

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Tânia Batistela Torres

**PREVALÊNCIA DE FATORES ASSOCIADOS A
ACIDENTES VIÁRIOS NO ENTORNO DE ESCOLAS**

Porto Alegre

2016

Tânia Batistela Torres

Prevalência de Fatores Associados a Acidentes Viários no Entorno de Escolas

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Transportes.

Orientadora: Prof^a Christine Tessele Nodari, Dra.
Coorientadora: Prof^a Ana Margarita Larrañaga Uriarte, Dra.

Porto Alegre

2016

Tânia Batistela Torres

Prevalência de Fatores Associados a Acidentes Viários no Entorno de Escolas

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^a. Christine Tessele Nodari, Dra.

Orientadora PPGEP/UFRGS

Prof^a. Ana Margarita Larrañaga Uriarte, Dra.

Coorientadora PPGEP/UFRGS

Prof.^a José Luis Duarte Ribeiro, Dr.

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professora Sara Maria Pinho Ferreira, *Ph.D.* (FEUP/UP)

Professora Helena Beatriz Bettella Cybis, *Ph.D.* (PPGEP/UFRGS)

Professora Raquel da Fonseca Holz, Dra. (UFPeI)

Dedico esta dissertação à
Yeda Baptistella (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço às Professoras Christine Tessele Nodari e Ana Margarita Larrañaga pelo conhecimento transmitido e pela dedicação a este trabalho. Sou grata, também, pela convivência agradável, enriquecedora e inspiradora durante o período de mestrado.

Agradeço às professoras Sara Ferreira, Helena Cybis e Raquel Holz pela avaliação cuidadosa e pelas valiosas contribuições para este trabalho.

Agradeço àqueles que contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho em suas diversas etapas: Professor Daniel Garcia e aos alunos Richard Menna, Christiane Demore, Maurício Castilhos, Rodrigo Schmidt e Tiago Lanes.

Sou grata, também, aos meus amigos e colegas de disciplinas e de laboratório por todo o conhecimento compartilhado. Guillermo Petzhold, Rafaela Machado e Ramiro Córdoba e Shanna Luchessi, obrigada!

Agradeço aos colegas de profissão Carlo Framarim e Marcelle Ribeiro, por compartilharem o conhecimento técnico e contribuírem com ideias para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço à colega e geógrafa Daniela Viegas pela disponibilidade e conhecimento transmitido.

Agradeço aos colegas e amigos da STE, em especial à Engenheira Zélia D'Azevedo, aos Engenheiros Ourisvaldo Guerra e Tarso Sales, pelos muitos ensinamentos e apoio durante o período de mestrado.

Agradeço aos amigos da confraria de sexta: Gabriela Ferret, Josi Kowalski, Kelly Lorenzet, Richard Menna, Vinícius Spessatto, e pelos bons momentos compartilhados.

Agradeço aos meus amigos bons amigos Mariana Oliveira, Felipe Malacarne e Priscila da Rosa, por estarem sempre presentes.

Agradeço ao meu companheiro de vida, Felipe Scheeren, pelo apoio incondicional e amor dedicados a mim.

RESUMO

Promover a segurança viária no entorno escolar é uma estratégia que contribui para que sejam construídas cidades seguras, saudáveis e sustentáveis. Nesse sentido, este estudo é dedicado a identificar a influência das características da estrutura urbana na frequência e na severidade dos acidentes no entorno de escolas de educação básica de Porto Alegre. A análise da frequência e da severidade de acidentes foi conduzida através da estimação de modelos econométricos: binomial negativo e *logit* ordenado, respectivamente. Para esses, foram calculados os efeitos marginais, permitindo a observação da magnitude dos impactos das variáveis explicativas sobre as variáveis dependentes. As variáveis dependentes frequência e severidade foram extraídas dos acidentes registrados em Porto Alegre entre 2012 e 2014. Foram incluídas, simultaneamente, variáveis da estrutura urbana, das escolas, socioeconômicas e dos acidentes (para a severidade). A partir do geoprocessamento dos dados existentes, os entornos escolares puderam ser caracterizados para três diferentes áreas circulares de análise (*buffer ring*) de raios de 100, 150 e 200 metros, permitindo a comparação do uso das diferentes áreas. O conjunto de estimativas indica que áreas menores produzem modelos de melhor desempenho para ambas as técnicas empregadas. No entanto, áreas maiores permitem a análise de maior quantidade de variáveis relativas à estrutura urbana. Essa relação sugere os benefícios da escolha a partir do *trade-off* entre ajuste do modelo e sua capacidade de propiciar análises de variáveis. Foi identificado que a frequência e a severidade de acidentes podem estar relacionadas a uma única variável explicativa de formas opostas – a partir de sinais contrários. Essa diferença de resultados para frequência e severidade de acidentes indica que há maiores benefícios em analisá-las em conjunto. Identificou-se ainda que existem benefícios para a segurança viária em áreas de estrutura urbana com quarteirões menores e maior quantidade de interseções de quatro vias, em frequência e severidade, respectivamente. Já as áreas mais arborizadas tendem a apresentar acidentes de menor severidade nos casos de usuários de modos ativos.

Palavras-chave: estrutura urbana; mobilidade ativa; escola; binomial negativo; *logit* ordenado

ABSTRACT

Fostering road safety nearby schools is a strategy that contributes to build safe, healthy and sustainable cities. The aim of this study is to identify the influence of the built environment characteristics in the frequency and severity of accidents nearby elementary and secondary schools in Porto Alegre. The frequency and severity of the accidents were analyzed using econometric models: negative binomial and ordered logit, respectively. The evaluation of their marginal effects allowed the magnitude of the impact caused by the explanatory variable on the dependent variables to be observed. The measured variables frequency and severity were extracted from accidents registered in Porto Alegre from 2012 and 2014. Built environment, socioeconomic and school variables were also included, as well as accident data (for severity). Data geoprocessing allowed school surroundings to be characterized for three different buffer rings, measuring 100, 150 and 200 meters of radius. Thereby it was possible to compare the inclusion of different areas in the study. The estimations indicates that models based on smaller areas have better performances for both employed techniques, whereas larger areas allow the study of a bigger quantity of urban infrastructure variables. That indicates the benefits of choosing based on a trade-off between model adjustment and capacity to engender the analysis of variables. It was shown that frequency and severity of accidents could be related to a single explanatory variable in opposite ways – based on contrary signs. This difference in the results found for frequency and severity indicates that there are more benefits when analyzing them together. Moreover, there are benefits for road safety in areas where the city blocks are shorter and where there are more four-way intersections, in frequency and severity of accidents, respectively. Also, areas of more important afforestation tend to decrease the severity of accidents involving users of active modes.

Keywords: built environment; active mobility; school; negative binomial; ordered logit

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Delineamento do trabalho	19
Figura 2: Fatores contribuintes de acidentes	22
Figura 3: Dimensões de análise da segurança viária	23
Figura 4: Dimensões que afetam a segurança viária	23
Figura 5: Fatores que influenciam a viagem escolar infantil	29
Figura 6: Relação entre a estrutura urbana e a segurança viária	36
Figura 7: Monotonicidade das respostas ordenadas	51
Figura 8: Distribuição populacional de Porto Alegre	53
Figura 9: Desenvolvimento da acidentalidade e da frota de Porto Alegre (2004-2014)	54
Figura 10: Etapas educacionais das instituições de ensino básico em Porto Alegre	55
Figura 11: Distribuição de escolas de educação básica em Porto Alegre	56
Figura 12: Etapas do método de trabalho	57
Figura 13: Percentual de acidentes no período (2012-2014) por raio de <i>buffer</i>	62
Figura 14: <i>Buffers</i> no entorno da escola	63
Figura 15: Sobreposição das áreas escolares para o raio de <i>buffer</i> de 200 metros	64
Figura 16: Gerenciamento do banco de dados	65
Figura 17: Composição de área de entorno com áreas de setores censitários	66
Figura 18: Distribuição de frequência de acidentes no entorno de escolas	70
Figura 19: Impactos na frequência de <i>Acidentes totais</i>	86
Figura 20: Impactos na frequência de <i>Veículos-UV</i>	89
Figura 21: Impactos na <i>Sev3</i> (acidente com morte) de <i>Acidentes totais</i>	92
Figura 22: Impactos na <i>Sev3</i> (acidente com morte) de <i>Acidentes veículo-UV</i>	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Síntese da influência da densidade de uso do solo na segurança viária	38
Quadro 2: Influência da diversidade de uso do solo na segurança viária.....	39
Quadro 3: Influência do desenho urbano na segurança viária.....	42
Quadro 4: Influência de destinos acessíveis na segurança viária	44
Quadro 5: Influência da distância do transporte coletivo na segurança viária	45
Quadro 6: Quadro síntese dos modelos de frequência de acidentes estimados.....	85
Quadro 7: Quadro síntese dos modelos de severidade de acidentes estimados.....	91
Quadro 8: Resumo dos coeficientes para as características da estrutura urbana.....	101
Quadro 9: Resumo dos coeficientes para as características das escolas.....	101
Quadro 10: Resumo dos coeficientes para as características dos acidentes na severidade	103
Quadro 11: Resumo dos coeficientes para as características socioeconômicas	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fonte e formato das variáveis candidatas	59
Tabela 2: Severidade de acidentes no entorno de escola entre 2012 e 2014	64
Tabela 3: Estatística descritiva para unidade de análise escola.....	71
Tabela 4: Modelos de frequência de <i>Acidentes totais</i>	74
Tabela 5: Modelos de frequência de <i>Acidentes veículos-UV</i>	75
Tabela 6: Efeitos marginais BN # <i>Acidentes totais</i>	75
Tabela 7: Efeitos marginais BN # <i>Acidentes veículo-UV</i>	76
Tabela 8: Estatística descritiva para unidade de análise acidente	77
Tabela 9: Modelos ordenados para Severidade de acidentes totais.....	81
Tabela 10: Modelos ordenados para Severidade veículo-UV	82
Tabela 11: Efeitos marginais para LO # <i>Acidentes totais</i>	83
Tabela 12: Efeitos marginais para LO # <i>Acidentes veículo-UV</i>	84
Tabela 13: Resumo de quantidade de variáveis incluídas nos modelos de diferentes áreas ..	100

LISTA DE SIGLAS

AIC – *Akaike Information Criterion*

BN – Binomial Negativa

BRT – *Bus Rapid Transit*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

GIS – *Geographic Information System*

IBM – *International Business Machines*

MI – Mobilidade Independente

LO – Logit Ordenado

MPA – Modelos de Previsão de acidentes

ONU – Organização das Nações Unidas

PGV – Polo Gerador de Viagem

PMPA – Prefeitura Municipal de Porto Alegre

QGIS – *Quantum Geographic Information System*

SPSS – *Statistical Productand Service Solutions*

SPF – *Safety Performance Functions*

SRTS – *Safe Route to School*

TM-POA – Projeção Transversa de Mercator para Porto Alegre

VIF – *Variance Inflation Factor*

WSB – *Walking School Bus*

WGS84 – *World Geodetic System de 1984*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS	16
1.3 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO	18
1.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	18
1.5 DELINEAMENTO DO ESTUDO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 O ENTORNO DE ESCOLAS E A SEGURANÇA VIÁRIA	25
2.1.1 Experiências internacionais.....	26
2.1.2 Experiência brasileira	32
2.1.3 Aprendizado com as experiências anteriores.....	33
2.2 A INFLUÊNCIA DOS FATORES VIÁRIO-AMBIENTAIS NA SEGURANÇA VIÁRIA	35
2.2.1 Estrutura Urbana	35
2.2.2 Variáveis de controle.....	46
2.2.3 Modelagem da segurança viária.....	48
3 MÉTODO DE TRABALHO	52
3.1 CENÁRIO	52
3.2 ETAPAS DO MÉTODO	57
3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO	59
3.3.1 Dados	59
3.3.2 Variáveis candidatas	66
3.3.3 Modelos de frequência de acidentes.....	70
3.3.4 Modelos de severidade de acidentes.....	76
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	85
4.1 MODELOS DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES.....	85
4.1.1 Frequência de acidentes totais – <i>Acidentes totais</i>.....	85
4.1.2 Frequência de acidentes entre veículo e usuário vulnerável - <i>Veículo-UV</i>.....	88
4.2 MODELOS DE SEVERIDADE DE ACIDENTES.....	90
4.2.1 Severidade de acidentes totais – <i>Acidentes totais</i>	91
4.2.2 Severidade de acidentes entre veículo e usuário vulnerável – <i>Acidentes veículo-UV</i>	96
4.3 CONJUNTO DE MODELOS ESTIMADOS.....	99

5 CONCLUSÕES.....	104
--------------------------	------------

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos milhares de vidas são interrompidas por acidentes de trânsito. Essas mortes chamam adicional atenção pela precocidade de suas vítimas. Atualmente, os acidentes já são a principal causa de morte entre jovens de 15 a 29 anos (WHO, 2015). Diariamente, mais de 500 crianças morrem e 20 mil ficam feridas em acidentes de trânsito em todo o mundo (BILLINGSLEY *et al.*, 2015). Já no Brasil, a acidentalidade no trânsito foi a primeira causa externa de mortes entre crianças de 5 a 14 anos em 2014 (DATASUS, 2015).

A perda de vidas no trânsito atinge, principalmente, os países de menor renda. Nesses países as taxas de mortes devido a acidentes viários são duas vezes superiores as dos países de alta renda. Juntos, países de baixa e média renda concentram mais de 90% das mortes no trânsito (WHO, 2015). As diferenças podem ser atribuídas, em parte, às tecnologias exigidas na frota e às soluções de mobilidade. Com a maior quantidade de itens de segurança veicular obrigatórios, países desenvolvidos têm frotas mais seguras (LINDAU *et al.*, 2015). Os países de alta renda são também aqueles que têm tido as soluções de infraestrutura orientadas pela Visão Zero, a qual entende que mortes e lesões em consequência de acidentes de trânsito são inaceitáveis (CENTER FOR ACTIVE DESIGN, 2013). São, ainda, os países que se destacam na aplicação de estratégias de mobilidade que reduzem a dependência do automóvel.

A maior parte das mortes no trânsito ocorre em áreas urbanas e afetam, principalmente, os usuários vulneráveis como pedestres e ciclistas (WELLE *et al.*, 2015). A estrutura das cidades e as relações que se estabelecem entre as pessoas que nela circulam afetam a acidentalidade. Nesse sentido, é possível que o espalhamento urbano (*urban sprawl*), propiciado pela expansão do uso do automóvel particular, seja uma das principais causas de morte no trânsito, principalmente para os pedestres (EWING *et al.*, 2003). Em oposição a esse modelo de desenvolvimento urbano que induz o aumento da motorização, a década de 90 foi marcada pelas estratégias de gestão da mobilidade (EWING; CERVERO, 2010). Entre as quais o *New Urbanism* e o *Smart Growth* têm a característica de estimular os modos ativos – a pé e bicicleta (VTPI, 2014).

