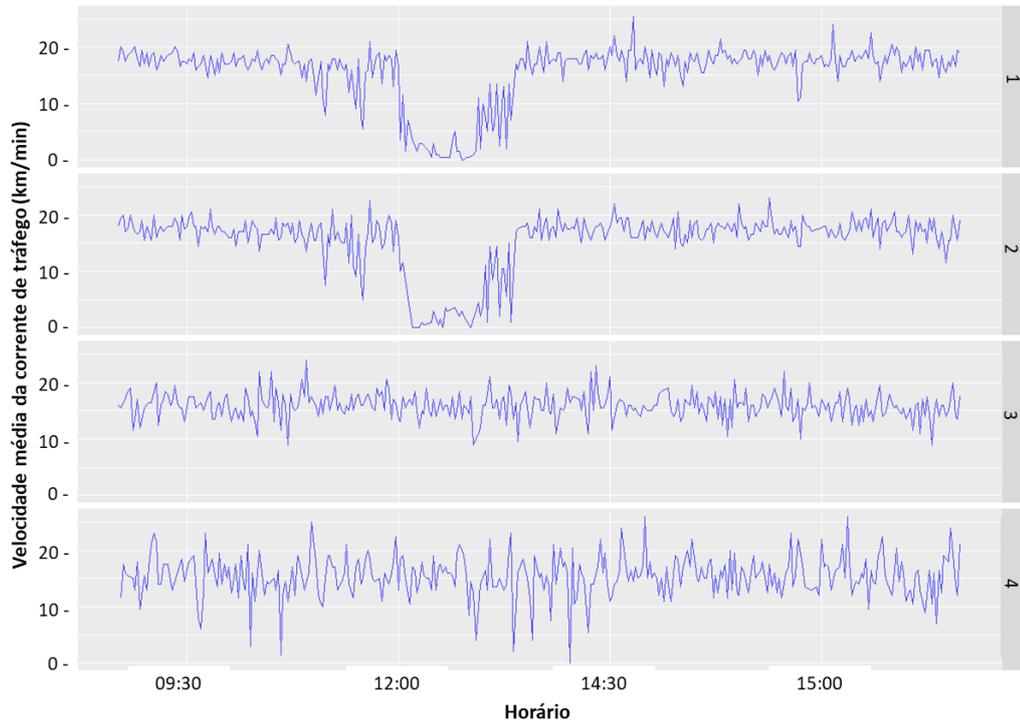
Tabela 1 - Exemplo do banco de dados gerado

CE	FAIXA	TIPO	DATA	HORA	VOLUME	VEL.MEDIA
1385166	1	0	05/01/2015	00:00:00	1	42
1385166	1	0	05/01/2015	00:01:00	2	26
1385166	2	0	05/01/2015	00:01:00	2	42
1385166	1	0	05/01/2015	00:02:00	1	21
1385166	2	0	05/01/2015	00:02:00	2	34

Fonte: Elaborado pelo autor

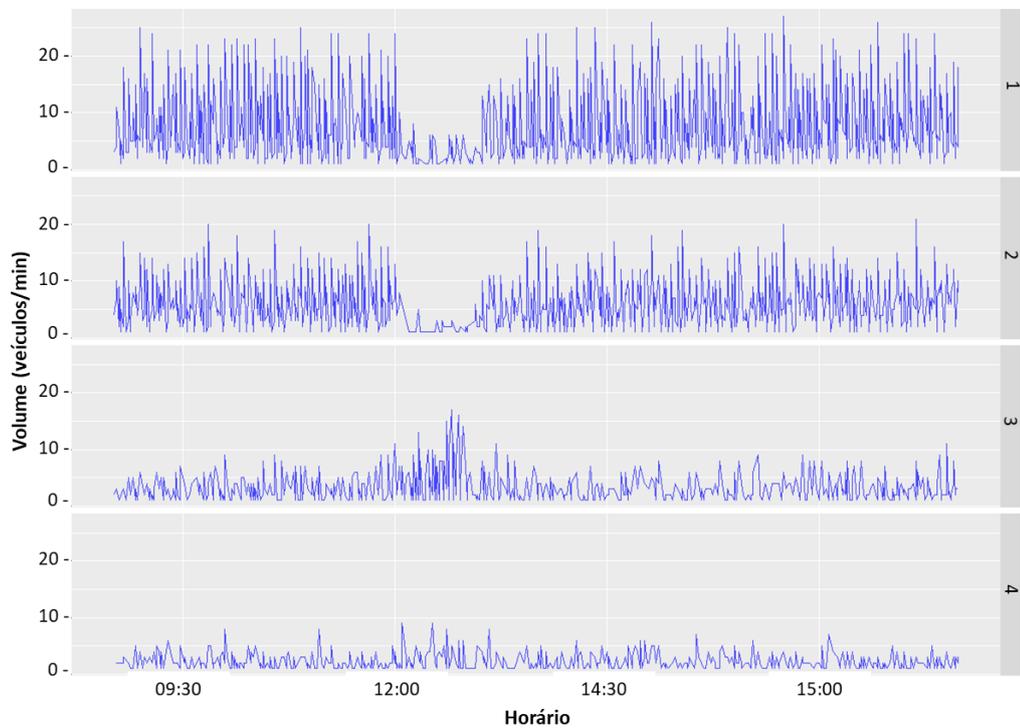
A hipótese de que as condições de tráfego de cada faixa da via sofrem impactos diferentes após um acidente de trânsito foi testada por meio de uma análise visual dos gráficos de velocidade e volume, por faixa, próximo ao local de ocorrência de um acidente de trânsito. A Figura 15 mostra o gráfico de velocidade, agregado em um minuto, para uma via com 4 faixas de rolamento. Por meio desse, é possível perceber uma queda brusca na velocidade dos veículos que trafegavam pelas faixas 1 e 2, próximo ao horário de meio dia (horário do acidente reportado no banco de dados), enquanto essa queda não é observada para as faixas 3 e 4. A Figura 16 mostra uma queda no volume de veículos que utilizavam as faixas 1 e 2 e um aumento no volume de veículos na faixa 3. Esses resultados mostram que, provavelmente, o acidente obstruiu as faixas 1 e 2 da via, enquanto as faixas 3 e 4 continuaram livres, causando um maior impacto nas duas primeiras. Assim, decidiu-se por realizar as análises da duração dos acidentes para cada faixa da via, uma vez que realizar essa análise para a via como um todo (fazendo uma média das variáveis de tráfego) iria suavizar o impacto dos acidentes nas condições de tráfego e tornar sua detecção mais complexa.

Figura 15 – Perfil de velocidade próximo ao horário de um acidente de trânsito



Fonte: Elaborado pelo autor

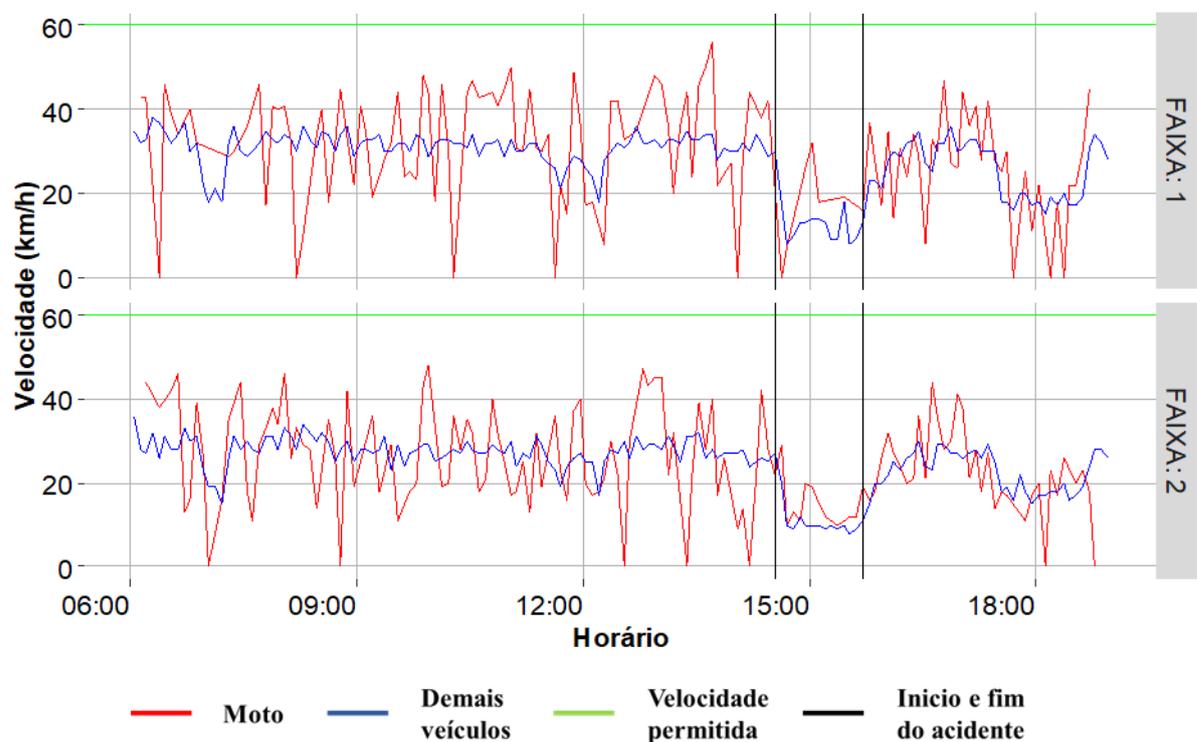
Figura 16 - Perfil do volume veicular próximo ao horário de um acidente de trânsito



Fonte: Elaborado pelo autor

A hipótese de que as motocicletas possuem maior variabilidade no perfil de velocidade, quando comparado aos demais veículos, e maiores velocidades em vias obstruídas parcialmente foi testada ao analisar o perfil dessa variável para os dois tipos de veículos. A Figura 17 mostra os perfis de velocidade obtidos, na qual as motocicletas apresentam maior variabilidade na velocidade em condições normais do tráfego e uma maior velocidade no período próximo ao horário reportado do acidente (15:00h). Assim, a hipótese levantada foi confirmada e os dados de tráfego atribuídos às motocicletas foram removidos do banco de dados.

Figura 17 – Perfil de velocidade de motocicletas e demais veículos próximos ao horário de um acidente de trânsito

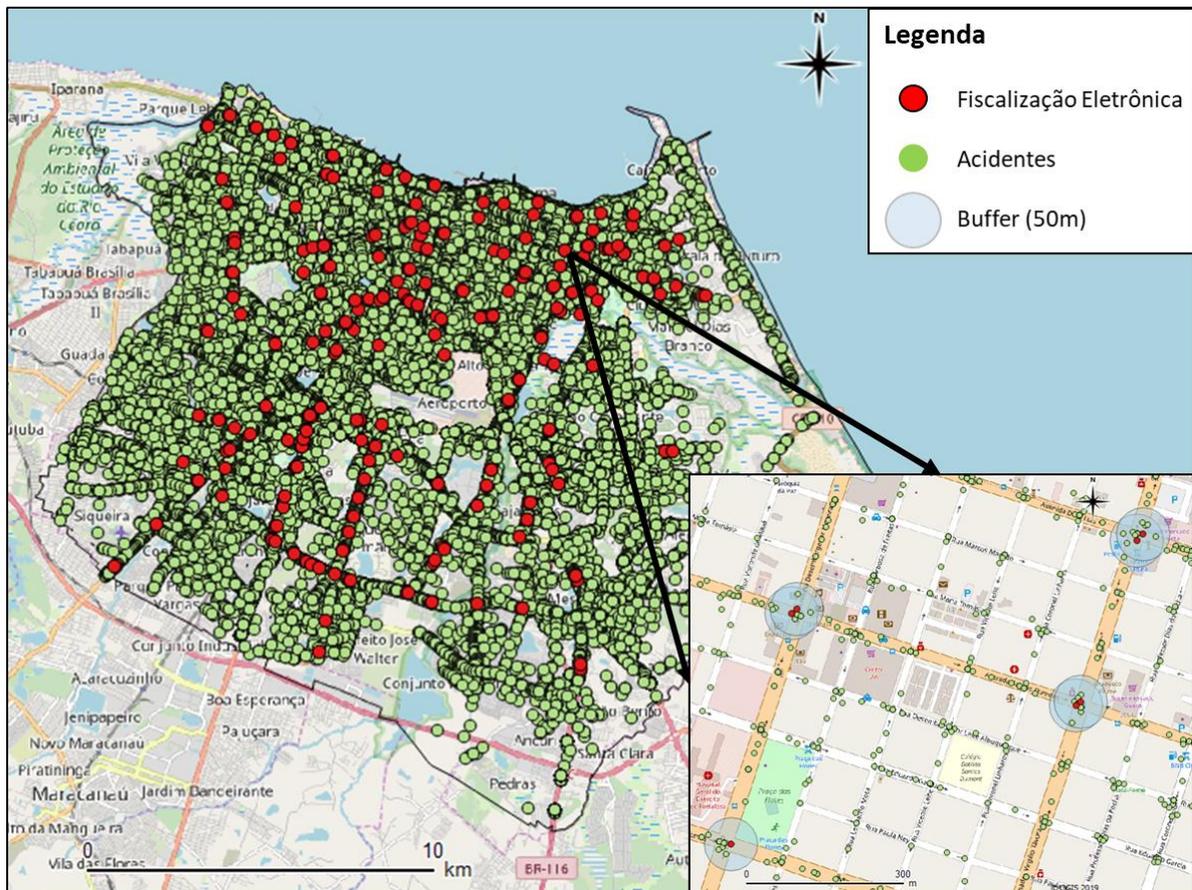


Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, para integrar os bancos de dados de acidentes de trânsito e de tráfego definiu-se uma distância máxima de 50 metros entre a localização do acidente e do equipamento de fiscalização eletrônica de velocidade. Essa distância foi selecionada a partir de análises visuais da disposição dos acidentes e dos equipamentos de fiscalização utilizando o software QGIS®. Os critérios para a seleção foi evitar a atribuição de acidentes que não ocorreram na mesma via do equipamento relacionado, mas não adotar uma distância muito pequena que pudesse resultar em uma amostra reduzida de acidentes. A Figura 18 mostra a distribuição dos