Em 2016, a Organização das Nações Unidas (ONU) ressaltou que as cidades devem se tornar inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis (UNITED NATIONS, 2016). A cidade sustentável, do ponto de vista de transportes, é aquela que consome menos recursos para

garantir a mobilidade. A substituição do automóvel por modos ativos atua nesse sentido. Modos ativos são promovidos quando origens e destinos são aproximados, com menor dependência do automóvel, menores velocidades e mais incentivo a novos hábitos. No entanto, o receio de envolvimento em acidentes viários pode ser um empecilho à adoção desses modos. Estabelece-se, a necessidade de melhor compreender quais elementos da estrutura urbana tornam as vias mais seguras e podem estimular o uso de modos ativos. O planejamento urbano e de transportes orientado à segurança viária viabiliza a mobilidade sustentável.

A exposição ao risco a qual os usuários do meio urbano são submetidos, junto à frequência com a qual os acidentes ocorrem, resulta na severidade das lesões (ELVIK; VAA, 2004). Portanto, além da redução da frequência de acidentes, é necessário que seja reduzida a severidade daqueles acidentes que, porventura, ocorram. Nesse sentido, destaca-se a oportunidade de obter avanços na melhoria da segurança viária pela inclusão de características da estrutura urbana capazes de reduzir a exposição ao risco. A estrutura urbana como elemento influente na segurança viária pode ser analisada em cinco aspectos (5Ds): densidade, diversidade, desenho urbano, distância ao transporte coletivo e distância ao destino (EWING; CERVERO, 2010).

Este estudo foi desenvolvido em Porto Alegre, que com aproximadamente 1.4 milhões de habitantes (IBGE, 2016) é uma cidade média brasileira e encontra-se em desenvolvimento. Até o momento, não foram identificadas na cidade ações sistemáticas ou programas governamentais voltados à melhoria da segurança viária no entorno escolar. Cabe ressaltar, também, que a segurança pública torna este contexto de análise particular em relação da grande maioria das cidades analisadas e reportadas na literatura. Assim, é possível que as relações analisadas estejam implicitamente afetadas pela segurança pública.

Do ponto de vista metodológico, a investigação da relação entre os 5Ds e a segurança viária pode ser feita pela estimação de modelos que os relacionem aos acidentes. Além das características físicas, sobre as quais atuam as medidas de engenharia, a inclusão de variáveis de controle tem permitido inferências sobre a acidentalidade, com destaque para as condições socioeconômicas e ambientais. Enquanto a aplicação do modelo Binomial Negativo para a frequência – capaz de considerar a sobredispersão dos dados de acidentes – se destaca, a análise da severidade tem sido, tipicamente, realizada por modelos de escolha discreta. Dessa forma, busca-se identificar os conjuntos de características que descrevem cenários urbanos com

diferentes níveis de acidentalidade, avaliadas em relação à frequência e à severidade de acidentes.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é identificar a influência das características da estrutura urbana do entorno de escolas de educação básica de Porto Alegre na frequência e na severidade dos acidentes ocorridos nesses entornos. Além disso, o trabalho concilia os seguintes objetivos específicos:

- a. Identificar a influência que as características das escolas, socioeconômicas e dos acidentes exercem sobre a frequência e a severidade dos acidentes ocorridos no entorno de escolas de educação básica de Porto Alegre; e
- b. Identificar, entre os diferentes raios de definição de área circular (*buffer ring*) do entorno de escolas de educação básica de Porto Alegre, aquele que melhor representa esse entorno na análise da segurança viária.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS

Evidências empíricas sugerem que a segurança viária e a mobilidade orientada ao automóvel têm objetivos conflitantes (EWING; DUMBAUGH, 2009). As iniciativas de promoção de melhores condições de fluidez acabam por resultar em maiores taxas de acidentes viários. Diante dos altos índices de motorização, os usuários vulneráveis – aqueles menos protegidos devido sua escolha de modo, como os motociclistas para modo motorizado e pedestres e ciclistas para modos ativos – são os mais expostos ao risco de acidentes.

Modos de transporte ativos são as formas que crianças e adolescentes podem exercer Mobilidade Independente (MI) – situação na qual os jovens e as crianças se deslocam de forma autônoma (HILLMAN *et al.*, 1990). No ambiente urbano altamente voltado ao automóvel, eles se tornam os usuários mais vulneráveis, dadas as condições de desenvolvimento de habilidades cognitivas e físicas. Nesse contexto, os riscos decorrentes dos altos índices de motorização podem sugerir que proteger-se consiste em aderir ao uso do automóvel, que passa a ser adotado mesmo para deslocamentos possíveis de serem realizados pelos modos a pé, de bicicleta ou por

transporte coletivo. Fica estabelecido um ciclo vicioso: a dependência do uso do automóvel provoca aumento nas taxas de acidentes de trânsito e o receio das consequências de acidentes viários, envolvendo usuários vulneráveis, induz a dependência do uso do automóvel.

As evidências reportadas na literatura indicam que: (i) comunidades menos dependentes do automóvel apresentam redução do risco e das taxas de acidentes (LITMAN; FITZROY, 2016); (ii) a moderação da demanda de viagens e as escolhas de modos são influenciadas pela estrutura urbana (EWING; CERVERO, 2010); e (iii) a estrutura urbana exerce influência na segurança viária a medida que influencia o volume, os conflitos e a velocidade de tráfego (EWING; DUMBAUGH, 2009).

Nesse contexto, a motivação pelo estudo das relações entre a ocorrência de acidentes e a estrutura urbana no entorno de escolas fundamenta-se no potencial que esse ambiente tem em captar viagens de crianças e adolescentes por modos ativos (a pé ou de bicicleta), incentivando a adoção da mobilidade independente. Assim, a identificação de características físicas urbanas capazes de contribuir com ambientes mais seguros, pode subsidiar as estratégias de gestão da mobilidade voltadas para incentivo à inserção de modos ativos na matriz de deslocamentos das cidades, rompendo o ciclo vicioso estabelecido. A melhoria de segurança viária deve ser concebida visando a redução da frequência de acidentes e, simultaneamente, a minimização da severidade daqueles acidentes que, porventura, ocorram. Nesse sentido, destaca-se a oportunidade de obter avanços na melhoria da segurança viária pela inclusão de características da estrutura urbana capazes de contribuir com a redução tanto da exposição ao risco como da taxa de acidentes.

Compreender que elementos do ambiente urbano tornam as vias mais seguras de modo a estimular o uso de modos ativos é essencial para que o planejamento urbano e de transportes seja capaz de orientar as transformações necessárias no padrão de mobilidade das cidades. É necessário que sejam explorados os benefícios da inclusão de características da estrutura urbana capazes de reduzir a exposição ao risco pela moderação da demanda, tipicamente analisada em cinco aspectos (5D's): densidade, diversidade, desenho urbano, distância ao transporte coletivo e distância ao destino (EWING; CERVERO, 2010).

Apesar da relação entre o padrão de mobilidade e a segurança viária, poucos estudos mensuraram os efeitos desses aspectos no entorno de escolas (ABDEL-ATY *et al.*, 2007;

CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007; MCARTHUR *et al.*, 2014; ROTHMAN, 2015). Os estudos focados na compreensão das características da estrutura urbana influentes na segurança viária e os programas governamentais de melhoria nas áreas urbanas próximas às escolas concentram-se em países de alta renda, enquanto que mais de 95% das mortes de crianças por lesões decorrentes de acidentes de trânsito acontecem em países de baixa e média renda (PEDEN *et al.*, 2008). Até então, não foi identificada na literatura a inclusão de variáveis da estrutura urbana na análise de entornos escolares entre os estudos brasileiros. As relações entre estrutura urbana e segurança viária reportadas referem-se, em grande maioria, à países desenvolvidos. Assim, são necessários esforços capazes de identificar e verificar as relações significativas para cidades de países em desenvolvimento, como Porto Alegre.

1.3 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo delimita-se a analisar a relação entre os acidentes ocorridos no entorno de escolas e as características da estrutura urbana no entorno desses locais, incluindo, também, características das instituições, socioeconômicas e do acidente.

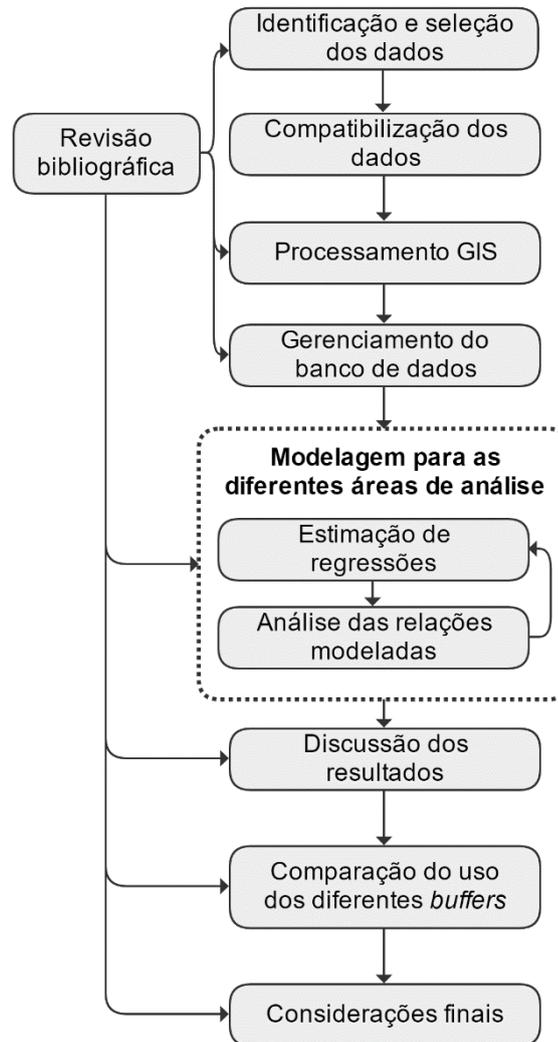
1.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Em decorrência da adoção de dados previamente coletados, não foram incluídas características individuais, como características socioeconômicas desagregadas e dos indivíduos.

1.5 DELINEAMENTO DO ESTUDO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas, esquematizadas na Figura 1 e descritas a seguir:

Figura 1: Delineamento do trabalho



(fonte: elaborado pela autora)

A revisão bibliográfica se estendeu durante todo o processo de pesquisa. Inicialmente, orientou a seleção das características da estrutura urbana e variáveis socioeconômicas influentes na acidentalidade, permitindo a análise da segurança viária nas áreas de estudo. Permitiu, também, a consolidação da experiência brasileira e internacional na análise e gestão da segurança viária no entorno de escolas, orientando a seleção de variáveis e a análise das relações obtidas pela modelagem. Garantiu, ainda, o suporte à discussão dos resultados obtidos no presente estudo e contextualização com aqueles já reportados na literatura.

A obtenção do banco de dados a partir do qual foi possível extrair as variáveis características dos entornos escolares foi realizada nas etapas: compatibilização de dados e processamento GIS (*Geographic Information System*). Nessa etapa foram reunidas as diferentes fontes de dados. O processamento da informação em uma base georreferenciada tem a função

de permitir a consolidação das informações de diferentes fontes e em diferentes formatos. O uso de ferramenta GIS propiciou desde a análise prévia de dados, capaz de auxiliar na definição da área de análise no entorno de escola, até a mensuração das variáveis nessas áreas. Permitiu, também, a representação gráfica da acidentalidade, das características socioeconômicas e das instituições analisadas.

A consolidação do banco de dados permitiu a extração das variáveis para as diferentes áreas de análise a serem estudadas. Com o uso de ferramenta de gerenciamento de banco de dados foi possível realizar o cruzamento das diferentes bases de dados resultantes do processamento GIS: (i) acidentes de entorno de escolas; (ii) características viárias do local do acidente; (iii) características da estrutura urbana; (iv) características de escolas e (v) características socioeconômicas e de desenho viário para os setores censitários da escola.

A modelagem consistiu na avaliação da influência das variáveis selecionadas para explicar a ocorrência da variável resposta. A avaliação das relações entre a ocorrência de acidentes e as variáveis selecionadas é realizada pelo modelo binomial negativo para explicar a frequência de *Acidentes totais* e acidentes envolvendo veículo e usuário vulnerável de modo ativo (*Acidentes veículo-UV*); e *logit* ordenado para a severidade dessas duas variáveis dependentes. Na etapa de modelagem está a análise dos parâmetros de desempenho dos modelos. O melhor ajuste da variável dependente é obtido por sucessivas regressões, resultando na seleção das variáveis mais significativas, que irão compor os modelos finais. Após a aplicação das regressões de variável dependente frequência e severidade, são computados os efeitos marginais para as variáveis independentes das respectivas técnicas. Os coeficientes e impactos informados pelos efeitos marginais são discutidos e confrontados com a literatura. Posteriormente, os modelos estimados para as áreas circulares de diferentes *buffers* são comparados quanto ao desempenho em relação à estimação e quanto aos resultados informados.

Ao fim do estudo são apresentadas as conclusões proporcionadas pelo estudo e, a partir da discussão realizada, são indicados os possíveis ganhos de incluir aspectos que não puderam ser avaliados no presente trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As causas dos acidentes têm sido estudadas há mais de cem anos. Desde então, a compreensão da ocorrência de acidentes foi abordada em cinco principais teorias: de acidentes como eventos randômicos (BORTKIEWICZ, 1898 *apud* ELVIK, 2006), da propensão maior de alguns indivíduos ao acidente (JAMES; DICKENSON, 1950; HADDON *et al.*, 1965 *apud* RODGERS; BLANCHARD, 1993), da causalidade, de sistemas e comportamental. A partir da teoria da causalidade, acidentes passaram a ser compreendidos, também, como resultado de diversas causas, com destaque para o comportamento humano como causa mais relevante (TREAT *et al.*, 1979). Com a teoria dos sistemas, os acidentes passaram a ser considerados como resultado da defasagem entre capacidade humana e habilidade demandada pelo sistema de transportes (PERROW, 2011). Nessa abordagem as ações de engenharia têm destaque. Perrow (2011) considera que a maioria dos acidentes em que as interações dos múltiplos fatores não seguem uma sequência operacional (denominados por acidentes normais) há um grau significativo de incompreensibilidade. Nesse contexto, a teoria comportamental se dedica a compreender as variações no comportamento diante dos diferentes níveis de exposição ao risco – através da teoria do risco homeostático (WILDE, 1982).

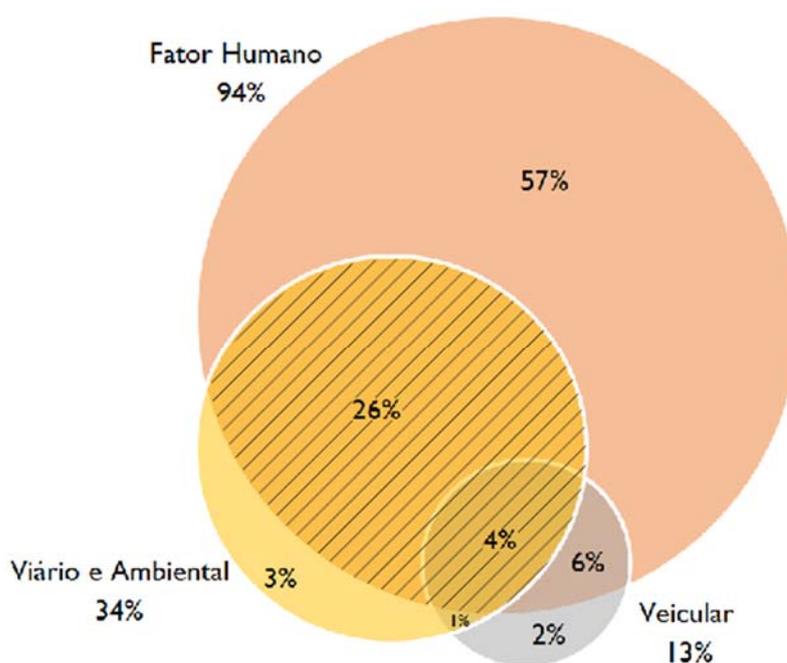
As evidências empíricas encontraram diversos fatores estatisticamente associados à ocorrência dos acidentes viários, sintetizados como quatro leis dos acidentes (ELVIK, 2006):

- i. aprendizagem: mais viagens implicam em aumento da capacidade de detectar riscos, de forma que a taxa de acidentes (por unidade de exposição) diminui à medida que aumenta a frequência de exposição;
- ii. eventos raros: fatores de risco mais raros, quando presentes, têm maior efeito sobre a taxa de acidentes do que aqueles mais frequentes;
- iii. complexidade: quanto maior o número de informações por tempo que um usuário deve atentar-se, maior a probabilidade de erro, de forma que a taxa de acidentes aumenta com o aumento de informações; e
- iv. capacidade cognitiva: quanto maior a taxa de acidentes, mais próxima a capacidade cognitiva está de seus limites, o que significa que as limitações que

afetam as funções mentais têm maior efeito sobre a taxa de acidentes do que as limitações que afetam as funções físicas.

O conjunto das referidas leis implica, genericamente, que o aumento do risco leva ao aumento da taxa de acidentes, denominada como Lei Universal. Portanto, é necessário considerar a contribuição dos diversos fatores que influenciam o aumento do risco e dos acidentes. Evidências empíricas (TREAT *et al.*, 1979), ainda que antigas, sugerem a interação entre fatores contribuintes conforme ilustra a Figura 2. Nas relações demonstradas, 30% dos acidentes resultam da combinação dos fatores contribuintes: fator humano e viário ambiental, que interagem com a contribuição veicular. A área hachurada indica o foco de análise deste trabalho.

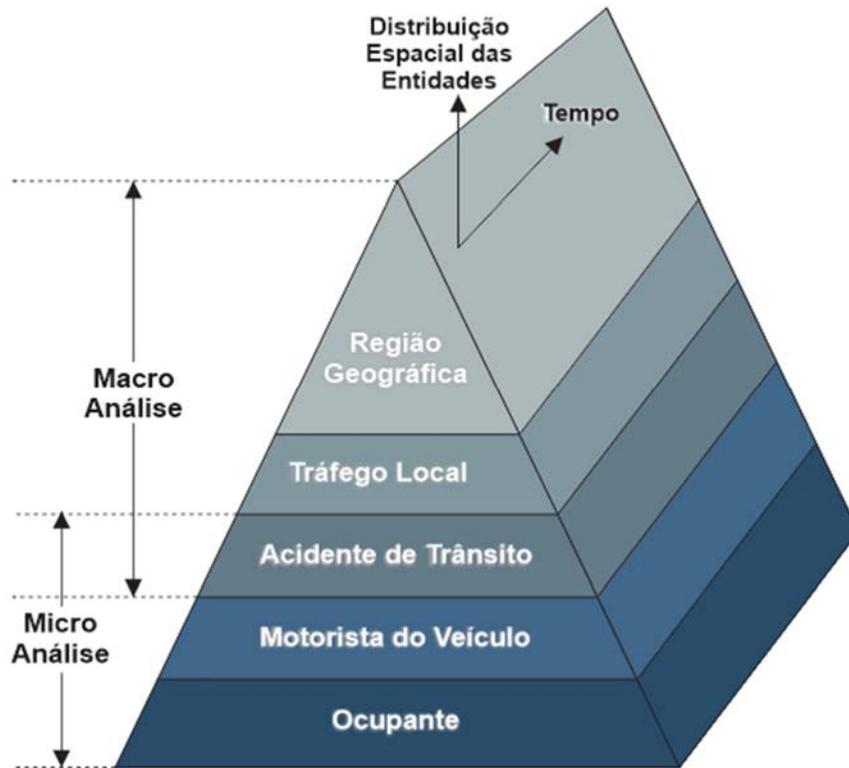
Figura 2: Fatores contribuintes de acidentes



(fonte: adaptado de Treat *et al.*, 1979)

A análise da segurança viária quando conduzida a partir dos registros de acidentes pode ser abordada a partir de uma macro análise ou de uma microanálise (HUANG; ABDEL-ATY, 2010). A Figura 3 demonstra as 5 dimensões propostas de análise, que combinadas aos registros, atuam em diferentes objetivos de análise. A análise voltada ao planejamento urbano pressupõe a análise dos fatores geográficos e de exposição, constituindo uma abordagem macroscópica, como a desta dissertação.

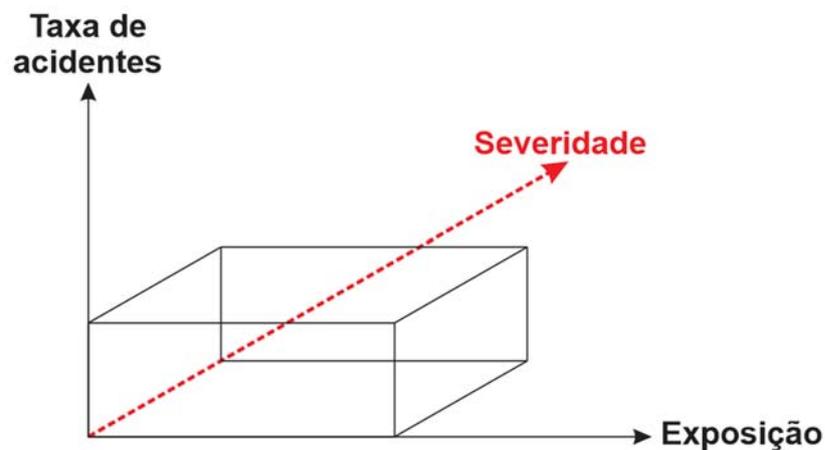
Figura 3: Dimensões de análise da segurança viária



(fonte: adaptado de Huang e Abdel-Aty, 2010)

Os registros de acidentes podem ser medidos em frequência e severidade. Elvik e Vaa (2004) identificaram a severidade como a terceira dimensão da relação entre taxa de acidentes e a exposição ao risco. Assim, o volume do sólido ilustrado pela Figura 4 corresponde à quantidade de indivíduos atingidos por lesões em acidentes. A partir dessa relação, reduzir lesões significa, também, atuar na redução da taxa de acidentes e da exposição ao risco.

Figura 4: Dimensões que afetam a segurança viária



(fonte: adaptado de Elvik e Vaa, 2004)

As evidências empíricas indicam que quanto mais veículos, maior o risco de os acidentes ocorrerem (LITMAN; FITZROY, 2016; EWING; DUMBAUGH, 2009). Assim, reduzir a exposição ao acidente corresponde a reduzir a quantidade de viagens realizadas e mudar as viagens necessárias para os modos que oferecem níveis menores de exposição (ELVIK; VAA, 2004). Nesse contexto, a composição do ambiente urbano e viário mais seguro acontece à medida que os modos ativos passam a ter maior representatividade na escolha de viagem. Concomitantemente, esses modos passam a ser mais incentivados em ambientes urbanos mais seguros, dando origem a um ciclo virtuoso. Nesse ciclo, quanto maior a proporção de viagens por modos ativos, mais seguro fica o ambiente viário e quanto mais seguro é o ambiente viário, maior é a propensão ao uso de modos ativos.

A redução da motorização atua como a tendência para o desenvolvimento de cidades seguras e sustentáveis. A experiência de Nova York demonstra efetiva redução de feridos no trânsito após concentrar esforços na priorização de pedestres (VIOLA; ROE; SHIN, 2010). Após ter investido maciçamente na melhoria da infraestrutura para os ciclistas, Copenhague apresentou – entre 1998 e 2009 – o dobro do ciclismo (milhões de quilômetro), simultâneo à redução das taxas de acidentes e mortes (por milhões de quilômetros) (DUDUTA *et al.*, 2013). Evidenciando que, apesar de os usuários de modos ativos serem os mais vulneráveis, o aumento do uso desses modos pode promover a redução da motorização e resultar em ambientes urbanos mais seguros.

Embora a presença de um maior número de pedestres circulando nas vias possa induzir à ideia de que mais indivíduos estão expostos ao risco, resultando em um aumento dos atropelamentos, há estudos que não confirmam essa relação. De acordo com o estudo desenvolvido por Rothman *et al.* (2014), em Toronto o aumento de viagens a pé não foi associado ao aumento de atropelamento em análises onde as características da estrutura urbana e socioeconômicas foram simultaneamente avaliadas. Jensen (2008) destaca que embora alguns estudos de risco tenham indicado que caminhar e andar de bicicleta é menos seguro do que usar modos motorizados, isso não tem sido verificado na prática para o caso da Dinamarca. O uso da bicicleta nas viagens para a escola é o modo de transportes dominante na Dinamarca, enquanto que crianças dinamarquesas raramente são mortas no trânsito (DANISH ROAD SAFETY COMMISSION, 2013).

As escolas atraem diferentes usuários, os quais determinam as dinâmicas do uso do espaço viário com suas escolhas de viagens. Essas escolhas constituem o comportamento de viagens, que por sua vez é resultante da sinergia entre as percepções e as possibilidades que a estrutura urbana proporciona aos indivíduos (EWING; CERVERO, 2010). A segurança viária é afetada pelo impacto dessas escolhas na exposição ao risco, dada, principalmente, pelo índice de motorização (EWING; DUMBAUGH, 2009). Portanto, a abordagem da segurança viária no entorno de escola deve englobar as características físicas, considerando que são capazes de determinar as dinâmicas do uso do espaço viário à medida que influenciam o padrão de viagem dos usuários.

Esta revisão está organizada em duas temáticas. A primeira demonstra as evidências presentes na literatura dedicada a compreender a segurança no entorno de escolas. A grande maioria dos estudos realizados foi dedicado a reportar os resultados e boas práticas na segurança do entorno de escolas a partir das experiências com programas do tipo *Safe Route to School* (SRTS ou SR2S). São reportadas as experiências brasileiras de análise de entornos escolares e consolidados os principais aprendizados a partir das referidas experiências. Posteriormente, são abordados os estudos referentes aos principais fatores viário-ambientais que atuam sobre a segurança viária nos aspectos de: influência das dimensões 5Ds na frequência e severidade dos acidentes, variáveis de controle e modelagem da frequência e da severidade dos acidentes.

2.1 O ENTORNO DE ESCOLAS E A SEGURANÇA VIÁRIA

A escola atua no meio urbano como um polo gerador de viagens (PGV) à medida que atrai usuários que modificam a dinâmica do tráfego local (PORTUGAL; GOLDNER, 2003). Ao atrair diversos usuários, a infraestrutura urbana passa a ser compartilhada por pessoas de diferentes idades, habilidades cognitivas e adeptos de diferentes modos de transportes. Entre os usuários, as crianças, com as habilidades cognitivas em desenvolvimento até os 10 anos de idade (JENSEN, 2008), tornam-se mais vulneráveis aos riscos associados às condições, muitas vezes adversas, de uso do sistema viário.

A revisão da literatura deste capítulo busca na experiência internacional e nacional e os aspectos relacionados aos usuários, aos entornos escolares e aos usuários dessas áreas, com especial atenção aos escolares – crianças e adolescentes.

2.1.1 Experiências internacionais

Entre a década de 60 e meados de 2000, países como Estados Unidos, Austrália, Dinamarca, Reino Unido e Canadá passaram por significativas reduções nas taxas de crianças e adolescentes que realizavam as viagens escolares a pé ou de bicicleta – modos ativos. A mudança de hábito foi simultânea ao aumento das distâncias entre casa e escola e dos índices de viagens motorizadas (ORENSTEIN *et al.*, 2007; BULIUNG *et al.*, 2009; BLACK *et al.*, 2001; ANDREOU, 2010). O declínio do uso de modos ativos e o aumento da dependência do automóvel trouxe prejuízos à segurança, resultando em um aumento das distâncias médias percorridas pela frota de automóveis e da acidentalidade (EWING; DUMBAUGH, 2009; LITMAN; FITZROY, 2016).

Existem diversos estudos dedicados a implementação de programas SRTS e a avaliação da eficácia destes programas quanto a melhoria da segurança viária nas proximidades de escolas e quanto a compreensão dos fatores capazes de reestabelecer o uso de modos ativos por crianças e adolescentes (BUCKLEY *et al.*, 2013; CHAUFAN *et al.*, 2012; CHRQUI *et al.*, 2012; DIMAGGIO *et al.*, 2016; DIMAGGIO; LI, 2013; DIMAGGIO *et al.*, 2014; FHWA, 2008; LEVIN MARTIN *et al.*, 2009; MCDONALD, *et al.*, 2013; MCDONALD, 2015; ORENSTEIN *et al.*, 2007; STEWART, 2011, 2011). A segurança viária é beneficiada pela combinação dos objetivos citados, uma vez que, além das melhorias físicas no ambiente urbano, o incentivo à redução da motorização produz ambientes de menor exposição ao risco e, portanto, mais saudáveis, sustentáveis e seguros.

As diversas experiências de programas SRTS incentivaram o desenvolvimento de estudos dedicados a verificar a eficácia dos programas nos aspectos: melhoria da segurança viária nas proximidades de escolas e compreensão dos fatores capazes de reestabelecer a mobilidade independente das crianças (ORENSTEIN *et al.*, 2007; FHWA, 2008; LEVIN MARTIN *et al.*, 2009; STEWART, 2011; CHRQUI *et al.*, 2012; DIMAGGIO; LI, 2013; CHAUFAN *et al.*, 2012; BUCKLEY *et al.*, 2013; MCDONALD *et al.*, 2013; DIMAGGIO *et al.*, 2014; MCDONALD, 2015; DIMAGGIO *et al.*, 2016). Foram desenvolvidos modelos que analisaram a acidentalidade juntamente ao perfil dos indivíduos, às características da instituição e as características físicas e ambientais do entorno de escolas (ABDEL-ATY *et al.*, 2007; CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007; MCARTHUR *et al.*, 2014; ROTHMAN, 2015). Seus resultados podem orientar a seleção de medidas de melhoria de segurança.