equipamentos de fiscalização e dos acidentes e o buffer com raio de 50 metros, centralizado no equipamento de fiscalização. A integração dos dados resultou em um banco de dados com informações de 2.557 acidentes de trânsito.

Figura 18 – Distribuição dos acidentes e eq. de fiscalização e detalhe do buffer de distância



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Estimativa da duração dos acidentes a partir de dados de tráfego

Esta seção apresenta os resultados obtidos com a aplicação do método proposto na seção 3.2. Inicialmente, é feita uma análise das variáveis de tráfego disponíveis. Em seguida, o método é descrito junto com o estudo piloto realizado para definir os melhores valores dos parâmetros utilizados no método. Por fim, a etapa de validação do método é detalhada.

4.2.1 Análise das variáveis de tráfego a serem utilizadas para detectar a duração dos acidentes

Para testar o potencial do uso das variáveis de tráfego (volume veicular, velocidade

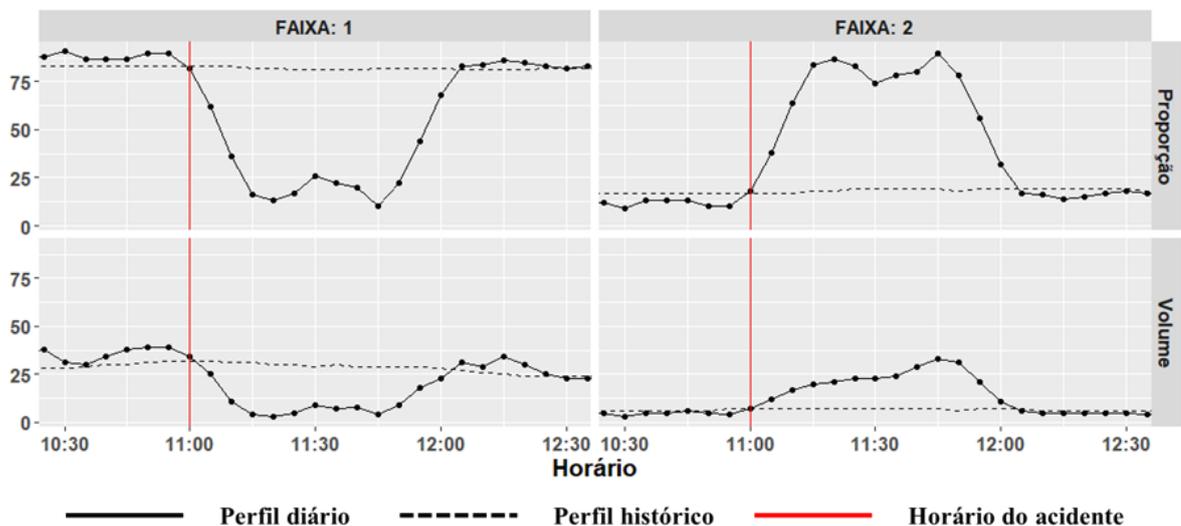
e proporção do volume por faixa) na detecção da duração dos acidentes foi calculado o coeficiente de variabilidade médio para as três variáveis (para um mês de observação de uma via com três faixas), os valores obtidos são apresentados na Tabela 2. Os resultados mostram que a variável p apresenta uma variabilidade consideravelmente menor do que o volume (cerca de 42%) e a velocidade (16%). Além disso, a Figura 19 mostra o perfil, por faixa, do volume e da proporção do volume por faixa durante a ocorrência de um acidente de trânsito. Ao comparar os perfis, percebe-se que p apresenta uma maior sensibilidade à ocorrência de um acidente de trânsito, uma vez que, no geral, o acidente obstrui parcialmente a via, forçando um maior fluxo pelas faixas livres.

Tabela 2 - Coeficiente de variabilidade para as variáveis de tráfego

Intervalo de agregação	f	v	p
3min	36	25	21
5min	31	22	18

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19 - Perfis médio e diário do volume e da proporção do volume durante um acidente



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2 Estudo piloto para definição dos critérios a serem adotados para detecção da duração dos acidentes

O estudo piloto para definir os valores de (t) , (n) , e (d) que fornecem os melhores resultados para o método foi feito com 100 acidentes de trânsito retirados de forma aleatória da base de dados. Porém, não foram encontrados dados de tráfego para 20 dos 100 acidentes (por

algum motivo o equipamento de fiscalização não estava ativo no momento do acidente).

Foram testados oito cenários com base nos valores do intervalo de agregação (t) (3 ou 5 min.), do número mínimo (n) de intervalos de agregação subsequentes (3 ou 5) e da mudança brusca na distância (d) entre os perfis diário e histórico (10 ou 15% para v e 15 ou 25%). Os horários de início do acidente, de liberação da via e de retorno do tráfego às condições normais foram estimados por uma análise visual dos perfis de velocidade e proporção do volume e pelo o algoritmo desenvolvido para os 80 acidentes da amostra.

Os resultados obtidos nos dois casos foram comparados para verificar a consistência nas estimativas do algoritmo. Conforme descrito no capítulo anterior, o melhor cenário foi escolhido com base na sensibilidade (probabilidade de o método identificar um acidente que foi identificado pela análise visual) e especificidade (probabilidade de o método não identificar um acidente que não foi detectado na análise visual) que possui um maior peso no critério para evitar a detecção de acidentes de forma errônea.

A análise visual identificou a duração de 31 dos 80 acidentes (39% da amostra). A Tabela 3 mostra o número de acidentes detectados pelo algoritmo para cada cenário, quantos desses acidentes estavam dentro dos 31 acidentes detectado na análise visual e os valores da sensibilidade e especificidade do método. Os cenários 4 e 8 apresentaram a maior especificidade (resultado esperado, visto que esses cenários possuem critérios de detecção mais rígidos e se diferenciam apenas pelo tamanho do intervalo de agregação) e valores próximos de sensibilidade. O cenário 4 foi então escolhido por conseguir detectar acidentes com menor tempo de impacto no tráfego do que o cenário 8 (a partir de 15 minutos e 25, respectivamente).

Tabela 3 – Resultado obtido no estudo piloto para os oitos cenários analisados

Cenário	t (min)	n	d (%)		N° de Acidentes detectados		Sensibilidade (%)	Especificidade (%)
			v	p	Total	Certos		
1	3	3	10	15	28	16	73	79
2	3	3	15	25	25	15	68	83
3	3	5	10	15	23	13	59	83
4	3	5	15	25	18	15	68	95
5	5	3	10	15	27	16	73	81
6	5	3	15	25	24	15	68	84
7	5	5	10	15	23	15	68	86
8	5	5	15	25	17	14	64	95

Fonte: Elaborado pelo autor

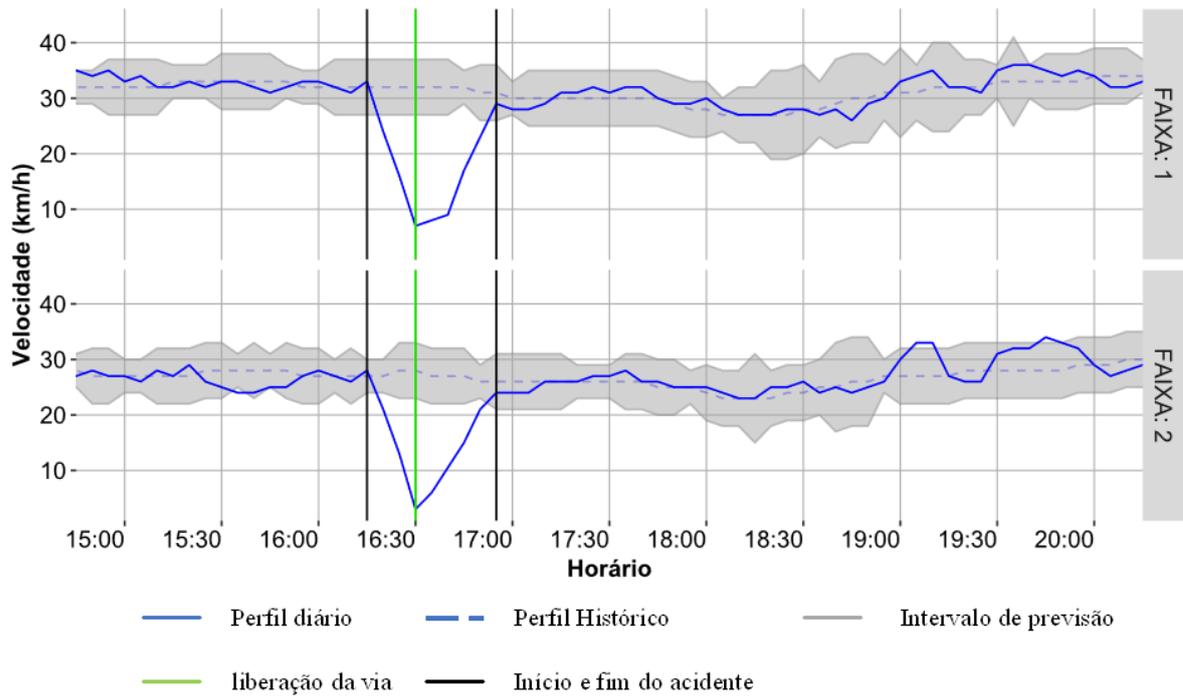
4.2.3 Detecção dos horários dos acidentes de trânsito

As Figuras 20 e 21 apresentam o perfil de velocidade e da proporção do volume por faixa, respectivamente, de um acidente detectado pelo algoritmo. O horário reportado pelos agentes de trânsito para o acidente observado foi de 16h:30min. Entretanto, o algoritmo estimou o início do acidente às 16h:15min, ao verificar uma queda brusca da velocidade e uma alteração significativa na proporção do volume de veículos que passam por cada faixa, com essas variáveis ficando abaixo do intervalo de previsão do perfil histórico até às 16h:55min, momento em que o acidente deixa de ter influência nas condições do tráfego, segundo os critérios adotados.

O momento em que a via foi liberada foi estimado ao analisar o período entre o início e o fim do acidente em busca de um aumento significativo na velocidade dos veículos e uma mudança significativa na proporção de veículos em cada faixa durante intervalos de agregação sucessivos. O algoritmo estimou que a via foi liberada às 16h:30min (horário reportado no banco de dados). Assim, segundo o método proposto, os veículos obstruíram a faixa 2 da via por 15 minutos e o congestionamento observado deixou de ter influência do acidente 25 minutos após a liberação da via.