2.1.1.1 Boas práticas dos programas de rotas seguras para a escola

Originalmente desenvolvido em Odense (Dinamarca) em 1976 (JENSEN; HUMMER, 2003), o SRTS resultou em melhoria de segurança tanto para adultos como para crianças (JENSEN, 2008). Países como Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Austrália e Nova Zelândia passaram a adotar programas de rotas seguras. As ações desses programas foram estruturadas, tipicamente, em educação, fiscalização e engenharia – do inglês 3E's: *education*, *enforcement* e *engineering* (BOARNET *et al.*, 2005; HINCKSON *et al.*, 2011), podendo incluir mais 2E's, o incentivo (*encouragement*) (NHTSA, 2007; MCDONALD *et al.*, 2013) e avaliação das medidas implementadas (*evaluation*) (STEWART, 2011; DIMAGGIO; LI, 2013).

Implementado em 1997 em Nova York (DIMAGGIO *et al.*, 2014), o SRTS foi responsável pela a redução da taxa de atropelamentos (por habitante) no período de 2001 a 2010 que atingiu, principalmente, os pedestres em idade escolar, com 33% de redução total de acidentes e 44% de redução dos acidentes em horário de viagem escolar. A implementação do programa foi seguida pelos estados da Florida em 1997 (NHTSA, 2007) e da Califórnia em 1999 (ORENSTEIN *et al.*, 2007). Em 2005, financiado pelo governo federal, o SRTS de Nova York passou a ter a maior parte dos recursos (entre 70% e 90%) destinados às ações de engenharia em um raio de, aproximadamente, 3 quilômetros da escola. Atribui-se à priorização das ações de engenharia as melhorias de segurança atingidas (LEVIN MARTIN *et al.*, 2009; MCDONALD *et al.*, 2013; DIMAGGIO; LI, 2013).

Na Califórnia, a redução da velocidade média no entorno das escolas foi obtida por estratégias de moderação do tráfego, que resultou em redução da severidade dos acidentes envolvendo pedestres e ciclistas (BOARNET *et al.*, 2005; ORENSTEIN *et al.*, 2007). Além do impacto direto na acidentalidade envolvendo todos os usuários das proximidades de escolas, o programa é responsável pelo aumento da percepção de segurança e pela redução do volume de tráfego, melhorando a fluidez do tráfego e reduzindo a disputa por vagas de estacionamento e os níveis locais de poluição (ORENSTEIN *et al.*, 2007). Os bons resultados da implementação do programa na Califórnia convergem com a ampla experiência norte-americana com os programas SRTS implementados em outros estados (NATIONAL CENTER FOR SAFE ROUTES TO SCHOOL, 2011). Os programas representam as maiores intervenções a favor da segurança dos usuários de modos ativos, incluindo as crianças, mas também os demais usuários.

Garantem a oportunidade de escolha do transporte ativo, reduzindo a dependência do automóvel, impactando os níveis de congestionamento e emissões (NHTSA, 2007; DIMAGGIO; LI, 2013; MCDONALD, 2015)

Desde 1995 no Reino Unido, os programas SRTS foram compostos por implantação de ciclovias, medidas de moderação de tráfego como cruzamentos nivelados ao passeio e de interrupção da velocidade de tráfego. Em dois anos, os resultados foram: o triplo do uso de bicicletas e a redução dos acidentes com vítimas pedestres e ciclistas em 77% e 28%, respectivamente (APPLEYARD, 2003). Quanto ao impacto medido na motorização, Black *et al.* (2001) sugerem que a redução da motorização é efetiva dada as pequenas distâncias entre residência-escola nas cidades inglesas, até 2 quilômetros.

No Canadá os programas SRTS têm contribuído com o aumento das viagens multimodais para a escola (MCDONALD *et al.*, 2013). Nesse contexto, é fundamental garantir que as redes de transporte coletivo sejam conectadas à escola por caminhos seguros (ANDREOU, 2010). Na Nova Zelândia desde 2004, as ações do *School Travel Plan* nos aspectos 3E's resultaram no aumento de viagens escolares infantis ativas (HINCKSON *et al.*, 2011). Em estudo realizado por Newbury *et al.* (2008) foram avaliados os fatores contribuintes à acidentalidade. Os autores identificaram maior acidentalidade com lesão em crianças nos dias de aula e nos períodos de pico, principalmente no horário de término do período escolar. Nesse contexto, os benefícios da gestão e moderação do tráfego no entorno das escolas podem ser mais amplos se priorizados nesses dias e horários.

As experiências com os programas SRTS convergem quanto aos benefícios em segurança resultantes de medidas de moderação de tráfego com ênfase em redução de velocidade (JENSEN, 2008; NATIONAL CENTER FOR SAFE ROUTES TO SCHOOL, 2011). Do ponto de vista da gestão de demanda, a estrutura urbana mais segura promove ainda mais o uso dos modos ativos, levando ao ciclo virtuoso gerado por adesão à modos ativos e redução da motorização, capaz de consolidar as melhorias de mobilidade e de segurança viária.

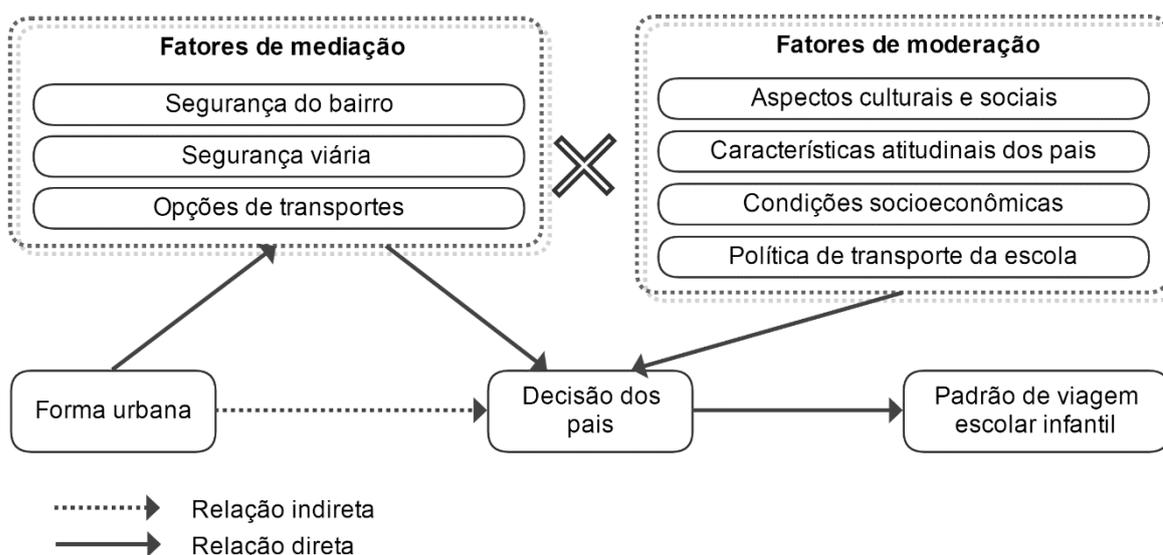
2.1.1.2 Mobilidade Independente e ativa a favor da segurança viária

A MI, situação na qual os jovens e as crianças se deslocam de forma autônoma (HILLMAN *et al.*, 1990), está diretamente associada a adoção de modos ativos na idade escolar,

dada a idade insuficiente para a obtenção de habilitação para dirigir. O declínio do uso de modos ativos e o aumento da dependência do automóvel causou o aumento das distâncias médias percorridas pela frota de automóveis e foi acompanhado do aumento da acidentalidade (EWING; DUMBAUGH, 2009; LITMAN; FITZROY, 2016).

Para compreender a mobilidade infantil, é necessário considerar que o padrão de viagem de uma criança é diretamente afetado pela permissão concedida pelos pais para a realização de suas viagens. A partir da consolidação da literatura na área de planejamento urbano, de transportes e de saúde dedicadas a tratar da mobilidade ativa, de áreas escolares e da forma urbana, Mcmillan (2005) propõe que as viagens de crianças resultam da decisão dos pais. Essa decisão, por sua vez, é influenciada pela forma urbana (indiretamente) e pelo conjunto de aspectos culturais, sociais, características socioeconômicas e os aspectos atitudinais dos próprios pais. Ahlport *et al.* (2006) sugerem que – também as políticas de incentivo da escola, como horários flexíveis que garantem a viagem após amanhecer e antes de escurecer, solicitação de guarda de trânsito e organização de viagens em grupo – atuam como fatores moderadores sobre a decisão dos pais. Nesse sentido, as viagens em grupos, denominadas ônibus a pé – *Walking School Bus* (WSB) – têm se destacado como incentivo eficaz para a redução da motorização (STEWART, 2011). A Figura 5 demonstra as relações descritas.

Figura 5: Fatores que influenciam a viagem escolar infantil



(fonte: adaptado de Mcmillan, 2005 e Ahlport *et al.*, 2006)

Na literatura são encontradas, também, relações que detalham as dependências entre os diversos fatores influentes e a permissão dos pais (PANTER *et al.*, 2008). Portanto, fica

estabelecida a dependência da percepção e dos hábitos dos pais na mobilidade de crianças e adolescentes, dada a necessidade da permissão para a realização de viagens independentes. Diversos estudos foram desenvolvidos com o objetivo de explorar os fatores que afetam a permissão dos pais para a mobilidade ativa e independente de crianças e adolescentes (AHLPORT *et al.*, 2006; EVERS *et al.*, 2014; MCDONALD, 2005; NEVELSTEEN *et al.*, 2012; TIMPERIO *et al.*, 2006).

Verifica-se que distância entre escola e residência atua como principal barreira à mobilidade ativa e independente das crianças (MCDONALD, 2005; 2007; JENSEN, 2008; BROBERG *et al.*, 2013; SHAW *et al.*, 2013; ROTHMAN *et al.*, 2014; CURTIS *et al.*, 2015; EASTON; FERRARI, 2015; MITRA; BULIUNG, 2015; O'KEEFFE; O'BEIRNE, 2015). Pelo receio de permitir a exposição das crianças aos riscos decorrentes do sistema viário com altas velocidades e volumes de tráfego, os pais optam por levar seus filhos de automóvel até a escola, o que gera incremento no volume de tráfego de veículos nas proximidades das escolas (ROMERO, 2011). Assim, o próprio receio dos pais induz o aumento do risco ao qual usuários não motorizados estão expostos, conduzindo a um ciclo vicioso de insegurança. A percepção dos pais é afetada, também, pelos seus próprios hábitos de viagens, sendo a distância menos relevante para aqueles pais que caminham mais (CDC, 2005).

Quanto à estrutura urbana, os pais tendem a relacionar o risco de acidentes viários à descontinuidade de passeios e quantidade de travessias no trajeto (AHLPORT *et al.*, 2006), que de fato mostraram relação com o aumento da severidade de acidentes. Embora determinante nas viagens das crianças, a percepção de segurança dos pais deve ser confrontada com as características da estrutura urbana que produziram bons resultados medidos em redução de lesões e accidentalidade, e as eventuais discordâncias entre o risco percebido pelos pais e o risco real à que os usuários são expostos na estrutura urbana devem ser mediadas (ROTHMAN *et al.*, 2015).

Uma extensa revisão sistemática da literatura (ROTHMAN *et al.*, 2012) identificou o distanciamento entre o estudo da mobilidade ativa de crianças e da segurança desses usuários no sistema viário. É necessário destacar que a estrutura urbana pode ser atrativa nos aspectos de caminhabilidade referentes ao uso do solo, e ainda assim concentrar altos índices de acidentes envolvendo pedestres e ciclistas, de forma que a insegurança decorrente do desenho viário atua como barreira à mobilidade ativa segura (ANDREOU, 2010). Portanto, o incentivo

da mobilidade ativa deve ser simultâneo à construção de um ambiente viário mais seguro (ROTHMAN *et al.*, 2012; ROTHMAN *et al.*, 2014; ROTHMAN, 2015), uma vez que a segurança viária atua ao mesmo tempo como objetivo do aumento da mobilidade ativa e como resultado da adesão a esses modos. Junto à segurança pública, ela exerce forte influência nos deslocamentos ativos para a escola (MEROM *et al.*, 2006).

2.1.1.3 Análise do entorno de escolas

A experiência de análise de áreas escolares foi reportada em relação a frequência e a severidade de acidentes. É característica comum aos estudos a inclusão de variáveis relativas a instituição escolar, condições socioeconômicas da área analisada e/ou dos escolares e as características da estrutura urbana. Os estudos reportados resultaram em contribuições para os programas SRTS, mas, diferentemente daqueles reportados no item 2.1.1.1, atuam de forma a identificar a combinação de características que influenciam o aumento da frequência e severidade de acidentes.

A análise da acidentalidade com foco nos usuários vulneráveis ativos – pedestres e ciclistas – conduzida em Orange (Flórida), identificou que a maior parte dos acidentes envolvendo crianças e adolescentes em idade escolar ocorrem próximos às escolas (ABDEL-ATY *et al.*, 2007). Essa análise foi conduzida em uma área circular com raio de 400 metros a partir da instituição escolar e incluiu características de 3 tipos: individuais (do motorista e do usuário ativo), do acidente como um evento e do desenho viário. Quanto às características individuais, motoristas de média idade, homens e alcoolizados, são aqueles mais propensos a se envolver no tipo de acidente analisado. Em relação às características do desenho urbano, a acidentalidade foi positivamente associada ao número de faixas, limite de velocidade e velocidade desenvolvida. A maior frequência de acidentes mostrou-se, principalmente, associada à situação que envolve crianças e adolescentes das faixas de ensino equivalentes ao médio e a partir da segunda metade do ensino fundamental brasileiro (*middle e high-school*) em vias rápidas de múltiplas faixas. Essa frequência relacionada a essas vítimas pode ser explicada pela localização das instituições de ensino fundamental e médio próximas às vias de alta hierarquia viária.

A relação entre maior frequência de acidente no entorno de escolas e a hierarquia viária é replicada na análise de McArthur *et al.* (2014). A análise também foi conduzida nos Estados

Unidos, no entorno de 26 escolas no estado de Michigan, com o objetivo principal de bem orientar as ações do programa SRTS. Essa análise foi conduzida para a área circular de raio de 1,6 quilômetros da instituição escolar e com a inclusão de características socioeconômicas dos escolares e da área escolar e hierarquia viária predominante na área e quantidade de alunos. A alta densidade populacional e o tamanho médio da família do escolar são fatores relacionados ao aumento da frequência de acidentes.

A severidade dos acidentes no entorno das escolas foi analisada a partir de características socioeconômicas e físicas do entorno (área circular de raio 400 metros) de escolas públicas de Baltimore (Maryland, EUA) (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007). A presença de uma entrada de automóveis ou baía de embarque e desembarque diminui tanto a frequência quanto a severidade do acidente. Já a presença de área recreacional está positivamente associada com a ocorrência do acidente e a severidade das lesões decorrentes desses. Variáveis da estrutura urbana como acesso ao transporte coletivo, acesso à comércios e densidade populacional foram significativas na análise. No entanto, geralmente, estão associados com o aumento da demanda de pedestres e demonstraram contribuir para o aumento da severidade de acidentes com indivíduos de todas as idades e com escolares (5 a 18 anos).

2.1.2 Experiência brasileira

No Brasil as experiências com os programas dedicados a promover segurança viária nas proximidades de escolas foram experiências locais, e as ações foram, predominantemente, concentradas em educação. No início da década de 90, a cidade de Joinville aplicou medidas de educação e engenharia, e se destacou por implementar a prática de travessia com aluno guia. Teve como resultado a redução de 59,2% das mortes (PISKE, 1991 *apud* FARIA; BRAGA, 1999). Em 2004, baseado nos programas internacionais, foi iniciado em Florianópolis o programa de rotas seguras (XAVIER *et al.*, 2005). No entanto, até o momento, apenas a identificação das principais rotas e do padrão de viagem predominante das instituições foram reportados.

Entre os estudos brasileiros de segurança viária envolvendo escolas, existem dois principais objetivos: identificar os fatores influentes na percepção de segurança viária e a mensuração da segurança local através das características físicas. As análises dedicadas à compreensão da percepção dos usuários concentram-se na cidade de São Carlos (São Paulo) e

incluem os usuários de áreas escolares como funcionários, pais de alunos, transportadores escolares e técnicos de engenharia de tráfego. Ao serem avaliados os aspectos 3E's – engenharia, educação e esforço legal – Montmorency (2008) identificou a preferência geral dos usuários pelas ações educacionais. Essa preferência foi replicada nas análises conduzidas por Barbato e Raia Júnior (2010). Zani (2012) identificou que as ações de engenharia receberam destaque dos diversos grupos de usuários, mesmo para os grupos que não a destacaram como mais importante, por causar percepção de segurança com os efeitos visíveis.

Em relação a avaliação de segurança a partir de características físicas, Raia Júnior *et al.* (2006) calcularam um índice de insegurança capaz de comparar diferentes entornos de instituições, que é composto pelo somatório do índice de acidente ponderado pela severidade e do índice de potencial de acidente em área escolar. A estimativa do potencial de acidente tem a hierarquia viária como *proxy* de exposição ao risco, incluindo a ponderação da malha na área próxima à escola (raio de 300 metros) de acordo com as categorias viárias: expressa, arterial, coletora e local. A técnica foi aplicada em 33 escolas de ensino fundamental da cidade de São Carlos e o cálculo do índice de insegurança resultou no *ranking* das escolas prioritárias nas intervenções a favor da segurança viária.

Nascimento e Goldner (2014) adotaram a verificação do *check list* para revisão da segurança viária em rodovias (SCHOPF, 2006). Verificaram em escolas da cidade de Florianópolis itens como a presença de sinalização de velocidade reduzida a 40 km/h, qualidade do pavimento, de calçadas, presença de infraestrutura cicloviária e de estacionamento. No entanto, as escolas avaliadas não permitiram a identificação de um padrão de características viárias influentes na segurança.

2.1.3 Aprendizado com as experiências anteriores

As experiências com o SRTS demonstram que, principalmente, os programas que incluíram medidas de redução de velocidade e sinalização de cruzamentos têm sido bem-sucedidos (BOARNET *et al.*, 2005; JENSEN, 2008). As travessias semaforizadas e medidas de moderação de tráfego como lombadas e travessias niveladas ao passeio demonstraram tornar a interação veículo e usuário ativo mais segura, à medida que contribuíram para a redução da frequência de acidentes. Em análise global da segurança, Peden *et al.* (2008) concluíram que a moderação de tráfego nas cidades tem o potencial de reduzir a taxa de lesões.

Em países como Alemanha, Reino Unido, Austrália e Holanda, as medidas de moderação de tráfego demonstraram atuar sobre a severidade das lesões decorrentes de acidente e estão diretamente relacionadas à velocidade desempenhada (BUNN *et al.*, 2003). No Chile, Blazquez e Celis (2013) identificaram que acidentes em horário de pico, além de vias principais, com maiores larguras, altos volumes de tráfego e interseções não semaforizadas, são características comuns das áreas de alta concentração de atropelamentos de crianças. Sugerindo, portanto, a gestão de velocidade concentrada nesses horários.

Quanto as características relevantes na avaliação dos SRTS, a maioria dos estudos dedicados a avaliar o uso do modo a pé por crianças (82%) incluiu características socioeconômicas, entre os estudos que avaliaram a acidentalidade com lesão em crianças, 37% também incluiu as características socioeconômicas (ROTHMAN, 2015). A inclusão dessas características mostrou-se fundamental para explicar a relação entre as características físicas urbanas e a acidentalidade (LIN; CHANG, 2010; WONG *et al.*, 2011; ROTHMAN *et al.*, 2014). Tipicamente, a frequência de acidentes no entorno de escolas está negativamente relacionada com a renda média familiar (MCARTHUR *et al.*, 2014) e positivamente relacionada à densidade de domicílios multifamiliares (ROTHMAN, 2015).

Em extensa revisão da literatura e meta-análise, Dimaggio e Li (2012) concluíram que a infraestrutura viária está diretamente relacionada com o risco de ferimento de pedestres e que, as intervenções no ambiente viário – ainda que modestas – podem resultar em reduções significativas no risco de lesões em pedestres crianças. Quanto a estrutura urbana, 70,3% dos estudos, quando foram dedicados a explicar a acidentalidade com crianças, incluíram variáveis relativas às três dimensões mais comumente analisadas da estrutura urbana (3Ds): densidade, diversidade e desenho urbano (ROTHMAN, 2015). Ao avaliar simultaneamente a parcela de usuários expostos (proporção de uso de modo a pé, no caso estudado), as características socioeconômicas e as dimensões da estrutura urbana, Rothman *et al.* (2014) constataram que a acidentalidade está mais fortemente associada com as características da estrutura urbana.

Medidas de moderação de tráfego se destacam, ao fornecer um desenho viário mais seguro. No entanto, assim como é a sinergia entre os 3Ds (EWING; CERVERO, 2010) que é capaz de melhor explicar a influência dos aspectos da estrutura urbana nas viagens sustentáveis, é possível que seja, também, a acidentalidade melhor explicada pela análise do conjunto das dimensões da estrutura urbana. Combinadas, as características de acidentes, das escolas, das

condições socioeconômicas locais e ambientais, as características da estrutura urbana têm o potencial de explicar a acidentalidade no entorno de escolas (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007).

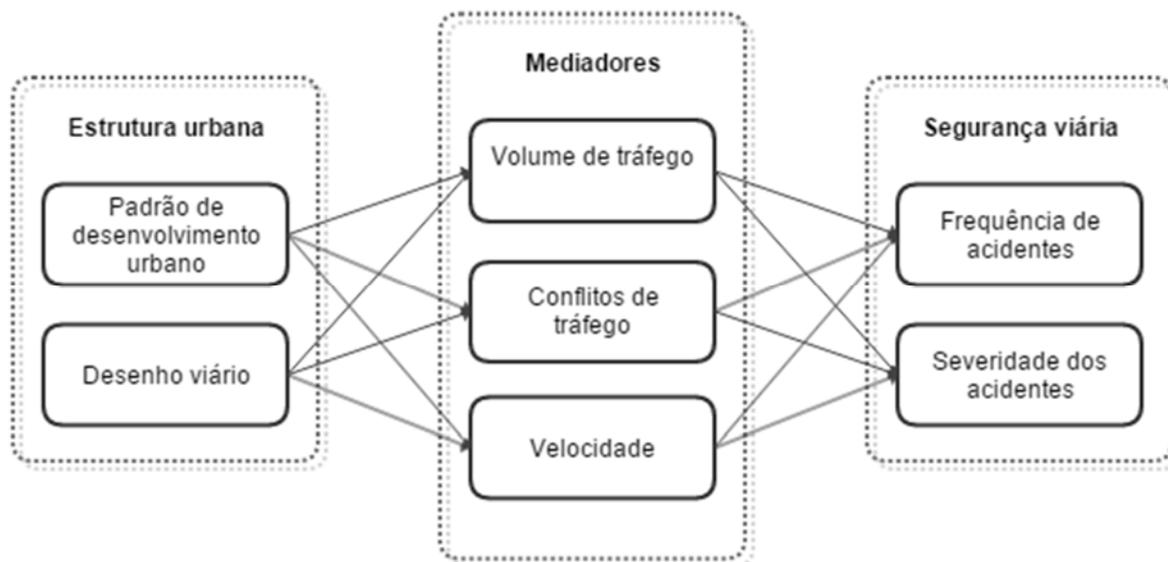
2.2 A INFLUÊNCIA DOS FATORES VIÁRIO-AMBIENTAIS NA SEGURANÇA VIÁRIA

A influência dos fatores viários e ambientais foi organizada nesta revisão em três subitens. A estrutura urbana (2.2.1) nas dimensões 5Ds é descrita em suas mensurações e influência na frequência e severidade de acidentes. Assim como as variáveis de controle (2.2.2), que correspondem à aspectos não planejáveis, como condições climáticas, mas que exercem importante influência na acidentalidade. O terceiro item (2.2.3) refere-se às questões metodológicas envolvidas na seleção de técnicas de modelagem que possibilitem a análise da frequência e da severidade de acidentes a partir dos fatores viário-ambientais.

2.2.1 Estrutura Urbana

A relação entre segurança viária e estrutura urbana (*built environment*) são fundamentadas na estrutura conceitual ilustrada pela Figura 6, na qual a frequência e a severidade são mediadas pelas determinantes de exposição ao risco decorrentes do volume de tráfego motorizado, conflitos de tráfego e velocidades desempenhadas. Esses fatores influenciam a frequência e a severidade. Essa relação foi proposta por Ewing e Dumbaugh (2009) a partir das evidências reportadas na literatura.

Figura 6: Relação entre a estrutura urbana e a segurança viária



(fonte: adaptado de Ewing e Dumbaugh, 2009)

O padrão de desenvolvimento urbano afeta o volume de tráfego à medida que influencia o padrão de viagens. A estrutura urbana dispersa (*urban sprawl*) – conforme definida por Ewing *et al.* (2003) – é caracterizada por baixas densidades populacionais e de domicílios e por grandes distâncias a serem percorridas, além de a ocupação do solo ser pouco diversificada e as quadras serem extensas. Uma ampla análise – a partir de 448 municípios nos Estados Unidos – demonstrou que a dispersão urbana está claramente associada a acidentes viários com feridos. Quando medida por índice inversamente proporcional à dispersão (*sprawl index*), o aumento de 1% no *sprawl index* foi relacionado à redução de 1,49% na taxa de feridos em acidentes. Para acidentes envolvendo pedestres feridos, o mesmo aumento reflete em redução de 1,47 a 3,56%. Portanto, a estrutura urbana mais dispersa incentiva o transporte motorizado e impõe alto risco a usuários não motorizados.

O desenho viário atua de forma a induzir ou restringir a mobilidade por automóveis, à medida que oferta capacidade as vias. Comparado com os outros fatores, de forma isolada, o excesso de velocidade é o fator que apresenta o maior efeito no número e na severidade de acidentes (ELVIK, 2004). Verifica-se aumento da severidade das lesões com o aumento da velocidade, principalmente para velocidades a partir de 80 km/h (KOCKELMAN; KWEON, 2002). Elementos de desenho viário, como a largura da via e o comprimento médio das quadras, impactam as velocidades praticadas pelos condutores. Quanto menor a largura e o comprimento

ininterrupto da via, menores serão as velocidades de tráfego e menor a severidade dos acidentes que, porventura, ocorrem (EWING; DUMBAUGH, 2009; NOLAND; OH, 2004).

As evidências empíricas demonstram que a relação entre a velocidade de operação e a segurança viária é mais claramente esclarecida pelas características geométricas do ambiente viário. Essas características parecem ser aquelas que de fato influenciam a velocidade desempenhada nas vias. Quando a severidade dos acidentes foi modelada em função tanto do variável limite de velocidade, quanto da largura e forma da via, as características físicas mostram ser mais relevantes que o limite de velocidade estipulado (ZAHABI *et al.*, 2011).

A relação proposta por Ewing e Dumbaugh (2009) indica que a acidentalidade é influenciada pela combinação dos impactos da estrutura urbana no volume, nos conflitos e na velocidade de tráfego. É possível que a intensidade dessas relações ainda precise ser verificada em diferentes cenários de análise. No entanto, até então, as evidências indicam que o volume de tráfego é o principal determinante da frequência de acidentes, enquanto que a velocidade é o principal para a severidade dos acidentes.

A análise da estrutura urbana tem sido conduzida pelos seus efeitos na geração de viagens sustentáveis, principalmente viagens em modos ativos. É, tipicamente, analisada nas três dimensões preconizadas por Cervero e Kockelman (1997): densidade do uso do solo, diversidade do uso do solo e desenho urbano. A partir de um estudo conduzido em Bogotá (CERVERO *et al.*, 2009), a presença de escolas e a proximidade aos corredores de transporte coletivo – *BRT Transmilenium*, no caso estudado – demonstrou influência da distância ao transporte coletivo e a demais destinos no padrão de viagens. A partir de então, foi sugerida a análise da estrutura urbana nas dimensões 5Ds: densidade do uso do solo, diversidade do uso do solo, desenho urbano, distância ao destino e distância ao transporte coletivo.

A densidade do uso do solo mensura o interesse por determinada área, que é medido pelas variáveis que quantificam população, unidades habitacionais, emprego e área útil construída, ou densidade global (combinação de população e emprego) – por unidade de área líquida ou bruta (EWING; CERVERO, 2010). A densidade populacional mostrou contribuir para menores frequências de acidentes totais, com lesão ou fatais (DUMBAUGH; RAE, 2009). Em análise de áreas escolares, foi relacionada a maior frequência e maior severidade de acidentes (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007). No entanto, esses resultados foram compreendidos

como afetados pelo aumento do número de pedestres e aumento da exposição ao risco. Maiores densidades domiciliares foram relacionadas a menor frequência de atropelamento de crianças (ROTHMAN *et al.*, 2014; ROTHMAN, 2015). Quanto à severidade, ao mesmo tempo que maior densidade populacional mostrou influenciar atropelamentos menos severos, em relação a acidentes entre veículo-ciclista, contribuiu com o aumento da severidade (ZAHABI *et al.*, 2011).