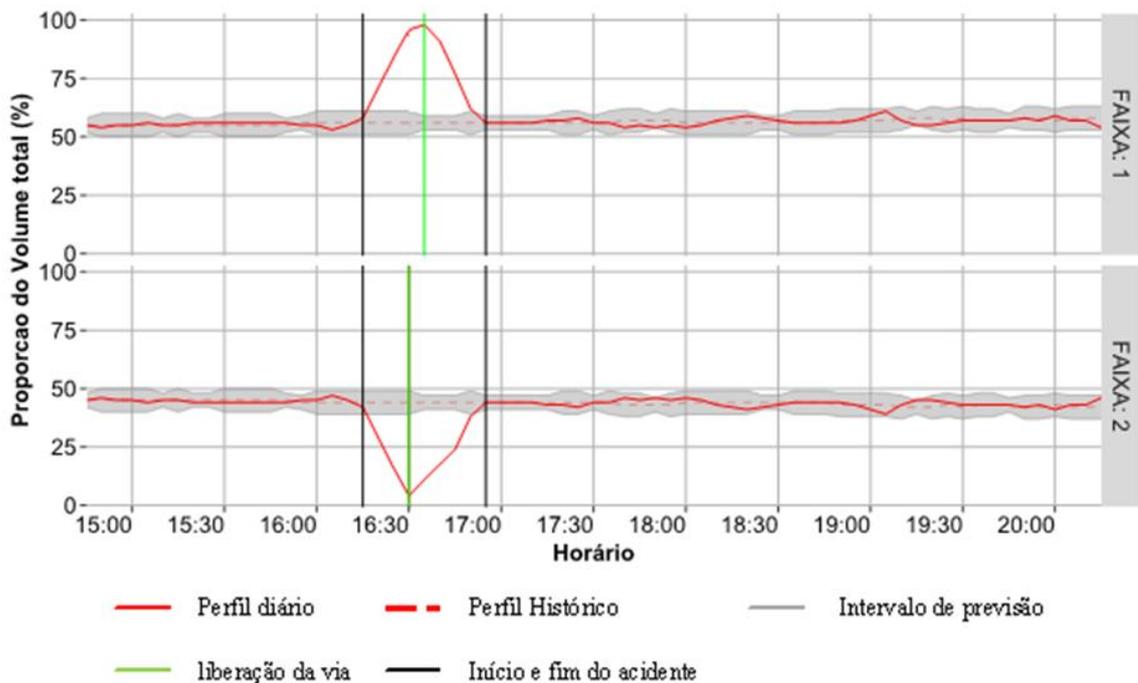
A partir da análise visual dos perfis de velocidade e proporção do fluxo é possível perceber uma estimativa coerente dos horários de início do acidente, liberação da via e retorno às condições normais por parte do método proposto. O fato de o horário reportado pelos agentes coincidir com o momento em que às condições de tráfego começam a retornar para as condições normais indica que os agentes reportaram como horário do acidente o momento em que a via foi liberada.

Figura 20 – Perfil de velocidade e estimativa da duração do acidente de trânsito



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21 - Perfil da proporção do volume por faixa e estimativa da duração do acidente

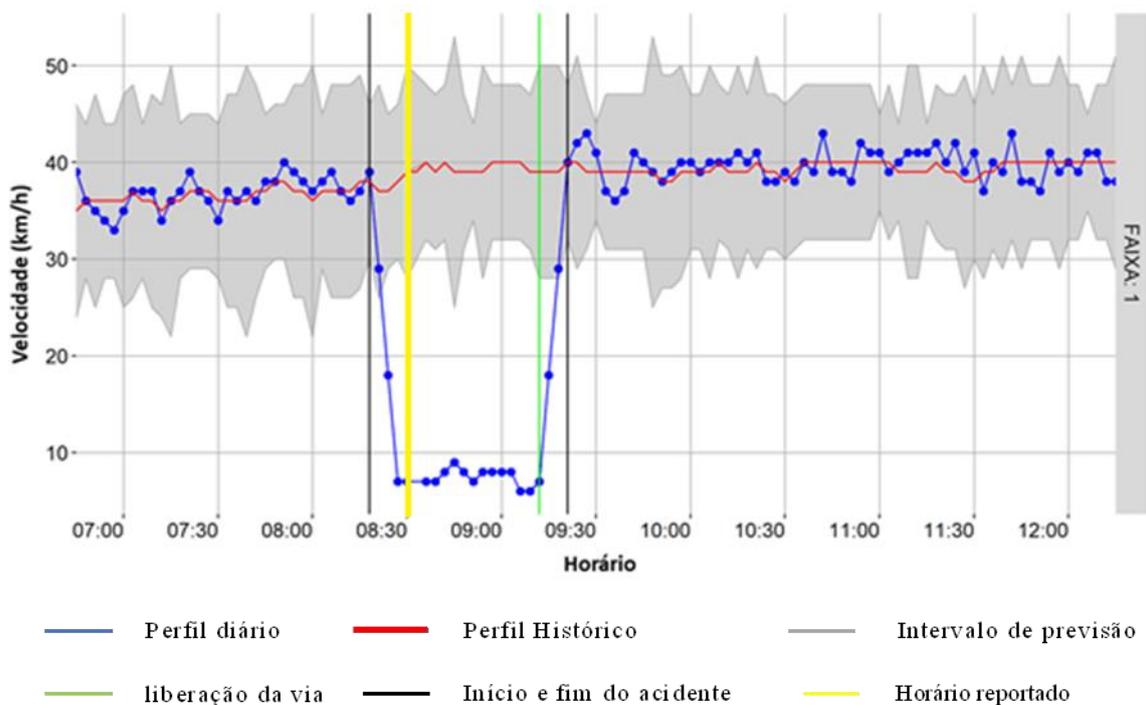


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 22 mostra o caso de detecção da duração do acidente de trânsito para o caso da via possuir apenas uma faixa de rolamento por sentido, onde apenas o perfil de velocidade dos veículos é analisado. O horário reportado do acidente foi às 08h:30min,

entretanto o algoritmo detectou o início do acidente às 08h:18min, ao verificar uma queda brusca da velocidade com uma sequência de intervalos de agregação em que a velocidade fica abaixo do intervalo inferior do perfil médio. O momento de liberação da via é estimado pelo algoritmo como às 09h:12min, ao verificar um aumento significativo na velocidade dos veículos, que continua nos intervalos subsequentes. Às 09h:21min, as condições de tráfego voltam ao padrão esperado segundo o método proposto. Assim, o tempo total em que a via ficou obstruída foi de 54 minutos e o tráfego voltou às suas condições normais 9 minutos após a remoção dos veículos da via. Novamente, uma análise visual do perfil de velocidade do método apresenta uma coerência nas estimativas feitas pelo algoritmo.

Figura 22 - Perfil de velocidade e estimativa da duração do acidente para via com uma faixa



Fonte: Elaborado pelo autor

O algoritmo desenvolvido foi aplicado para os 2.557 acidentes do banco de dados e conseguiu obter a duração de 442 acidentes, aproximadamente, 17% do total de acidentes. Entretanto, como visto no estudo piloto, aproximadamente 20% dos acidentes não possuíam os dados de tráfego correspondente, ou seja, o método detectou a duração de, aproximadamente, 22% dos acidentes com informações disponíveis. O baixo percentual também se deve ao fato de que em alguns casos o acidente pode ter ocorrido no sentido oposto ao monitorado pelo equipamento de fiscalização ou ter impactado no tráfego por menos de 15 minutos,

impossibilitando a sua detecção.

A análise visual completar dos perfis de velocidade e proporção do volume dos 442 acidentes excluiu 117 acidentes, por não ser possível detectar com precisão algum dos horários estimados pelo método. Assim, a amostra final obtida pelo método proposto contém 324 acidentes de trânsito.

4.2.4 Validação do método

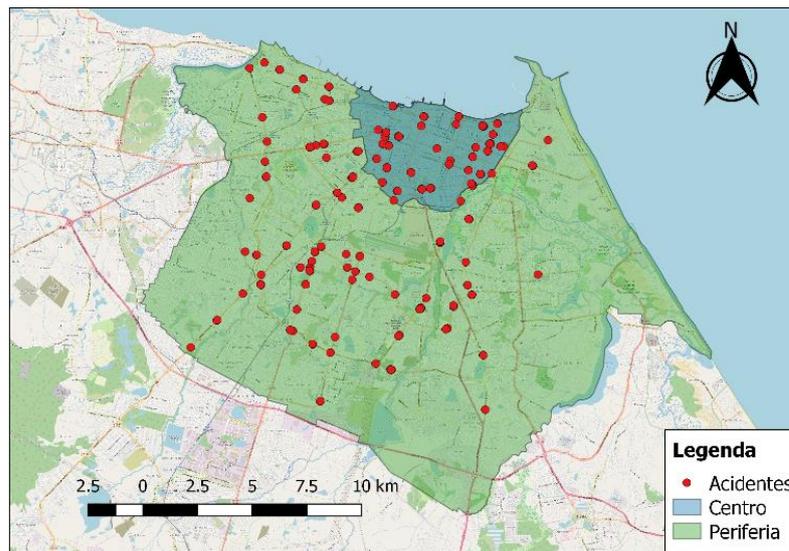
Para validação do método foram analisados 10 acidentes de trânsito detectados pelo algoritmo e também observados pelo sistema de vídeo monitoramento do Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR). O baixo número de acidentes utilizados para validação do método decorre do fato de que poucas áreas possuem monitoramento por equipamento de fiscalização eletrônica e sistema de vídeo monitoramento simultaneamente. O Banco de dados fornecido pelo CTAFOR possui 313 acidentes, ocorridos entre abril e outubro de 2017, entretanto, apenas 10 desses acidentes estavam dentro dos 324 acidentes detectados previamente. Entre os dados fornecidos pelos registros do CTAFOR, estão: i) horários de detecção do acidente (momento em que o acidente é observado pelos agentes de trânsito por meio das câmeras instaladas próximo a via ou em que é reportado por uma pessoa presente no local por meio de telefonema. ii) início do atendimento: momento em que os agentes de trânsito chegam ao local do acidente de trânsito; iii) fim do atendimento: momento em que os agentes de trânsito deixam o local do atendimento.

Para os 10 acidentes o horário detectado pelo método como o início do acidente foi anterior ao horário registrado pelo CTAFOR. Para o momento de desbloqueio da via, em 6 dos 10 acidentes, o horário estimado pelo método ficou entre o início e fim do atendimento registrado pelo vídeo monitoramento, em três o horário estimado foi de, no máximo, 5 minutos antes do horário registrado como início do atendimento e em um o horário de início do atendimento não foi registrado pelo CTAFOR, entretanto, o horário registrado pelo método ficou entre o horário de detecção e o fim do atendimento. Apesar do baixo número de acidentes usados, o que prejudicou uma validação mais consistente, os resultados obtidos sugerem que o método é adequado para detectar a duração de acidentes de trânsito ocorridos em vias de fluxo interrompido, uma vez que foram ao encontro dos resultados esperados, quando comparados com os horários registrados pelo sistema de vídeo monitoramento.

4.3 Análise exploratória da duração dos acidentes de trânsito

A Figura 23 mostra a distribuição geográfica dos 324 acidentes detectados pelo método, onde é possível perceber uma distribuição por todo o município de Fortaleza, sendo detectados acidentes em quase todos os equipamentos de fiscalização.

Figura 23 – Distribuição espacial dos acidentes detectados



Fonte: Elaborado pelo autor

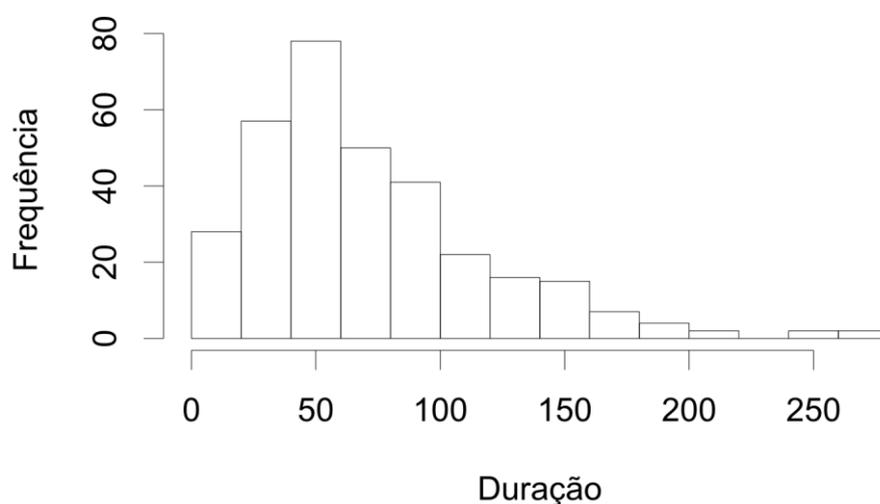
A Tabela 4 mostra as estatísticas da duração dos acidentes detectados na seção anterior. A duração média observada foi de 72 minutos, com um desvio padrão de 48 minutos, indicando uma alta variabilidade da variável, indo ao encontro dos resultados encontrados em estudos anteriores. Essa distribuição é apresentada no histograma da Figura 24, onde é possível perceber que a maioria das durações dos acidentes ficam abaixo da média, mas existe um número considerável de acidentes com longas durações. A alta variabilidade da duração dos acidentes indica que alguns fatores devem exercer uma influência significativa na probabilidade de um acidente acabar logo ou levar horas para ser solucionado, fato analisado nas próximas seções. Ressalta-se que, caso se confirme a premissa de que os acidentes com vítimas possuem maior duração, a média da duração dos acidentes em Fortaleza pode ser um pouco maior do que 72 minutos, uma vez que a amostra obtida possui uma proporção menor desse tipo de acidente.