Em Seattle (EUA), maiores densidades de empregos (por zona de tráfego) foram relacionadas a acidentes menos severos envolvendo ciclistas (CHEN; SHEN, 2016). Quanto à frequência das ocorrências, a análise conduzida em todo o território inglês indicou que maiores densidades de empregos contribuem com o aumento da frequência de acidentes com vítimas – resultado que pôde ser atribuído ao maior nível de atividade nas ruas (NOLAND; QUDDUS, 2004). Ao mesmo tempo, essa mesma análise indicou que áreas com alta urbanização (maior que 75 por cento) tendem a fazer menos vítimas de acidentes, dado os efeitos dos congestionamentos e menores velocidades desempenhadas nessas áreas.

Já na análise conduzida no Hawaii, Kim *et al.* (2006) identificaram relações positivas e estatisticamente significativas entre a população, empregos e a frequência acidentes totais e entre dois veículos. O Quadro 1 sintetiza as principais relações (positivas e negativas) reportadas para a influência da densidade do uso do solo na frequência e na severidade de acidentes.

Quadro 1: Síntese da influência da densidade de uso do solo na segurança viária

Variável mensurada	Frequência	Severidade	Estudo; #var. dependente
Densidade populacional	+		Kim <i>et al.</i> (2006) #total; #veículo-veículo; #veículo-bicicleta; #atropelamento
		+	Clifton <i>et al.</i> (2007) #atropelamento
	–		Dumbaugh e Rae (2009) *meta-análise
		–	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #atropelamento
		+	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #veículo-ciclista
Densidade de domicílios	–		Rothman <i>et al.</i> (2014, 2015) #atropelamentos
Densidade de empregos	+		Noland e Quddus (2004) #fatal; #lesão grave; #lesão leve
			Kim <i>et al.</i> (2006) #total; #veículo-veículo
		–	Chen e Shen (2016) #veículo-ciclista

continua

continuação

Variável mensurada	Frequência	Severidade	Estudo; #var. dependente
Densidade de desocupação		+	Abay (2013) #atropelamento
Urbanização > 75% (<i>dummy</i>)	-		Noland e Quddus (2004) #fatal; #lesão grave; #lesão leve
Densidade de uso [empregos; comércios; serviços]	+		Hernández-Hernández e Haro-de León (2014) #atropelamento

*resultados obtidos a partir de meta-análise

(fonte: elaborado pela autora)

As relações reportadas demonstram a falta de generalização da influência das variáveis de densidade de uso do solo na segurança viária, de forma que mesmas variáveis podem exercer influência positiva na frequência de acidentes e negativa na severidade (a exemplo de densidade populacional e de empregos), ou mesmo relação oposta para o mesmo tipo de variável resposta em diferentes contextos de análise – como, por exemplo, a densidade populacional, com relações opostas em relação a severidade para atropelamentos em entorno escolar de Baltimore (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007) e atropelamentos em toda Montreal (ZAHABI *et al.*, 2011).

A *Diversidade* de uso do solo expressa a presença das diferentes formas de utilização da estrutura urbana e dos níveis de representatividade desse uso por área (EWING; CERVERO, 2010). Podendo ser mensurada pelo índice de área construída, pela proporção de usos em um mesmo edifício ou através da medida de entropia. A entropia pode ser medida pela parcela de ocupação que determinado uso exerce sobre a área total analisada, ponderada pelas diferentes categorias de usos na área construída. Pela aplicação dessas proporções em logaritmo natural, o índice de entropia varia entre 0 e 1, para o qual 1 corresponde o uso do solo misto em proporções iguais (CERVERO; KOCKELMAN, 1997). Nesse sentido, uma baixa entropia significa que um determinado uso de solo é predominante em uma área. Portanto, o impacto de usos heterogêneos do solo na segurança viária difere para as mensurações e contextos de análise, conforme sintetiza o Quadro 2.

Quadro 2: Influência da diversidade de uso do solo na segurança viária

Variável mensurada	Frequência	Severidade	Estudo; #var. dependente
Uso comercial (>50%)	+		Kim e Yamashita (2002) #total
Uso comercial (%)	+		Wedagama <i>et al.</i> (2006) #atropelamentos
	+		Wedagama <i>et al.</i> (2008) #atropelamentos

continua

continuação

Variável mensurada	Frequência	Severidade	Estudo; #var. dependente
Uso comercial (%)	+		Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #total; #fatais
Uso industrial (%)	+		Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #total; #fatais
Uso residencial (%)	-		Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #total
Uso misto [comercial]		+	Clifton <i>et al.</i> (2007) #atropelamento
Comércios; serviços [n]	+		Kim <i>et al.</i> , (2010) #total; #feridos; #fatal; #atropelamento;
Uso misto [comercial; residencial]		+	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #atropelamento; #veículo-ciclista
Uso misto [residencial; área verde; escritórios; comércio; indústrias]		-	Chen e Shen (2016) #veículo-ciclista

(fonte: elaborado pela autora)

O uso do solo misto quando mensurado pela entropia para os tipos de ocupação residenciais, áreas verdes, escritórios, comércio e indústrias, mostrou contribuir para a redução da severidade em acidentes entre veículo e ciclista (CHEN; SHEN, 2016). Enquanto que, quando mensurado pela soma dos quadrados das parcelas dos usos residencial e comercial, mostrou contribuir para o aumento da severidade, tanto dos acidentes envolvendo veículo e ciclista, quanto a de atropelamentos (ZAHABI *et al.*, 2011). Em análise de atropelamentos no entorno escolar, o uso misto do solo assumido como simplesmente a parcela de área de uso comercial, e demonstrou contribuir com o aumento da severidade das ocorrências (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007).

Quanto à frequência, em Nova York, os setores censitários com mais indústrias e comércio foram associados à maior probabilidade de acidentes totais e fatais, enquanto que o uso do solo predominantemente residencial foi relacionado a menor probabilidade de acidentes totais (UKKUSURI *et al.*, 2012). Áreas com alta parcela de uso comercial também foram relacionadas ao aumento de atropelamentos com lesão em Newcastle, na Inglaterra (WEDAGAMA *et al.*, 2006; WEDAGAMA *et al.*, 2008). No Hawaii, o uso do solo predominantemente comercial foi associado ao aumento da frequência de acidentes por atrair mais viagens (KIM; YAMASHITA, 2002).

A dimensão *Desenho urbano* é a forma como a malha viária está distribuída em uma área (CERVERO; KOCKELMAN, 1997). Redes variam de malhas urbanas densas com ruas retas bem interconectadas (*Grid network*) a redes com curvas que formam círculos e ruas sem saída

(*cul-de-sacs*). Diversas são as variáveis dedicadas a mensurar essa dimensão, entre as quais destacam-se: densidade de interseções, tamanho de quadra, parcela de interseções com quatro vias e a combinação de variáveis capazes de mensurar a conectividade viária (EWING; CERVERO, 2010).

A densidade de interseções com quatro vias, ao mesmo tempo que compõe um ambiente mais conectado, reportado pelo potencial de gerar viagens não motorizadas (EWING; CERVERO, 2010), demonstrou estar relacionada ao aumento da acidentalidade para usuários não motorizados nas análises conduzidas em San Antonio (DUMBAUGH *et al.*, 2013) e no condado de Alameda (ZHANG *et al.*, 2015) – ambas nos Estados Unidos. Esse resultado converge com a análise realizada em Nova York, em que os maiores números de interseções de quatro vias foram relacionados ao aumento da frequência de acidentes (UKKUSURI *et al.*, 2012). Essas interseções tendem a ser mais complexas, com mais conflitos de tráfego. A maior complexidade da interseção tem sido associada a maiores taxas de acidentes (ELVIK, 2006). Nesse mesmo sentido, a análise conduzida por Dumbaugh e Rae (2009) concluiu que o aumento da frequência de acidentes está associado ao maior número de interseções com quatro ou mais vias. Já em relação à severidade, a maior densidade de interseções de quatro vias mostrou contribuir para menores severidades de atropelamentos, enquanto que a densidade de interseções com três vias foi relacionada a maiores severidades, ambas na mesma análise conduzida em Londres (NOLAND; QUDDUS, 2005).

O número de interseções mostrou contribuir tanto para o aumento da frequência de acidentes de todos os tipos (KIM *et al.*, 2010), como para o aumento de acidentes envolvendo pedestres e ciclistas (WEDAGAMA *et al.*, 2006). A maior frequência de acidentes envolvendo algum tipo de usuário não motorizado foi atribuída ao aumento das oportunidades de conflitos de tráfego nos cruzamentos.

Vias com maior número de faixas estão associadas ao aumento da frequência e da severidade de acidentes, enquanto que a largura da faixa está relacionada à maior severidade (NOLAND; OH, 2004). Assim como as vias com hierarquias viárias mais altas – que acomodam maior volume de veículo, operam em maiores velocidades e tendem a ser mais largas – vias mais largas têm sido relacionadas à maior frequência de atropelamentos (ABDEL-ATY *et al.*, 2007; UKKUSURI *et al.*, 2012; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ; HARO-DE LEÓN, 2014). Essa relação também foi observada quando mensurada a extensão de vias

arteriais. O excesso de velocidade que as vias de hierarquia mais alta propiciam refletem em aumento da velocidade e foi observada, também, na análise para acidentes com motociclistas conduzida em Singapura (QUDDUS *et al.*, 2002).

A conectividade da malha viária tem sido mensurada de diferentes formas. Quando medida pela proporção de interseções *cul-de-sacs* e as demais, influenciou o aumento da severidade para acidentes com ciclistas e a redução da severidade para atropelamentos (ZAHABI *et al.*, 2011). Quando obtida por regressão geograficamente ponderada no Condado de Alameda, foi associada à redução da frequência de acidentes com usuários ativos (ZHANG *et al.*, 2015). Nesse contexto a conectividade foi caracterizada pela malha viária com quadras de curtas distâncias e rede viária densa em forma de grelha – mensurada por regressão geograficamente ponderada (*Geographically Weighted Regression*). Sugerindo assim, o desenvolvimento da análise da conectividade viária em relação à segurança viária com o uso de técnicas de análise espacial de dados.

Na Inglaterra a frequência de acidentes totais, fatais e com feridos em relação, foi analisada a partir de alta qualidade de dados, permitindo a análise da contribuição da curvatura vertical nessas frequências. Nesse sentido, o aumento da declividade viária foi associado à redução da frequência de todos os tipos de acidentes (NOLAND; QUDDUS, 2004). Já a densidade de semáforos, influenciou o aumento da frequência de atropelamentos (ROTHMAN, 2015) e a redução da severidade de acidentes entre veículo e ciclista (CHEN; SHEN, 2016). Enquanto que tratamento paisagismo, dado por maior arborização parece contribuir com menores frequências de acidentes (NADERI, 2003; EWING; DUMBAUGH, 2009).

As principais relações entre variáveis de desenho urbano e segurança viária são sintetizadas pela Quadro 3.

Quadro 3: Influência do desenho urbano na segurança viária

	+	Dumbaugh <i>et al.</i> (2013) #atropelamento; #veículo-ciclista
Interseções 4 vias (n°)	+	Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #atropelamento
	+	Zhang <i>et al.</i> (2015) #veículo-vulnerável
Interseções 4 vias (n°/km²)	–	Noland e Quddus (2005) #atropelamentos

continua

continuação

Variável mensurada	Frequência	Severidade	Estudo; #var. dependente
Interseções 3 vias (n°/km ²)		+	Noland e Quddus (2005) #atropelamentos
Interseções ≥ 4 vias (n°)	+		
Interseções 3 vias (n°)	+		Dumbaugh e Rae (2009) #totais
Arteriais (extensão)	+		
Declividade (%)	-		Noland e Oh, (2004) #totais; #feridos; #mortes
Hierarquia viária	+		Abdel-Aty <i>et al.</i> (2007) #veículo-uv (ativo)
	+		Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #atropelamento
	+		Mcarthur <i>et al.</i> (2014) #veículo-uv (ativo)
	+		Hernández-Hernández e De Haro-De León (2014) #atropelamentos
Centralidade da rede viária [obtida por regressão geograficamente ponderada]	-		Zhang <i>et al.</i> (2015) #veículo-uv (ativo)
Hierarquia viária [2 sentidos, via dupla; expressas]		+	Quddus <i>et al.</i> (2002) #motocicleta
Número de faixas	+		Noland e Oh, (2004) #totais; #feridos
Largura (ft)	+		Noland e Oh, (2004) #mortes
Interseções (n°)	+		Wedagama <i>et al.</i> (2006)
	+		Kim <i>et al.</i> (2010) #totais; #atropelamentos; #veículo-ciclista
Semáforos (n° ruas com sem.)		-	Chen e Shen (2016) #veículo-ciclista
Semáforos (n°/km)	+		Rothman <i>et al.</i> (2015) #atropelamento
Conectividade (n° intersec/n° cul-de-sacs)		-	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #atropelamento
		+	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #veículo-ciclista
Conectividade [obtida por regressão geograficamente ponderada]	-		Zhang <i>et al.</i> (2015) #veículo-vulnerável
Paisagismo	-		Naderi (2003) #atropelamentos

(fonte: elaborado pela autora)

Diante da diversidade de relações reportadas na literatura, cabe ressaltar que análises conduzidas em diferentes contextos podem indicar resultados diferentes para mensurações semelhantes. A exemplo do estudo de Alameda County (EUA), no qual foram encontradas evidências de que as vias principais, com função arterial, apresentam mais medidas de segurança implantadas. Dessa forma, concentrar os usuários não motorizados nessas vias faz com que eles utilizem um ambiente mais propício a eles, gerando benefícios a segurança viária, e menor frequência de acidentes (ZHANG *et al.*, 2015).

É importante, ainda, considerar que as condições dos passeios e a quantidade de travessias de pedestres são características do desenho urbano que atuam como fatores de incentivo ou não à realização de viagens a pé, ainda que não se disponha de dados relativos a essas medidas para este estudo. São as características dos projetos de urbanismo e transportes que são capazes de determinar ambientes orientados a pedestres ou ao uso do transporte motorizado.

A inclusão do aspecto *Destinos Acessíveis* como dimensão da estrutura urbana foi preconizada por Cervero *et al.* (2009), com a inclusão do número de escolas públicas, de hospitais, de bibliotecas, shopping centers, igrejas e bancos para a cidade de Bogotá (Colômbia). No geral, as mensurações dessa dimensão atuam na redução das viagens motorizadas, por exemplo, bairros com acessibilidade a comércios apresentam menores taxas de viagens motorizadas (BHAT; ELURU, 2009). Na meta-análise de Ewing e Cervero (2010) essa dimensão demonstra o potencial de gerar viagens não motorizadas. No entanto, a proximidade de empregos demonstra contribuir com o aumento da frequência de acidentes, quando essa variável foi incluída como *proxy* do volume de veículos atraídos (FUENTES; HERNANDEZ, 2013). O Quadro 4 demonstra que não há consenso sobre o impacto na segurança viária, a partir de resultados que demonstram a contribuição para a redução da frequência e severidade dos acidentes, como a influência em maiores taxas e maiores severidades.

Quadro 4: Influência de destinos acessíveis na segurança viária

Variável mensurada	Frequência	Severidade	Estudo; #var. dependente
Escolas (nº)	—	—	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #atropelamentos
			Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #atropelamento
Parques (nº)		+	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #atropelamento; #veículo-ciclista
Dom. próximos (400m) de comércios e serviços (%)		+	Clifton <i>et al.</i> (2007) #atropelamento
Empregos (nº)	+		Fuentes e Hernandez (2013) #atropelamento
Distância a áreas comerciais	—		Ouyang e Bejleri (2014) #totais
Comércios (nº)	+		Zhang <i>et al.</i> (2015) #veículo-vulnerável

(fonte: elaborado pela autora)

A presença de escolas mostrou contribuir para a redução da severidade dos atropelamentos, e esses resultados foi atribuído a possível redução da velocidade (ZAHABI *et*

al., 2011). No contexto analisado (Montreal, Canadá), escolas estão claramente associadas à presença de medidas de moderação de tráfego. Por outro lado, quando a densidade de escolas nos setores censitários foi incluída para a análise de atropelamentos em Nova York, áreas com mais escolas foram claramente relacionadas a frequências maiores de atropelamentos totais e fatais (UKKUSURI *et al.*, 2012). A presença de parque (a apenas 10 metros do acidente), foi relacionada à maior severidade tanto para atropelamentos de pedestres, quanto a acidentes entre veículo e bicicleta (ZAHABI *et al.*, 2011).

Quanto à frequência de acidentes, o aumento da distância a estabelecimentos comerciais está relacionado à menor frequência (OUYANG; BEJLERI, 2014). Essa relação é semelhante à reportada por Zhang *et al.* (2015), que indica que o número de comércios está positivamente associado a frequência de acidentes envolvendo usuários ativos.

Quanto ao aumento da severidade influenciada pelo acesso à comércios, Clifton e Kreamer-Fults (2007) destacam que essa variável está relacionada tanto com o aumento da demanda de pedestres, o que poderia requerer maior controle de exposição na análise conduzida, quanto a velocidades mais baixas. Portanto, a relação encontrada resultou inconclusiva. A presença de comércios e serviços mostrou estar positivamente relacionada com a frequência de atropelamentos (HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ; HARO-DE LEÓN, 2014).

Distância ao Transporte Coletivo tem sido mensurada pelo número de estações de transporte, pela distância até a parada ou pelo percentual de domicílios a uma distância caminhável de uma parada (EWING; CERVERO, 2010). A análise dessa dimensão foi preconizada por Cervero *et al.* (2009), que incluíram, além das variáveis, o número de estações de linhas alimentadoras do sistema *Bus Rapid Transit*. Na análise da segurança viária, essa dimensão mostrou influenciar tanto positivamente, quanto negativamente a severidade de acidentes (Quadro 5).

Quadro 5: Influência da distância do transporte coletivo na segurança viária

Dom. próximos (400m) de paradas (%)	–	Clifton <i>et al.</i> (2007) #atropelamentos
Paradas (nº)	+	Kim <i>et al.</i> (2010) #totais; #atropelamentos; #veículo-ciclista; #fatais

continua

continuação

Variável mensurada	Frequência	Severidade	Estudo; #var. dependente
Paradas (n°)		+	Zahabi <i>et al.</i> (2011) #atropelamentos; #veículo-ciclista
Paradas (n°/km²)		+	Noland e Quddus (2005) #atropelamentos
Estações de metrô (n°)	+		Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #atropelamento
Usuário de transporte coletivo/não motorizado	+		Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) #atropelamento

fonte: elaborado pela autora

Em entornos escolares, o acesso ao transporte coletivo foi negativamente associado à exposição ao risco de atropelamentos – através da variável dependente severidade agregada (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007). Por outro lado, o número de paradas de transporte coletivo próximos (400 metros) a ocorrência, mostrou-se relacionado com maior severidade tanto para acidentes entre veículo e pedestres, como para acidentes entre pedestres e ciclistas (ZAHABI *et al.*, 2011). Em relação à frequência total de acidentes, de atropelamentos, de acidentes com ciclistas e fatais, o número de paradas de ônibus mostrou relação positiva (KIM, *et al.*, 2010).

Quanto maior o número de passageiros do transporte coletivo ou de usuários não motorizados e maior a quantidade de estações de metrô, maior é a frequência de: atropelamentos, acidentes totais e fatais (UKKUSURI *et al.*, 2012). A mensuração pela parcela de passageiros foi incluída, também, na análise conduzida por Wei e Lovegrove (2013). Essa variável foi associada a outras variáveis capazes de indicar a gestão da demanda de viagens e foram significativamente associadas a frequência de acidentes.

2.2.2 Variáveis de controle

A denominação variáveis de controle têm sido atribuída ao conjunto de variáveis importantes a serem consideradas na modelagem de acidentes, embora não se possa atuar sobre elas com medidas de engenharia. Isso decorre do fato de que os acidentes de trânsito têm sido reconhecidos como eventos complexos que envolvem interações entre fatores como via, motorista, característica de tráfego e ambiental (ABDEL-ATY, 2003).

As características ambientais relativas às condições climáticas mostraram importante influência e contribuição na análise dedicada a identificar a influência da segurança viária ofertada por diferentes estruturas da rede viária de Alameda (EUA) nos acidentes envolvendo

usuários ativos (ZHANG *et al.*, 2015). Nesse sentido, em análise dedicada a compreender os efeitos do padrão viário na severidade de acidentes com usuário vulneráveis ativos, Rifaat *et al.* (2011) incluíram uma série de variáveis de controle: características da via, do motorista, do acidente, dos veículos e condições ambientais. Essa prática tem sido reportada por diversos autores (QUDDUS *et al.*, 2002; ABDEL-ATY, 2003; NOLAND; QUDDUS, 2005; RIFAAT *et al.*, 2011; ZAHABI *et al.*, 2011; YASMIN *et al.*, 2014 ZHANG *et al.*, 2015) para estudos dedicados compreender a influência de diversos tipos de características, ou direcionado a um tipo de característica específica.

A relação inversa entre renda e fatalidade é a principal e mais consistentes quanto às características socioeconômicas. Essa relação é atribuída, principalmente, as condições de visibilidade, interação de tráfego motorizado com pedestres e altas velocidades associadas com regiões de baixa renda – reportadas pelas evidências empíricas (STOKER *et al.*, 2015). Em relação às características veiculares, a alta severidade resultante de acidentes envolvendo veículos pesados e usuários vulneráveis é claramente reportada na literatura, quando avaliados os acidentes totais (NOLAND; QUDDUS, 2005), ou quando somente os atropelamentos foram analisados (ZAHABI *et al.*, 2011).

Wedagama *et al.* (2006) identificaram que os fatores de uso do solo que atuam sobre a acidentalidade são, particularmente, verificados para horários comerciais, sugerindo a inclusão de variáveis relativas ao horário de ocorrência dos acidentes. Já os acidentes ocorridos à noite podem ser relacionados à fadiga, às maiores velocidades e à visibilidade reduzida. A pouca luz noturna contribui para uma maior probabilidade de lesões (ABDEL-ATY, 2003), enquanto acidentes ocorridos em condições naturais de iluminação tendem a ser menos severos – isso se verifica para os acidentes totais (RIFAAT *et al.*, 2011) e para atropelamentos (YASMIN *et al.*, 2014). A inclusão das características ambientais também pode contribuir com importantes inferências em relação a acidentalidade. Nesse sentido, Yasmin *et al.* (2014) verificaram que atropelamentos ocorridos em presença de neve e neblina tendem a ser menos severos que aqueles ocorridos em dias ensolarados. Essa relação pode ser compreendida pela influência desses fatores nas velocidades desempenhadas.

Além das condições decorrentes do horário – e conseqüentemente da iluminação natural – o período da semana exerce influência sobre a acidentalidade a medida que influencia a demanda de tráfego e conseqüente exposição ao risco. Nesse sentido, a ocorrência de acidentes

no final de semana faz com que a probabilidade de serem fatais aumente em 10% em relação aos dias úteis (QUDDUS *et al.*, 2002).

Em relação ao entorno escolar como área de análise da acidentalidade, Clifton e Kreamer-Fults (2007) incluíram variáveis *dummy* para indicar a presença de níveis escolares simultâneos, além do número de matrículas, capaz de indicar a atração potencial de usuários no entorno escolar. No entanto, dentre essas variáveis, apenas a condição de escola elementar (equivalente à pré-escola) foi preditor positivo e significativo.

2.2.3 Modelagem da segurança viária

Diversos modelos têm sido desenvolvidos com o objetivo de contribuir para o planejamento de redes viárias mais seguras. Os modelos que buscam respostas, principalmente, quantitativas sobre a frequência de acidentes, são também denominados Modelos de Previsão de acidentes (MPA) - *Safety Performance Functions* (SPF) (HAUER, 2015). Nesses modelos, os coeficientes estimados são utilizados apenas na equação de previsão, não sendo adequado sua interpretação quanto a explicação da ocorrência de acidentes (WASHINGTON *et al.*, 2006). Os modelos de previsão costumam ser aplicados a um segmento viário, a uma interseção ou a uma zona de tráfego e têm demonstrado ser importante ferramenta na etapa de planejamento. Neles, o desempenho de segurança de esquemas de tráfego é estimado a partir de algumas variáveis preditoras. O volume de tráfego tem sido a principal variável de exposição ao risco capaz de prover modelos com bons ajustes. Essa variável tem demonstrado alto grau de explicação da frequência de acidentes, permitindo aliar o uso de MPA aos tradicionais modelos de simulação de tráfego em redes urbanas para otimizar as diretrizes de planejamento viário (LORD; PERSAUD, 2004).

A inclusão de uma grande quantidade de variáveis independentes tem por vantagem a menor variância do erro no modelo, mas impõe viés decorrente da amostra utilizada. O ajuste do modelo fica adaptado à amostra utilizada nas regressões, e a capacidade de previsão para a população dos dados é reduzida (CUNTO *et al.*, 2012). Ao incluírem um grande número de variáveis relativas à estrutura urbana, junto a outras variáveis de controle (principalmente socioeconômicas e de detalhes do acidente), os modelos de frequência de acidentes passam, portanto, a ter a função de explicação ao invés de predição. As análises da frequência de acidentes têm sido conduzidas com o objetivo de fornecer resposta qualitativa e quantitativa na

fase de planejamento orientando sobre opções mais seguras. Nas etapas de planejamento urbano e de transportes, a fim de avaliar o conjunto de características físicas nos aspectos de desenvolvimento urbano, o uso de modelos de resposta qualitativa tem potencial para bem orientar a melhoria da segurança no ambiente urbano.

A maior parte dos estudos que analisaram as características da estrutura urbana influentes na frequência de acidentes dedicou-se à análise de atropelamentos (MARSHALL; GARRICK, 2011; MIRANDA-MORENO *et al.*, 2011; MCARTHUR *et al.*, 2014; ROTHMAN *et al.*, 2014; ROTHMAN, 2015; UKKUSURI *et al.*, 2012; OUYANG; BEJLERI 2014). São reportados, também, estudos que analisaram: acidente entre veículo e pedestre ou ciclista; e a frequência de todos os acidentes (NOLAND; OH, 2004).

A frequência de acidentes tem sido modelada, principalmente, com o uso de Modelos Lineares Generalizados, uma vez que a distribuição dos dados de acidentes se desvia das hipóteses de normalidade (KIESCHNICK; MCCULLOUGH, 2003). Esses modelos têm sido aplicados, principalmente, nas distribuições Poisson, Gama e Binomial Negativa (BN) (HAUER, 2015). O modelo de Poisson é a forma mais básica entre as abordagens, no entanto, não suporta nem a subdispersão (média superior à variância) e nem a sobredispersão (variância superior à média) dos dados, além de ser afetado por viés em caso de amostras pequenas. Nesse sentido, também denominado de Poisson-Gamma, o BN é uma extensão do modelo de Poisson, com a vantagem de permitir a superdispersão dos dados, comum aos dados de acidentes, embora pequenas amostras também imponham viés à essa abordagem (GREENE, 2012). Essa capacidade do BN se deve a esse modelo ser uma generalização do modelo de Poisson (STATISTIK, 2014), na qual o modelo de Poisson assume o parâmetro de superdispersão Gamma. Já o modelo Gamma, tem, também, a vantagem de suportar a subdispersão dos dados, que, no entanto, é rara nos dados de acidentes. Por isso, atualmente, é possível que o modelo BN seja a abordagem mais utilizada na análise de acidentes (LORD; MANNERING, 2010).

A análise da severidade de acidentes tem sido conduzida tipicamente pela aplicação de modelos de escolha discreta. Quando os acidentes pertencentes a uma base de dados são categorizados pela severidade associada à ocorrência, fica clara a natureza ordenada da variável severidade. Entretanto, não há consenso sobre a forma como a variável resposta deve ser apresentada (FERREIRA; COUTO, 2012): de forma ordenada ou não ordenada? Cada

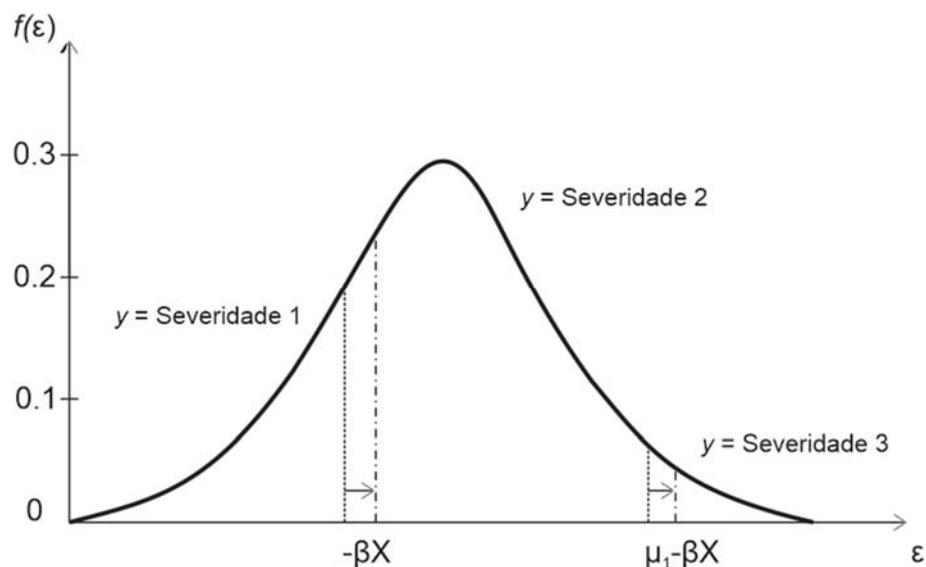
abordagem tem suas premissas e restrições, que implicam sobre as inferências dos modelos. Assim, a modelagem da severidade de acidentes tem sido abordada por dois tipos de técnicas:

- i. modelos que não consideram a natureza ordenada dos dados de severidade, como *logit* multinomial, *logit* hierárquico e *logit* misto de parâmetros aleatórios (MALYSHKINA; MANNERING, 2010; 2010b; KIM, *et al.*, 2010; ANASTASOPOULOS; MANNERING, 2011; MOORE *et al.*, 2011; RIFAAT *et al.*, 2011; ELURU, 2013; YASMIN *et al.*, 2014; YE; LORD, 2011, 2014); e
- ii. modelos que consideram a natureza ordenada dos dados de severidade, como *probit* e *logit* ordenado (QUDDUS *et al.*, 2010; ZHU; SRINIVASAN, 2011; ANASTASOPOULOS; MANNERING, 2011; FERREIRA; COUTO, 2013; ABAY, 2013; ELURU, 2013; YASMIN *et al.*, 2014 YE; LORD, 2011, 2014).