Tabela 4 – Estatística da amostra da duração dos acidentes em Fortaleza

Variável	Valor	Variável	Valor
Tamanho da amostra	324	1º quartil	39 (min)
Média	72 (min)	Mediana	60 (min)
Desvio padrão	48 (min)	3º quartil	93 (min)
Mínimo	9 (min)	Assimetria	1,27
Máximo	210 (min)	Curtose	2,02

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24 – Histograma da duração dos acidentes detectados



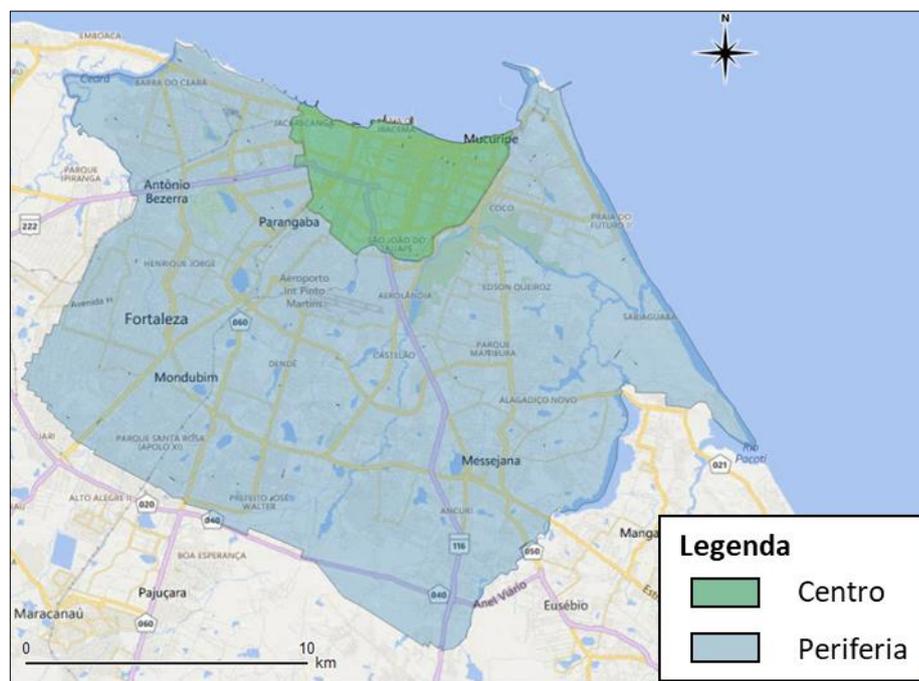
Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Identificação dos potenciais fatores explicativos da duração dos acidentes de trânsito

Os potenciais fatores explicativos da duração dos acidentes foram definidos com base na revisão da literatura e nas hipóteses levantadas sobre o fenômeno no capítulo 2, considerando-se a limitação na disponibilidade de dados para realização da pesquisa. Os fatores analisados foram: i) Zona (centro ou periferia), conforme apresentado na Figura 25, essa variável foi utilizada como *proxy* da distribuição dos agentes de trânsito pelo município, uma vez que se espera que eles priorizem os locais com maiores congestionamentos; Período (pico ou entre picos), sendo considerado como períodos de pico os horários entre 06h:00min e 09h:00min, 12h:00min e 13h:00min e 17h:00min e 19h:00min. iii) Local (interseção ou meio de quadra); iv) gravidade (com ou sem vítimas); v) Natureza (colisão lateral/transversal ou colisão traseira) divisão definida com base na hipótese de que acidentes com colisões laterais ou transversais são mais complexos de serem resolvidos e possuem, geralmente, maior

gravidade quando comparado aos acidentes com colisão traseira. Ressalte-se que o tamanho da amostra não permitiu a análise dos demais tipos de acidente (por exemplo: atropelamento, tombamento, queda); vi) Número de veículos envolvidos (até dois veículos ou mais de dois veículos) categorização utilizada por conta do tamanho da amostra para acidentes com mais de dois veículos; vii) Envolvimento de veículos pesados (sim ou não); viii) Relação entre o volume de veículos e a capacidade da via ($V/C < 0,5$; $0,5 \leq V/C < 0,75$ e $V/C \geq 0,75$); ix) Dia da semana (Segunda, Terça, Quarta, Quinta e Sexta).

Figura 25 – Divisão do município de Fortaleza em duas regiões

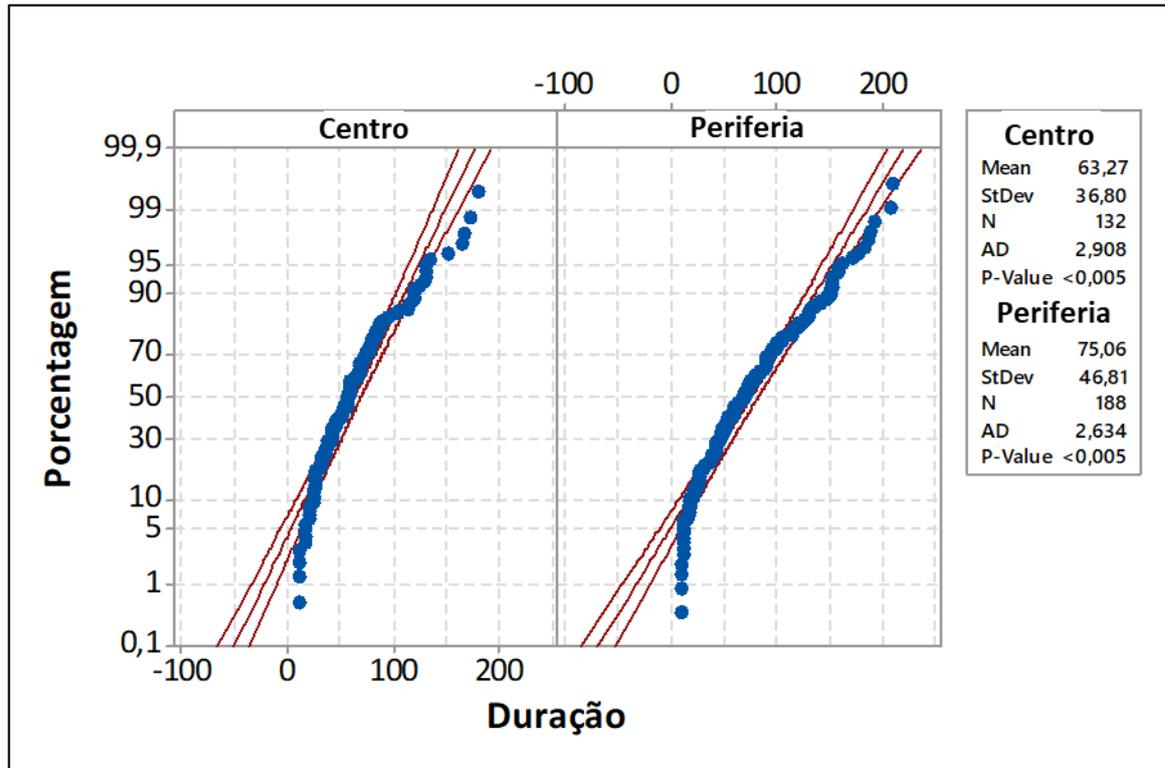


Fonte: Elaborado pelo autor

Para testar se a influência de um fator é estatisticamente significativa na duração dos acidentes (sem considerar o efeito dos outros fatores) foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis que não assume as premissas de que as distribuições são normais para todos os níveis dos fatores e possuem a mesma variância como no teste de Análise de Variância (ANOVA). Essas premissas foram testadas para cada fator e rejeitadas para todos. As Figuras 26 e 27 mostram os resultados dos testes de normalidade e mesma variância, respectivamente, para o fator zona. Ao analisar o gráfico de probabilidade é possível perceber que os dados não se ajustam bem à reta de inclinação, indicando que a distribuição normal não possui um bom ajuste aos dados, fato confirmado pelo teste estatístico de Anderson-Darling (valor-p menor do que 0,05). Enquanto que os intervalos de confiança dos desvios padrão das amostras não se

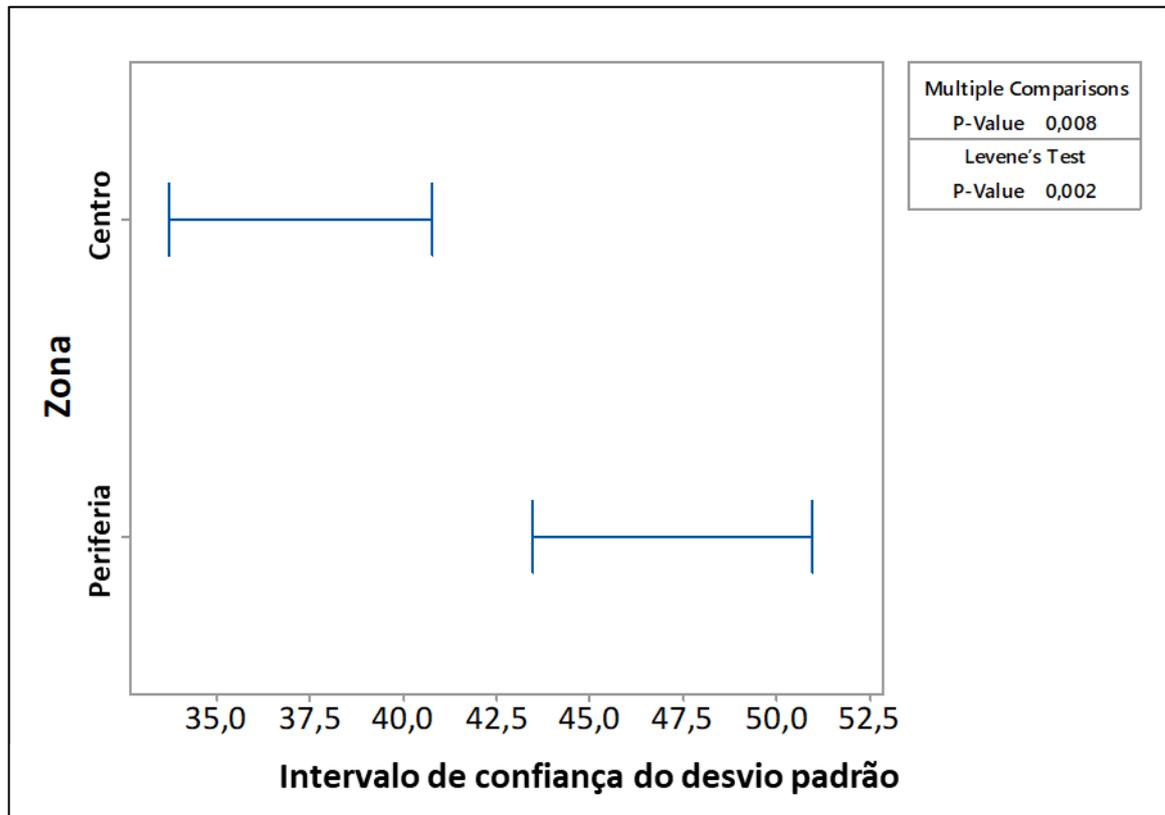
sobrepõe, indício de que essas não possuem a mesma variância, fato confirmado nos resultados dos testes formais de comparações múltiplas e de Levene para um nível de significância de 95%.

Figura 26 – Teste de normalidade da duração dos acidentes estratificada pela zona



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 27 – Teste de mesma variância da duração dos acidentes estratificada pela zona



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 5 mostra os fatores analisados, seus níveis e o resultado do teste de Kruskal-Wallis. Dois fatores apresentaram influência significativa para um nível de significância de 95% (zona e período) e dois fatores para um nível de significância de 90% (local e número de veículos envolvidos). Por fim, cinco fatores não apresentaram influência significativa (dia da semana, gravidade, natureza, V/C e envolvimento de veículos pesados).

Tabela 5 – Potenciais fatores explicativos da duração dos acidentes de trânsito

Fator	Níveis	Valor	Teste de Kruskal-Wallis (Valor-p)
Dia da semana	5	1 - Segunda 2 - Terça 3 - Quarta 4 - Quinta 5 - Sexta	0,779
Período	2	1 – Pico 2 - Fora pico	0,026
Zona	2	1 - Centro 2 - Periferia	0,005
Local	2	1 – Interseção 2 - Meio de quadra	0,083
V/C	3	1 - $V/C < 0,50$ 2 - $0,50 \leq V/C < 0,75$ 3 - $V/C \geq 0,75$	0,1999
Gravidade	2	0 - Ileso 1 - Ferido	0,3316
Natureza	2	1 - Colisão traseira 2 - Colisão lateral ou transversal	0,769
Nº de veículos	2	1 – Até dois veículos 2 – Mais de dois veículos	0,100
Veículos pesados	2	1 - Não 2 - Sim	0,354

Fonte: Elaborado pelo autor

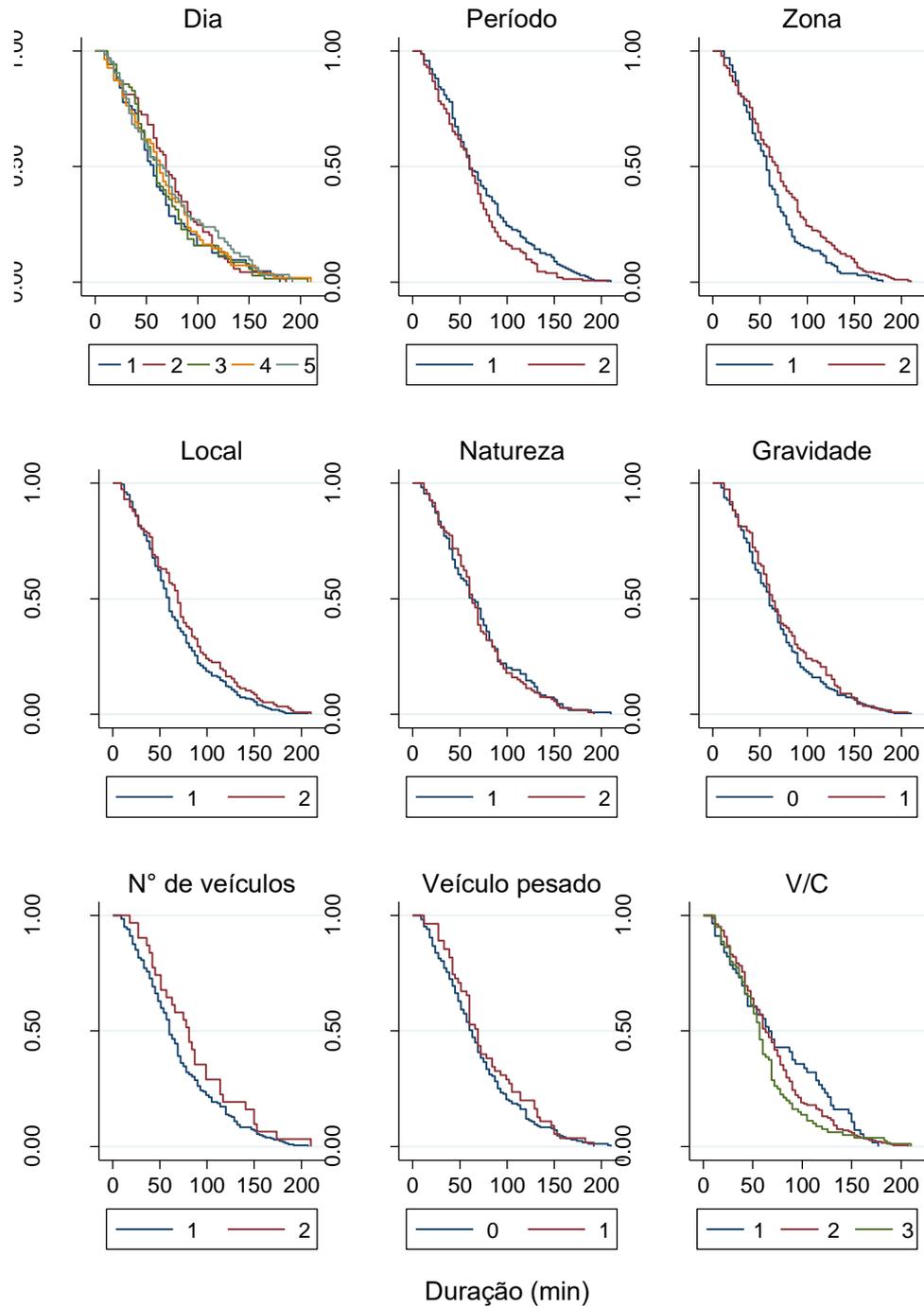
Para realizar uma análise mais detalhada desses fatores foi plotada a curva de sobrevivência de cada um, a qual indica a probabilidade de um evento durar até determinado período (nesse estudo, de um acidente não ter sido resolvido até um tempo específico) (

Figura 28). A partir dela é possível perceber que os acidentes ocorridos dentro dos horários de pico possuem uma maior probabilidade de acabar mais rápido, de acordo com a hipótese levantada no capítulo 2, uma vez que se espera que o tempo de deslocamento da equipe de agentes de trânsito seja menor nesse período. Além disso, acidentes ocorridos no centro tendem a acabar mais rápido, possivelmente por os agentes de trânsito priorizarem essa área, uma vez que ela possui maior tráfego e porque os acidentes na periferia tem uma maior probabilidade de serem mais graves, dado as condições de fluxo mais livre quando comparado ao centro. Para o local, acidentes ocorridos em interseções apresentaram uma maior probabilidade de acabarem mais cedo do que os acidentes em meio de quadra, possivelmente por terem uma maior prioridade na sua solução, por parte dos agentes de trânsito, por exercerem

maior impacto no tráfego, uma vez que afetam diretamente mais de uma via. Além disso, os condutores podem apresentar uma maior preocupação para retirar os veículos das interseções, pelo mesmo motivo. Quanto ao número de veículos envolvidos no acidente, quanto maior esse número, maior a probabilidade do acidente ter uma maior duração, resultado esperado, uma vez que são mais pessoas envolvidas, aumentando a complexidade na solução do ocorrido.

Para os cinco fatores que não apresentaram influência significativa no teste de Kruskal-Wallis é possível perceber que as curvas de sobrevivência são bem próximas para 4 deles: dia da semana, natureza, gravidade e envolvimento de veículo pesado. Entretanto, as curvas de sobrevivência para a relação V/C são próximas apenas nos primeiros 50 minutos do acidente, após esse período, é possível perceber que acidentes com maior V/C têm uma probabilidade de acabar mais rápido. A hipótese levantada para esse fenômeno é de que acidentes ocorridos em vias mais congestionadas tendem a ser mais leves, não sendo necessário, em uma parte considerável dos casos, solicitar os serviços de socorro e/ou de reboque. Por outro lado, em acidentes ocorridos em vias com o fluxo livre os motoristas exercem maiores velocidades e os acidentes tendem a ser mais graves, necessitando de serviços de socorro e/ou reboque. Assim, após os primeiros 50 (tempo médio provável para a chegada dos agentes de trânsito ao local e solução do caso) os acidentes em vias de maior fluxo apresentam maior probabilidade de acabar logo.

Figura 28 – Curvas de sobrevivência da duração dos acidentes para cada fator



Fonte: Elaborado pelo autor

Dia da semana	1 Segunda, 2 Terça, 3 Quarta, 4 Quinta, 5 Sexta
Período	1 horário de pico, 2 fora do pico
Zona	1 Centro; 2 Periferia
Local	1 Interseção, 2 Meio de quadra
Natureza	1 Colisão traseira; 2 Colisão transversal ou Lateral
Gravidade	0 Ileso; 1 Ferido
Nº de veículos envolvidos	1 Até dois veículos; 2 Mais de dois veículos
Veículos pesados	0 Não; 1 Sim
V/C	1 ($V/C < 0,5$); 2 ($0,5 \leq V/C < 0,75$); 3 ($V/C \geq 0,75$)

Uma possibilidade para o teste de Kruskal-Wallis e a análise da curva de sobrevivência não terem apresentado diferenças significativas no efeito da presença de vítimas na duração dos acidentes é a de que essa variável pode estar sofrendo a influência de outros fatores, uma vez que acredita-se que ela possui efeito na duração dos acidentes. Para testar essa hipótese, inicialmente analisou-se a matriz de correlação dessas variáveis (Tabela 6) que mostrou que a maior correlação da gravidade é com a zona em que ocorreu o acidente (0,23), com os acidentes ocorridos na periferia tendendo a serem mais graves (correlação positiva). Os demais fatores apresentaram correlações abaixo desses valores.

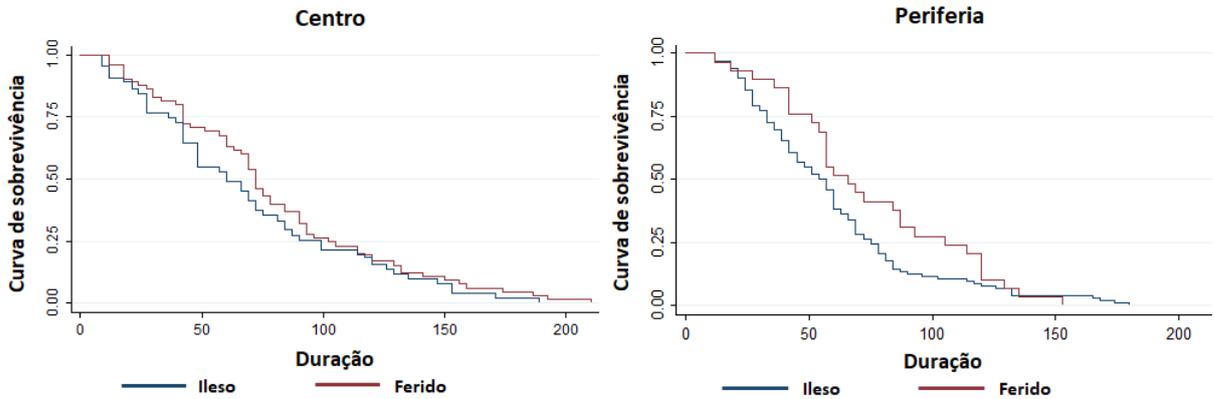
Tabela 6 – Matriz de correlação dos fatores explicativos da duração dos acidentes

	Dia	Período	Zona	Gravidade	Natureza	Nº veículos	Local	V/C
Dia	1							
Período	0.08	1						
Zona	0.11	-0.09	1					
Gravidade	-0.03	-0.08	0.23	1				
Natureza	-0.19	-0.05	-0.19	0.04	1			
Nº veículos	0.04	0.00	0.02	-0.17	-0.16	1		
Local	-0.13	0.08	-0.37	-0.13	0.21	0.00	1	
V/C	0.02	-0.05	-0.23	-0.09	0.05	0.09	0.11	1

Fonte: Elaborado pelo autor

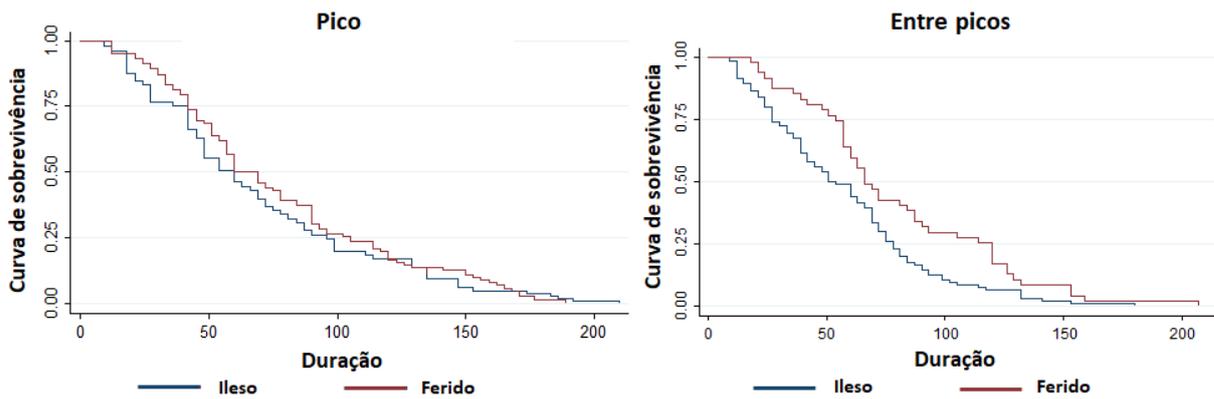
A partir desses resultados, analisou-se a curva de sobrevivência da gravidade estratificada pela zona (Figura 29), pelo período (Figura 30) e com até dois veículos envolvidos. Ao analisar as curvas, percebe-se que em acidentes ocorridos na periferia ou entre os horários de pico a existência ou não de vítimas exerce uma influência significativa na duração dos acidentes, provavelmente pela severidade dos acidentes nessas condições. Entretanto, a classificação disponível dos acidentes inviabilizou esta análise antes, porque os dados não permitem dizer o nível de severidade dos acidentes (leve, moderado, alto). Além disso, ao analisar apenas acidentes com até dois veículos envolvidos (Figura 31), percebe-se uma diferença significativa na probabilidade do acidente acabar mais rápido para acidentes sem vítimas, o que indica que o número de veículos envolvidos influencia na análise do efeito da gravidade na duração dos acidentes, isso porque a maioria dos acidentes com mais de dois veículos não envolveu vítimas (geralmente são engavetamentos), mas demorou para ser resolvido por envolver várias pessoas.

Figura 29 – Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada pela gravidade e pela zona



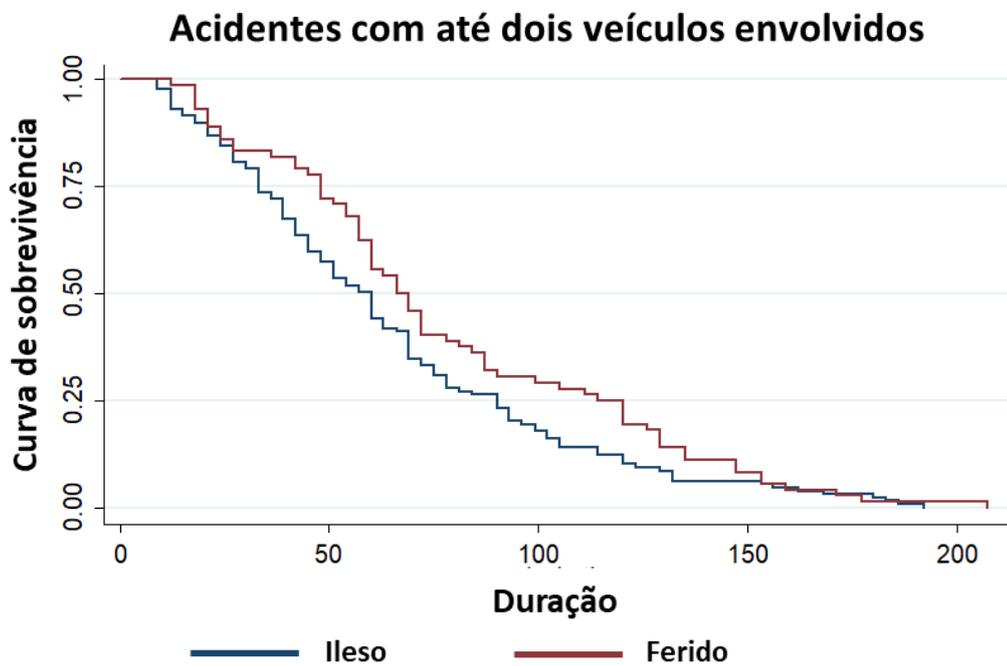
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30 - Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada pela gravidade e pelo período



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 31 - Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada pela gravidade para acidentes com até dos veículos envolvidos



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 Modelagem da duração dos acidentes de trânsito

Essa seção apresenta os resultados obtidos na modelagem da duração dos acidentes de trânsito, seguindo a metodologia apresentada na seção 3.4, e os resultados obtidos na seção anterior. Inicialmente, foi definida a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta aos dados com base na estatística de Anderson-Darling. Visto que essa informação é necessária para calibração do modelo AFT definido. Em seguida, o modelo foi calibrado e os parâmetros estimados com base no método da máxima verossimilhança. Por fim, os coeficientes estimados foram analisados e interpretados a fim de se entender o efeito dos fatores explicativos na duração dos acidentes de trânsito.

4.5.1 Teste de aderência da duração dos acidentes de trânsito a uma distribuição de probabilidade conhecida

Para testar a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta a amostra (informação necessária para a calibração do modelo paramétrico) foi utilizado o teste estatístico de Anderson-Darling e uma análise visual do gráfico de probabilidade, sendo escolhido o modelo que apresentou o menor valor da estatística do teste e melhor ajuste à reta de inclinação.

A hipótese nula do teste A-D é de que os dados seguem uma distribuição conhecida, enquanto a hipótese alternativa é de que os dados não seguem essa distribuição. Foram testadas as quatro principais distribuições de probabilidade que apresentaram o melhor ajuste para a duração dos acidentes em estudos anteriores: Weibull, Gamma, Loglogistic e Lognormal. A Tabela 7 apresenta os parâmetros dessas funções que fornecem o melhor ajuste aos dados analisados.

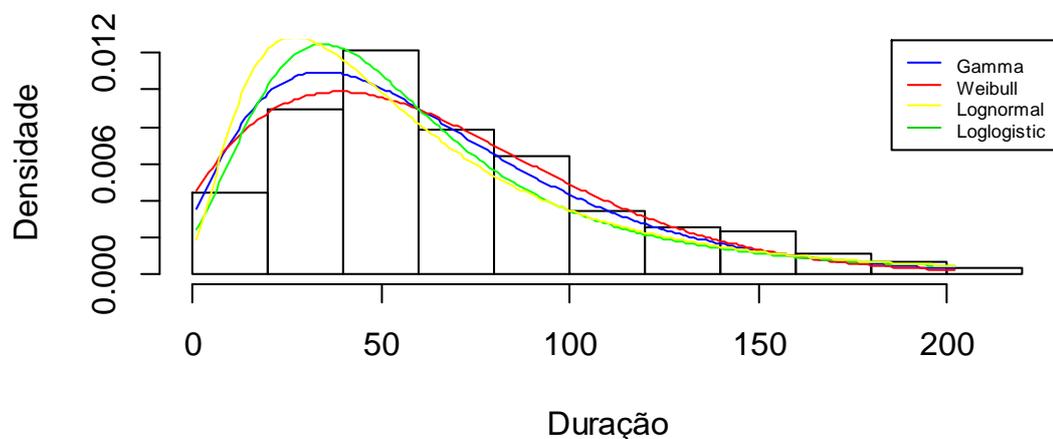
Tabela 7 – Distribuições de probabilidade analisadas e os parâmetros que fornecem o melhor ajuste aos dados

Distribuição	Parâmetros estimados		
	Local	Forma	Escala
Weibull		1,70152	78,93687
Loglogistic	4,08165		0,39767
Lognormal	4,03874		0,69740
Gamma		2,50589	28,01405

Fonte: Elaborado pelo autor

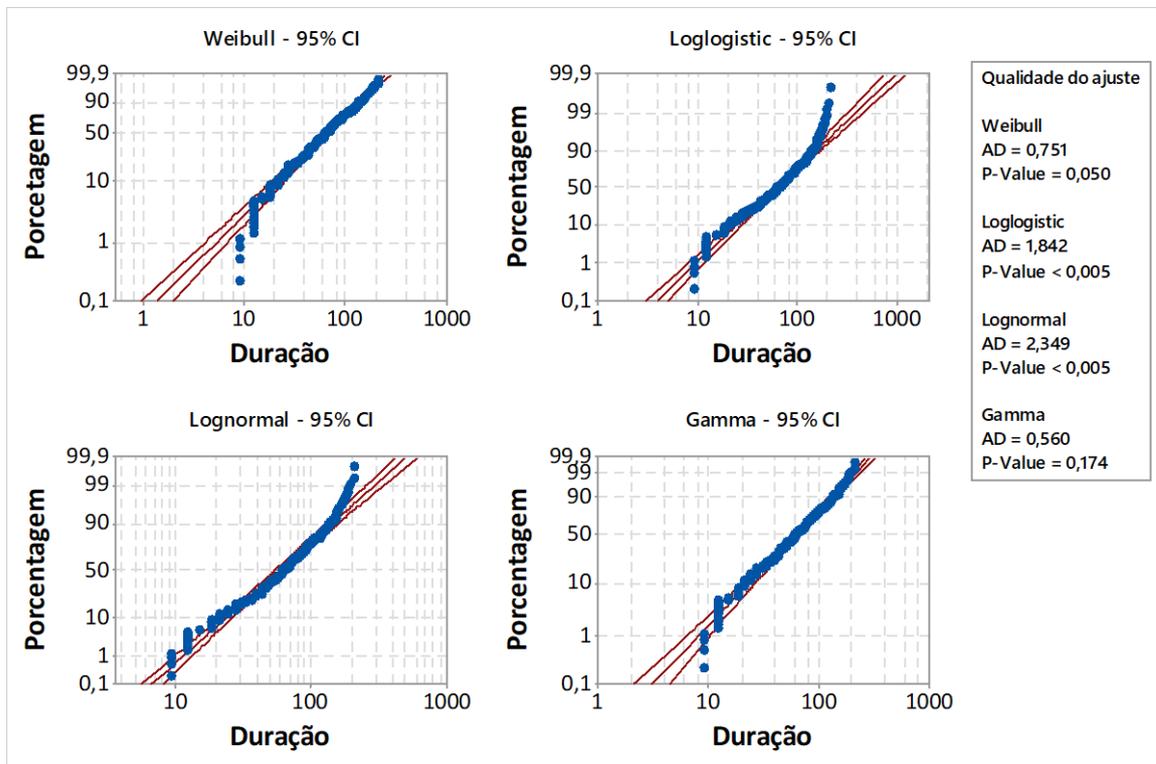
Pela análise visual do ajuste das curvas ao histograma da duração dos acidentes (Figura 32) e do gráfico de probabilidade (Figura 33) é possível perceber um melhor ajuste das funções Gamma e Weibull aos dados, principalmente para acidentes com uma duração maior do que 15 minutos. Para o teste de Anderson-Darling, a distribuição Gamma apresentou o menor valor da estatística do teste (0,56), sendo escolhida, dessa forma, como a que melhor se ajusta aos dados de duração dos acidentes da amostra analisada nesse estudo.

Figura 32 – Ajuste de distribuições conhecidas à duração dos acidentes de trânsito



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 33 – Gráfico de probabilidade do ajuste da duração dos acidentes à uma distribuição de probabilidade conhecida



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.2 Calibração do modelo

A partir dos resultados obtidos na seção 4.4, foram testados na calibração do modelo AFT (cuja a formulação é mostrada na equação 7, detalhada no capítulo de revisão,) seis fatores: zona, período, local, número de veículos envolvidos, gravidade e a relação V/C.

$$\log(T) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sigma \varepsilon \quad (7)$$

O processo de seleção dos fatores que explicam a duração dos acidentes foi realizado com a técnica *Stepwise*, como descrito na etapa metodológica. A calibração dos parâmetros do modelo foi realizada utilizando a técnica da maximização da verossimilhança e o melhor modelo foi escolhido a partir dos valores do logaritmo da verossimilhança.

Os resultados obtidos mostraram que o conjunto de fatores que possui o maior efeito na duração dos acidentes, dentre todos os possíveis conjuntos, é formado pelas variáveis zona, período, número de veículos envolvidos e gravidade. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos

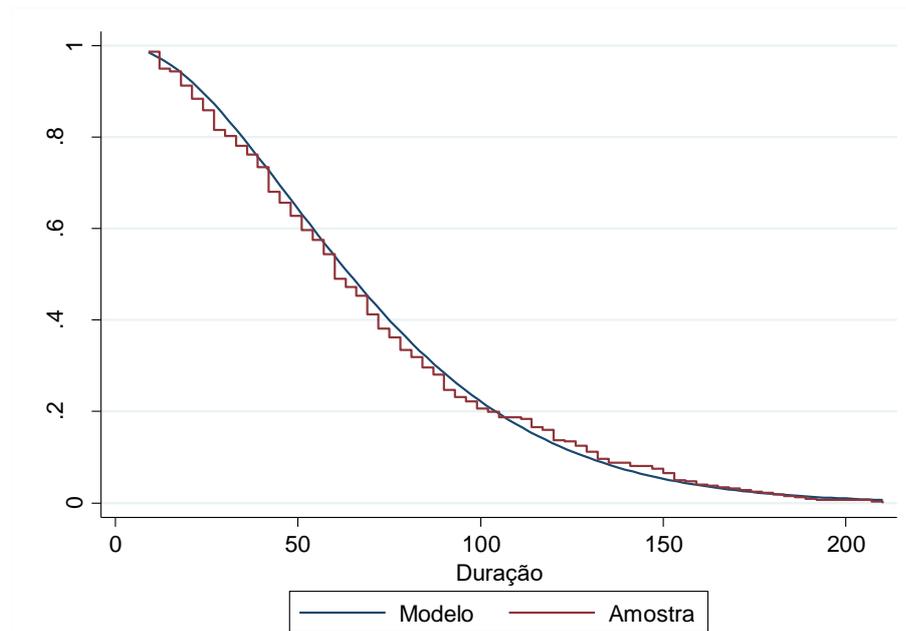
na modelagem, com a estimativa dos coeficientes, o desvio padrão e a significância estatística de cada fator. Três fatores apresentaram uma significância estatística a um nível de 10% (Período, N° de veículos e Gravidade), enquanto o fator zona apresentou um nível de significância de 12%. Uma possibilidade para esses valores é a de que as estimativas tenham sido afetadas pelo tamanho da amostra. Como o objetivo desse trabalho não é fazer uma previsão, mas sim entender melhor a relação dos fatores com a duração dos acidentes, o modelo foi considerado adequado. A estatística qui-quadrado calculada para o modelo foi de 15,01, que para quatro graus de liberdade apresenta um valor-p de 0,0047, indicando um bom ajuste do modelo calibrado. A Figura 34 mostra o ajuste da curva de sobrevivência estimada pelo modelo, para um valor médio dos fatores explicativos, e obtida da amostra analisada, confirmando que o modelo calibrado se ajusta bem aos dados analisados.

Tabela 8 – Resultados da calibração do modelo

Variável	Coefficiente	Desvio padrão	valor-p
Intercepto	4.328	0.0807	<2e-16
Zona	0.1208	0.0789	0.12
Período	-0.1691	0.0767	0.03
N° de veículos	0.1994	0.1118	0.07
Gravidade	0.1353	0.0813	0.09
Escala	-0.5707		

Log-likelihood (modelo) = -1.173,8
 Log-likelihood (intercepto) = -1.181,3
 $\chi^2 = 15,01$
 valor-p = 0,0047 (4 graus de liberdade)

Figura 34 – Curva de sobrevivência da amostra e estimada pelo modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.3 Interpretação dos coeficientes

A Tabela 9 apresenta os valores dos coeficientes do modelo e o efeito deles na duração dos acidentes ao considerar um efeito médio dos demais fatores. Um valor positivo do coeficiente indica que um aumento no valor do fator aumenta a probabilidade do evento sobreviver por mais tempo, ou seja, do acidente demorar mais tempo para acabar. Enquanto que um valor negativo indica o inverso - um aumento no valor do fator indica um aumento na probabilidade do acidente acabar mais rápido. Assim, por exemplo, um acidente que ocorreu no centro da cidade (zona = 0) tem uma maior probabilidade de acabar mais rápido do que um acidente que ocorreu na periferia (zona = 1), enquanto que um acidente ocorrido no pico (período = 0) deve demorar mais do que um acidente ocorrido fora do horário de pico (período = 1).

Tabela 9 – Valores estimados dos coeficientes do modelo e efeito desses na duração dos acidentes

Fator	Coeficiente (β)	Mudança (%)
Zona	0.1208	13
Período	-0.1691	-16
Nº de veículos	0.1994	22
Gravidade	0.1353	15

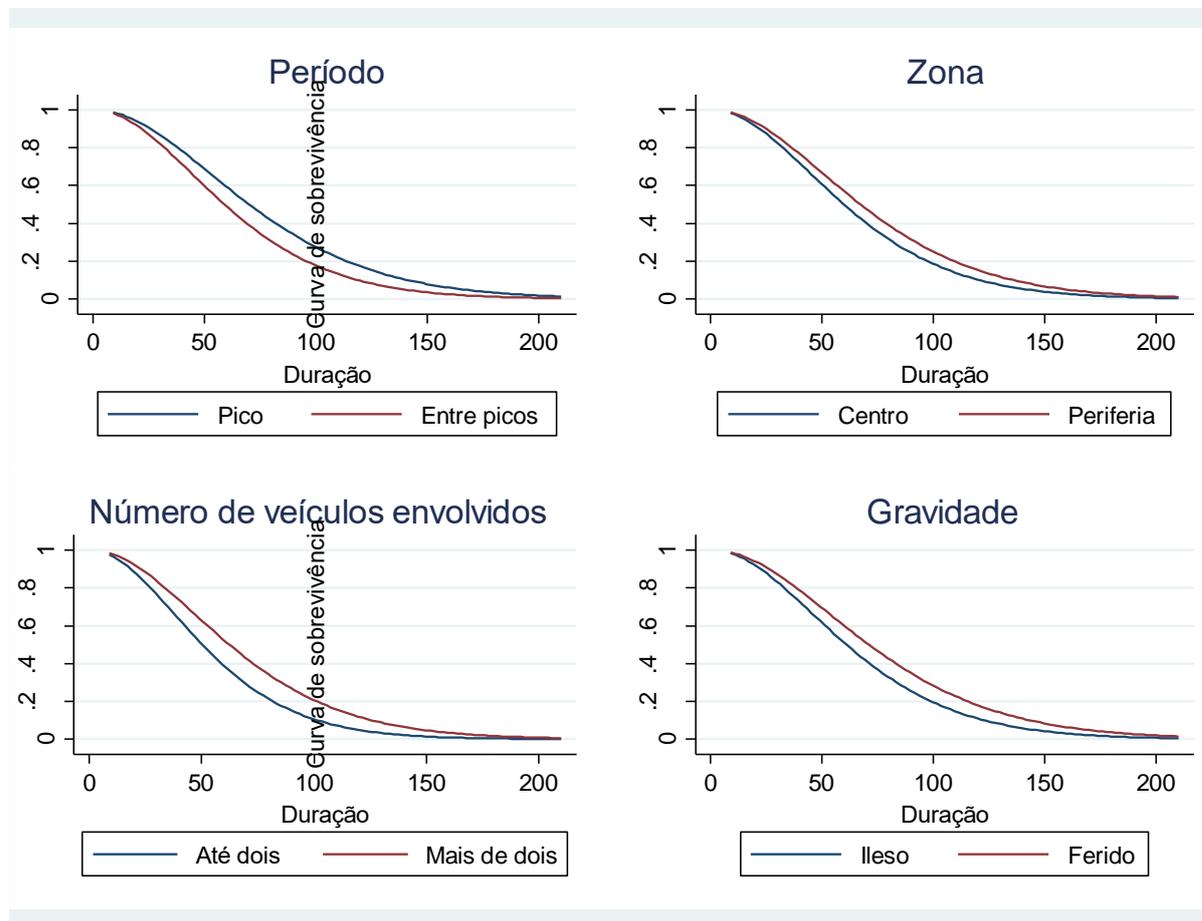
Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da formulação mostrada na equação 7, o efeito do fator na probabilidade do acidente durar por mais tempo é obtida ao calcular o valor do expoente do coeficiente. Assim, ao considerar um efeito médio dos outros fatores, um acidente ocorrido na periferia dura, em média, 13% mais do que um acidente ocorrido no centro da cidade. Resultado que sustenta a hipótese levantada anteriormente de que os agentes de trânsito priorizam regiões com maior tráfego. Enquanto isso, um acidente ocorrido fora do horário de pico dura, em média, 16% menos tempo do que um acidente ocorrido no horário de pico. Possivelmente, esse resultado é consequência da maior dificuldade que os agentes de trânsito encontram para chegar ao local do acidente nos períodos de maior congestionamento. Além disso, um acidente envolvendo mais de dois veículos dura, em média, 22% mais tempo do que um acidente envolvendo até dois veículos (sendo esse o fator de maior impacto na duração dos acidente, dentre os investigados nessa pesquisa) o que vai ao encontro da hipótese levantada de que a complexidade da solução do acidente é proporcional ao número de veículos envolvidos.

Por fim, um acidente com ferido(s) dura, em média, 13% mais do que um acidente sem vítimas. Entretanto, esperava-se uma maior diferença entre esses tipos de acidentes, uma vez que os acidentes com vítimas, geralmente, necessitam do deslocamento de uma equipe de resgate ao local e o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) determina que em casos de acidentes apenas com danos materiais os veículos devem ser removidos da via imediatamente. As hipóteses levantadas para esses resultados é de que em alguns casos os condutores envolvidos em acidentes sem vítimas esperam a chegada dos agentes de trânsito ao local do acidente para poder remover os veículos da via, fazendo com que esses acidentes levem mais tempo para serem solucionados. Além disso, imagina-se que alguns acidentes que foram declarados no banco de dados com a ocorrência de vítimas não precisaram da presença da equipe médica por terem ocorridos apenas ferimentos leves. A Figura 35 apresenta graficamente os resultados discutidos nesse parágrafo a partir das curvas de sobrevivência para cada fator ao considerar

um efeito médio dos demais fatores.

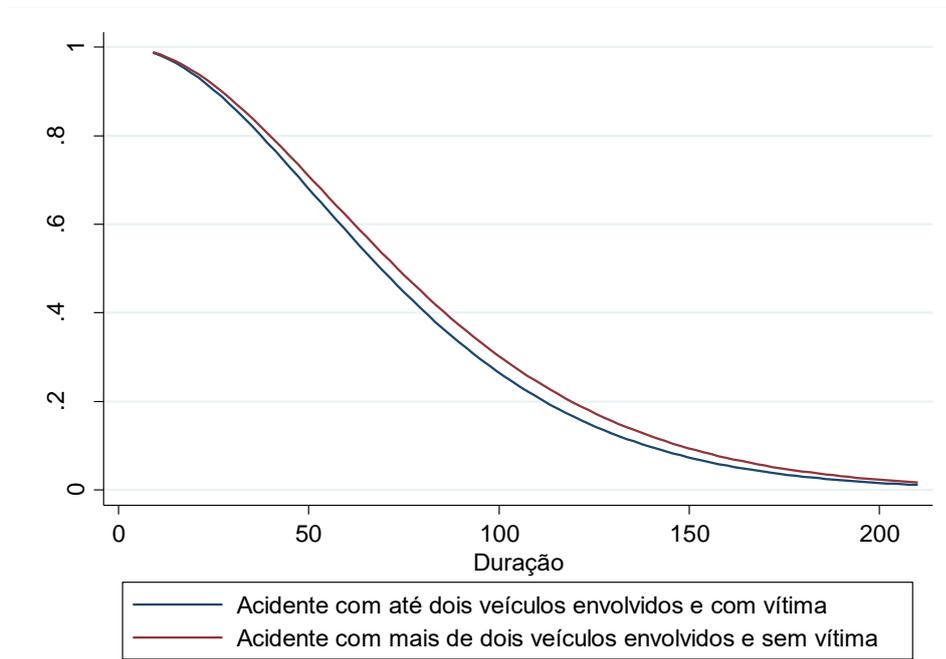
Figura 35 – Curva de sobrevivência da duração dos acidentes estratificada por fatores a partir do modelo calibrado



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 36 mostra a curva de sobrevivência de um acidente com vítima envolvendo até dois veículos e um acidente sem vítima com mais de dois veículos envolvidos (considerando um valor médio dos outros fatores). A partir da curva obtida do modelo calibrado é possível perceber que o segundo tipo de acidente tem maior probabilidade de durar por mais tempo. Esse resultado explica o fato de não ter sido possível detectar uma influência significativa da gravidade na duração dos acidentes, na análise individual dos fatores, mas ter sido observado uma significância estatística na análise conjunta dos fatores.

Figura 36 – Curva de sobrevivência estratificada pelo número de veículos envolvidos no acidente



Fonte: Elaborado pelo autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise da duração de acidentes de trânsito ocorridos em vias arteriais com um estudo de caso para a cidade de Fortaleza-CE. Os dados de acidentes de trânsito foram fornecidos pela prefeitura de Fortaleza por meio do Sistema de Informações de Acidentes de trânsito de Fortaleza (SIAT). Entre as informações contidas nesse banco de dados estão: data e horário da ocorrência, localização (endereço e coordenadas geográficas), quantidade e tipos de veículos envolvidos (automóvel, motocicleta, ônibus, entre outros), tipo de acidente (atropelamento, colisão traseira, transversal, etc.), gravidade do acidente, idade, sexo dos condutores, entre outras.

A duração dos acidentes de trânsito foi definida como o período entre o momento em que o acidente começa a impactar às condições de tráfego até o momento em que os veículos envolvidos são removidos e a via liberada. Visto que essa informação não foi disponibilizada no banco de dados dos acidentes de trânsito, um dos objetivos específicos do trabalho foi o desenvolvimento de um método para extrair essa informação de dados de tráfego registrados por equipamentos de fiscalização eletrônica.

Para o desenvolvimento do método de detecção da duração dos acidentes foi utilizada a velocidade média da corrente de tráfego e a proporção do volume veicular por faixa da via. A proposta do uso da proporção do volume, ao invés do volume, se deu por a proporção do volume apresentar uma menor variabilidade e ser mais sensível a eventos que obstruem parcialmente a via. O método proposto conseguiu detectar a duração de 324 acidentes de uma amostra inicial com 2.557 acidentes. Resultados satisfatório, uma vez que aproximadamente 20% dos acidentes não possuíam os dados de tráfego correspondente, como visto no estudo piloto, e alguns acidentes, possivelmente, ocorreram no sentido oposto ao monitorado pelo equipamento de fiscalização.

A análise exploratória da duração dos 324 acidentes detectados pelo método mostrou que a duração média de um acidente nas vias arteriais de Fortaleza é de 72 minutos, com um desvio padrão de 48 minutos, e uma distribuição assimétrica à direita. O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis e a análise das curvas de sobrevivência da duração dos acidentes apontaram para a influência, sem considerar o efeito dos outros fatores, de 5 fatores (período, zona, local, número de veículos envolvido e V/C) na duração dos acidentes de trânsito. Entretanto, análises complementares da curva de sobrevivência estratificada por zona, período e número de veículos mostrou que esses fatores exerceram influência sobre o efeito da gravidade na duração dos acidentes. Acidentes ocorridos em regiões e horários com menos

tráfego apresentaram uma diferença significativa na duração de acidentes com e sem vítimas. Esse resultado indica que a classificação da gravidade dos acidentes no banco de dados utilizado (Ileso ou Ferido) não é o ideal para a análise, uma vez que não é possível saber se o ferimento foi leve, moderado ou grave e se foi preciso ou não o atendimento de uma equipe de socorro. Além disso, outros fatores podem não ter apresentado influência significativa na duração dos acidentes por consequência do tamanho da amostra utilizada, como a natureza do acidente e o envolvimento de veículos pesados.

O último objetivo específico do trabalho foi realizar a modelagem da duração dos acidentes de trânsito a partir do modelo baseado em risco (Hazard Based Model) para entender a influência conjunta dos fatores explicativos na duração dos acidentes. Para calibração do modelo foi necessário definir qual a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta aos dados analisados. Foram testadas quatro distribuições com base em resultados obtidos em estudos anteriores (Weibull, Gamma, Lognormal e Loglogistic) com a função Gamma apresentando o melhor ajuste aos dados. Indicando que a probabilidade do acidente acabar aumenta à medida que o tempo passa, conforme visto na revisão da literatura. O modelo com os fatores zona, período, número de veículos envolvidos e gravidade foi o que apresentou o melhor ajuste aos dados.

Por fim, a interpretação dos coeficientes do modelo calibrado mostrou que o número de veículos envolvidos é o fator que exerce a maior influência sobre a duração dos acidentes de trânsito em Fortaleza (acidentes com mais de dois veículos envolvidos duram, em média, 22% mais tempo do que os acidentes com até dois veículos envolvidos). Resultado que corrobora com a hipótese de que o número de condutores envolvidos no acidente aumenta a complexidade da sua solução, e conseqüentemente, o tempo de liberação da via. Enquanto isso, um acidente ocorrido na periferia dura, em média, 13% mais do que um acidente ocorrido no centro da cidade. Resultado que sustenta a hipótese levantada de que os agentes de trânsito priorizam regiões com maior tráfego. Já para um acidente ocorrido fora do horário de pico, a duração é, em média, 16% menor do que um acidente ocorrido no horário de pico. Possivelmente, esse resultado é consequência da maior dificuldade que os agentes de trânsito encontram para chegar ao local do acidente nos períodos de maior congestionamento ou por um número de agentes insuficiente para as demandas nesse período.

A análise da duração dos acidentes de trânsito realizada nesse trabalho permitiu identificar o comportamento dessa variável, quais são os fatores que exercem influência estatisticamente significativa na probabilidade do acidente acabar mais cedo ou não e qual o efeito quantitativo desses fatores na duração dos acidentes. Assim, espera-se que a metodologia

e os resultados obtidos no trabalho possam ajudar num gerenciamento mais eficiente dos acidentes de trânsito e na realização de trabalhos futuros nessa temática.

5.1 Limitações e sugestões de trabalhos futuros

Algumas limitações encontradas no desenvolvimento do trabalho e nos resultados obtidos são listadas a seguir:

1. O banco de dados com as informações dos acidentes de trânsito não possuía a informação da duração dos acidentes, o que levou a necessidade de se obter essa informação de forma indireta o que reduziu consideravelmente o tamanho da amostra disponível.
2. Os bancos de dados possuíam diversos registros incompletos ou ausentes.
3. Impossibilidade de relacionar os dados dos acidentes com os de fiscalização pelo endereço, sendo necessário usar um raio centralizado no equipamento de fiscalização.
4. Poucos acidentes registrados por vídeo monitoramento para validação do método de detecção

Em trabalhos futuros podem ser analisados bancos de dados com mais informações sobre os acidentes de trânsito, como: se foi realizado o atendimento por equipes de socorro ou reboque e novas fontes de dados de tráfego como dados de gps e/ou de smartphones, a fim de se obter amostras maiores. Outra possibilidade é analisar o tempo de recuperação do tráfego após um acidente de trânsito e verificar quais fatores têm efeito sobre essa fase. Por fim, outra possibilidade é a análise de qual o impacto dessa duração na formação de congestionamentos não recorrentes.

REFERÊNCIAS

- ADLER, M. W.; OMMEREN, J. V.; RIETVELD, P. Road congestion and incident duration. **Economics of Transportation**, v. 2, n. 4, p. 109–118, 1 dez. 2013.
- AL-DEEK, H.; EMAM, E. B. New methodology for estimating reliability in transportation networks with degraded link capacities. **Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations**, v. 10, n. 3, p. 117-129, 2006.
- ALKAABI, A. M. S.; DISSANAYAKE, D.; BIRD, R. Analysing Clearance Time of Urban Traffic Accidents in Abu Dhabi using Hazard-based Duration Modeling Method. **Transportation Research Board**, Washington, v. 2229, n. 1, p. 46-54, 2011.
- ALKAABI, A. M. S.; DISSANAYAKE, D.; BIRD, R. Response Time of Highway Traffic Accidents in Abu Dhabi: Investigation with Hazard-based Duration Models. **Transportation Research Board**, Washington, v. 2278, n. 1, p. 95–103, 2012.
- CHUNG, Y.; WALUBITA, L. F.; CHOI, K. Modeling Accident Duration and Its Mitigation Strategies on South Korean Freeway Systems. **Transportation research record**, Washington, 2010, v. 2178, n. 1, p. 49–57, jan. 2010.
- CHUNG, Y.; YOON, B. J. Analytical method to estimate accident duration using archived speed profile and its statistical analysis. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 6, p. 1064–1070, 2012.
- DING, C. *et al.* Exploring the influential factors in incident clearance time: Disentangling causation from self-selection bias. **Accident Analysis and Prevention**, v. 85, n. 6, p. 58–65, dez. 2015.
- GAO, J. R. A Study on Freeway Traffic Incident Duration and Improvement Countermeasures. **Applied Mechanics and Materials**, v. 411–414, p. 2752–2757, set. 2013.
- GIULIANO, G. Incident characteristics, frequency, and duration on a high volume urban freeway. **Transportation Research Part A: General**, v. 23, n. 5, p. 387–396, 1989.
- GOLOB, T. F.; RECKER, W. W.; LEONARD, J. D. An analysis of the severity and incident duration of truck-involved freeway accidents. **Accident Analysis and Prevention**, v. 19, n. 5, p. 375–395, out. 1987.
- HOJATI, A. T. *et al.* Analysing freeway traffic-incident duration using an Australian data set. **Road and Transport Research**, v. 21, n. 2, p. 19–31, 2012.
- HOJATI, A. T. *et al.* Hazard based models for freeway traffic incident duration. **Accident Analysis and Prevention**, v. 52, p. 171–181, 2013.
- HOJATI, A. T. *et al.* Modelling total duration of traffic incidents including incident detection and recovery time. **Accident Analysis and Prevention**, v. 71, p. 296–305, 2014.
- HOU, L. *et al.* Time-varying effects of influential factors on incident clearance time using a

non-proportional hazard-based model. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 63, p. 12–24, 2014.

JONES, B.; JANSSEN, L.; MANNERING, F. Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle. **Accident Analysis and Prevention**, v. 23, n. 4, p. 239–255, 1991.

JUNHUA, W.; HAOZHE, C.; SHI, Q. Estimating freeway incident duration using accelerated failure time modeling. **Safety Science**, v. 54, p. 43–50, 2013.

KHATTAK, A. J. *et al.* Modeling Traffic Incident Duration Using Quantile Regression. **Transportation Research Record**, Washington, v. 2554, p. 139–148, 2016.

KHATTAK, A. J.; SCHOFER, J. L.; WANG, M.-H. A Simple Time Sequential Procedure for Predicting Freeway Incident Duration. **I V H S Journal**, v. 2, n. 2, p. 113–138, 1995.

LEE, T. E.; WANG, J. W. **Statistical Methods for Survival Data Analysis**. 3. ed. Oklahoma: Wiley-Interscience, 2003. 513 p.

LI, R.; Guo, M.; Lu, H. Analysis of the Different Duration Stages of Accidents with Hazard-Based Model. **International Journal of Intelligent Transportation Systems Research**, v. 15, n. 1, p. 7–16, 2017.

LI, R.; PEREIRA, F. C.; BEN-AKIVA, M. E. Overview of traffic incident duration analysis and prediction. **European Transport Research Review**, v. 10, p. 1–13, 2018.

NAM, D.; MANNERING, F. An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 34, n. 2, p. 85–102, 2000.

OLIVEIRA NETO, F. M. de *et al.* Análise de ocorrências de acidentes de trânsito registradas por um sistema de circuito fechado de tv (CFTV). **Sinal de Trânsito**, [s.n:s.d]. Disponível em: < <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos/cftv.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2020.

SMITH, K.; SMITH, B. L. **Forecasting the Clearance Time of Freeway Accidents**, 2001. [s.l:s.n.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255590111_Forecasting_the_Clearance_Time_of_Freeway_Accidents>. Acesso em: 25 fev. 2020.

TAFFAREL, V. S. **Mobilidade Urbana : Análise Dos Fatores Que Causam O Contínuo Crescimento Do Uso Do Mobilidade Urbana**. 2015. 85 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

VALENTI, G.; LELLI, M.; CUCINA, D. A comparative study of models for the incident duration prediction. **European Transport Research Review**, v. 2, n. 2, p. 103–111, 2010.

VENKATANARAYANA, R.; SMITH, B.; DEMETSKY, M. Quantum-Frequency Algorithm for Automated Identification of Traffic Patterns. **Transportation Research Record**, v. 2024, p. 8–17, 2008.

VLAHOIANNI, E. I.; KARLAFTIS, M. G. Fuzzy-Entropy Neural Network Freeway Incident Duration Modeling with Single and Competing Uncertainties. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 28, p. 420–433, 2013.

WASHINGTON, S. P.; KARLAFTIS, M. G.; MANNERING, F. L. **Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis**. 1. ed. New York: Chapman & Hall/CRC. 2003. 413 p.

WEI, C. H.; LEE, Y. Sequential forecast of incident duration using Artificial Neural Network models. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, n. 5, p. 944–954, 2007.

XIE, K.; OZBAY, K.; YANG, H. Spatial analysis of highway incident durations in the context of Hurricane Sandy. **Accident Analysis and Prevention**, v. 74, p. 77–86, 2015.