Os modelos não ordenados pressupõem a independência de alternativas irrelevantes (IIA). Essa propriedade implica que a razão entre as probabilidades de alternativas que fazem parte de um conjunto de escolha será constante e independente da existência de outras alternativas no conjunto, de forma que as alternativas sejam independentes e não compartilhem efeitos não observados (BEN-AKIVA; LERMAN, 1985). Entretanto, os níveis de severidade são ordenados e não são alternativas totalmente independentes. Pelo contrário, alternativas adjacentes compartilham tendência, proporcional a proximidade das alternativas: quanto mais próximas estão, maior a tendência compartilhada (TRAIN, 2009). As alternativas podem, ainda, compartilhar efeitos não observados. Essas restrições podem fazer com que modelos de resposta não ordenada aplicados à severidade de acidentes forneçam estimativas inconsistentes.

Em relação aos modelos de resposta ordenada, também existem algumas deficiências potencialmente associadas quando aplicados à segurança viária (ABAY, 2013; MANNERING; BHAT, 2014). A principal limitação é a restrição de monotonicidade, que orienta a forma como as variáveis independentes do modelo afetam as sucessivas categorias de probabilidade. Essa restrição é imposta pelas respostas ordenadas e faz com que a mudança de limiares de probabilidades, dados pelos pontos de corte μ , ocorram sempre na mesma direção (SAVOLAINEN *et al.*, 2011). Essa restrição é demonstrada pela Figura 7.

Figura 7: Monotonicidade das respostas ordenadas



(fonte: adaptado de Washington *et al.*, 2003)

Eluru *et al.* (2008) e Washington *et al.* (2003) apresentam discussão sobre as técnicas aplicadas na modelagem da severidade de acidentes. Enquanto que Ye e Lord (2014) destacam que os modelos de respostas ordenadas são mais sensíveis ao subregistro de acidentes – embora nem abordagens ordenadas e nem não ordenadas sejam imunes ao viés decorrente dos subregistro (YE; LORD, 2011). Em aplicações conjuntas dos modelos *probit*, *logit* multinomial e *nested logit*, Abdel-Aty (2003) identifica – no contexto analisado – a superioridade dos modelos *probit* e *nested logit*. Os esforços mais recentes (SAVOLAINEN *et al.*, 2011; ABAY, 2013; ELURU, 2013; YE; LORD, 2014) que buscaram comparar empiricamente as estruturas de diferentes tipos de modelos, sugerem em seus resultados que a superioridade de uma abordagem metodológica sobre outra pode depender muito dos dados utilizados. Nesse sentido, Mannering e Bhat (2014) atribuem às sucessivas aplicações dessas metodologias novas as importantes inferências sobre a acidentalidade, e ressaltam a oportunidade de desenvolvimento das questões metodológicas envolvidas na análise de acidentes para a severidade de acidentes.

Quanto a área de análise, dois estudos mensuraram as variáveis em áreas delimitadas por diferentes raios de *buffers*, no entanto, com objetivos diferentes deste trabalho. Foram adotadas diferentes áreas para coletar variáveis em regiões de diferentes densidades (MIRANDA-MORENO *et al.*, 2011) e para coletar diferentes variáveis que foram simultaneamente modeladas (ZAHABI *et al.*, 2011), sem que fosse realizada a comparação das áreas de análise simultaneamente para todas as variáveis candidatas.

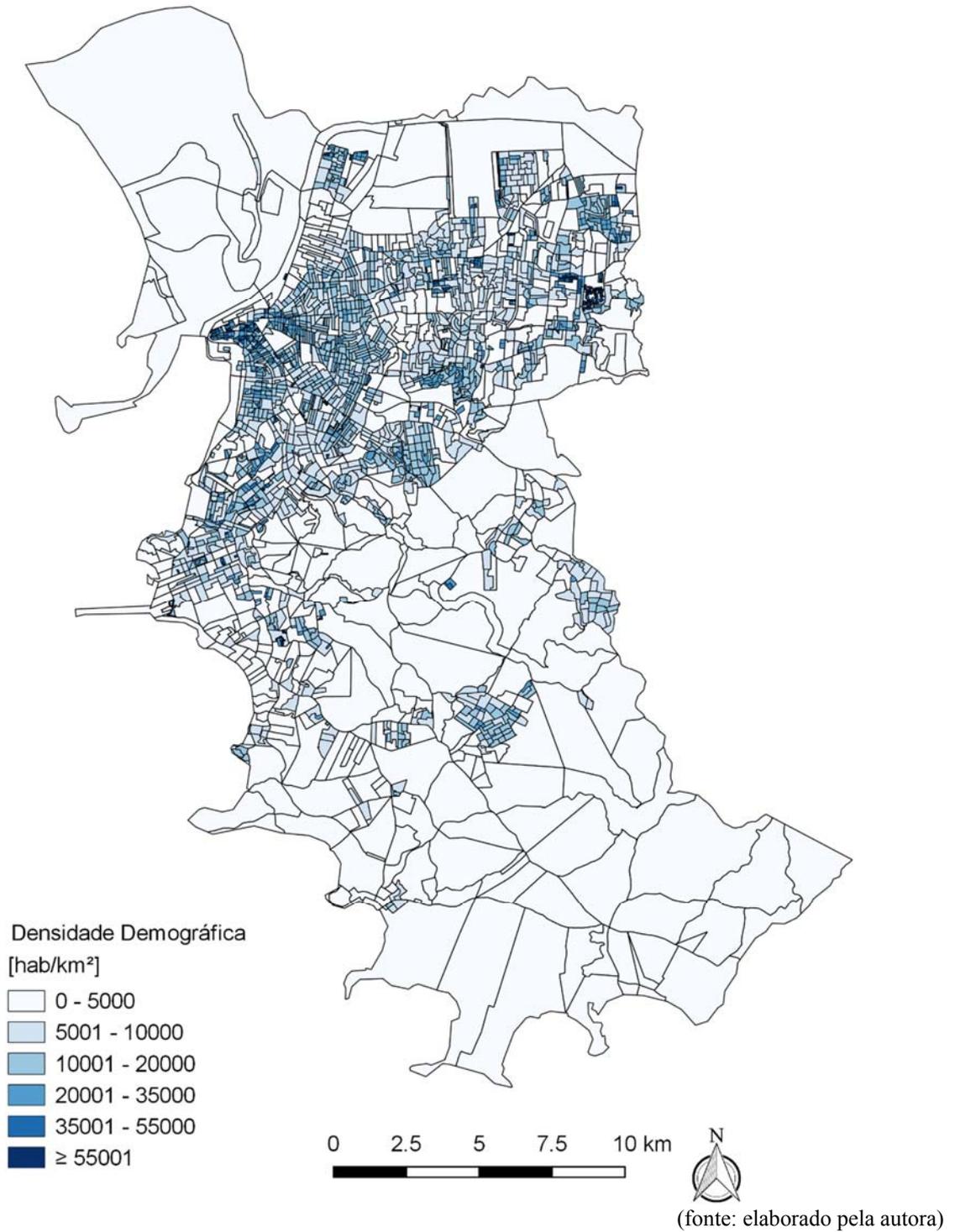
3 MÉTODO DE TRABALHO

Este capítulo apresenta as características do cenário no qual o presente estudo foi conduzido e descreve as etapas metodologias adotadas. Trata-se de uma pesquisa aplicada com abordagem quantitativa e qualitativa, de forma que os modelos estimados informam a influência que as variáveis independentes exercem sobre as variáveis dependentes modeladas. As mensurações da magnitude dessas influências puderam ser obtidas pelo cálculo dos efeitos marginais, produzindo, assim, resultados de caráter quantitativo e qualitativo. Quanto aos seus objetivos, pode ser classificada como uma pesquisa explicativa, pois visa identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos acidentes viários no entorno de escolas.

3.1 CENÁRIO

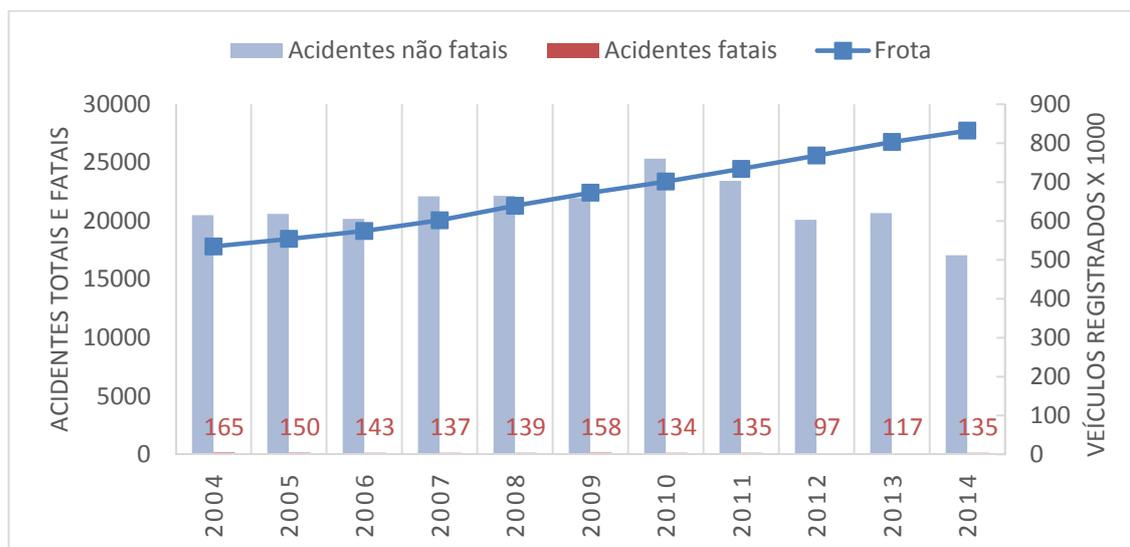
A pesquisa foi realizada com base em dados da cidade de Porto Alegre, que é uma cidade com 496,682 km², com população de 1.409.351 habitantes distribuídos em 508.456 domicílios localizados em 2.433 setores censitários de acordo com os dados do Censo de 2010. É estimado que até 2015 essa população tenha crescido 4,8%, superando 1 milhão e 476 mil habitantes (IBGE, 2016). A distribuição populacional é demonstrada pela Figura 8, e fica evidenciada a variabilidade da densidade habitacional dos setores censitários de Porto Alegre.

Figura 8: Distribuição populacional de Porto Alegre



Os acidentes de transportes – conforme a Classificação Internacional de Doenças (CID-10) – são a terceira principal causa externa de mortes em Porto Alegre, concentrando aproximadamente 14% das fatalidades no ano de 2014 (DATASUS, 2015). A Figura 9 caracteriza o desenvolvimento da acidentalidade e da frota no período de 2004 a 2014.

Figura 9: Desenvolvimento da acidentalidade e da frota de Porto Alegre (2004-2014)



(fonte: elaborado pela autora a partir de DENATRAN, 2016 e EPTC, 2016)

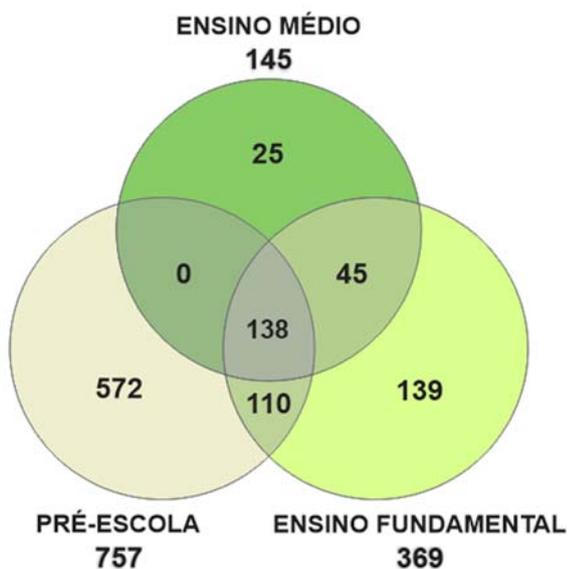
Enquanto a frota veicular demonstra crescimento contínuo ao longo de 10 anos (2004 a 2014), a acidentalidade demonstra oscilações. No entanto, não é possível afirmar que houve a melhoria das condições de segurança viária. Os dados de acidentes são afetados por fenômenos estatísticos, como o fenômeno de regressão à média – que é fundamentado na premissa de que após um período de alta frequência de ocorrências é provável que exista uma baixa frequência das mesmas no período seguinte (OGDEN, 2002 *apud* AASHTO, 2010). A redução efetiva da acidentalidade requer análises com ferramentas estatísticas capazes de tratar os fenômenos que afetam as séries de dados, por exemplo, as análises por técnicas bayesianas (HAUER, 1997).

No período de estudo, entre 2012 e 2014, Porto Alegre registrou 58.180 acidentes, resultando em 18.622 feridos e 349 mortos (EPTC, 2016). Os registros disponibilizados informam as características de severidade, quantidade de vítimas, veículos envolvidos, tipo de acidente, horário, local e condição climática da ocorrência. De forma que a caracterização do perfil dos indivíduos envolvidos nos acidentes não é possível a partir dos dados abertos à população.

No que diz respeito a instituições de ensino, Porto Alegre dispõe de 1043 instituições registradas até o ano de 2013, com 305.153 matrículas distribuídas entre as categorias creche, educação infantil, ensino fundamental e ensino médio (PMPA, 2016). A análise da segurança viária conduzida nesse estudo levou em consideração as escolas de educação básica, instituições que visam atender crianças e adolescentes com idade entre 4 e 17 anos (BRASIL, 2013) nas

três etapas educacionais: (i) pré-escola para a faixa etária de 4 a 5 anos; (ii) ensino fundamental para 6 a 14 anos; e (iii) ensino médio para 15 a 17 anos (BRASIL, 2014). Porto Alegre tem 1029 instituições de educação básica, entre as quais, 293 conciliam atividade em mais de uma etapa educacional, conforme demonstra a Figura 10.

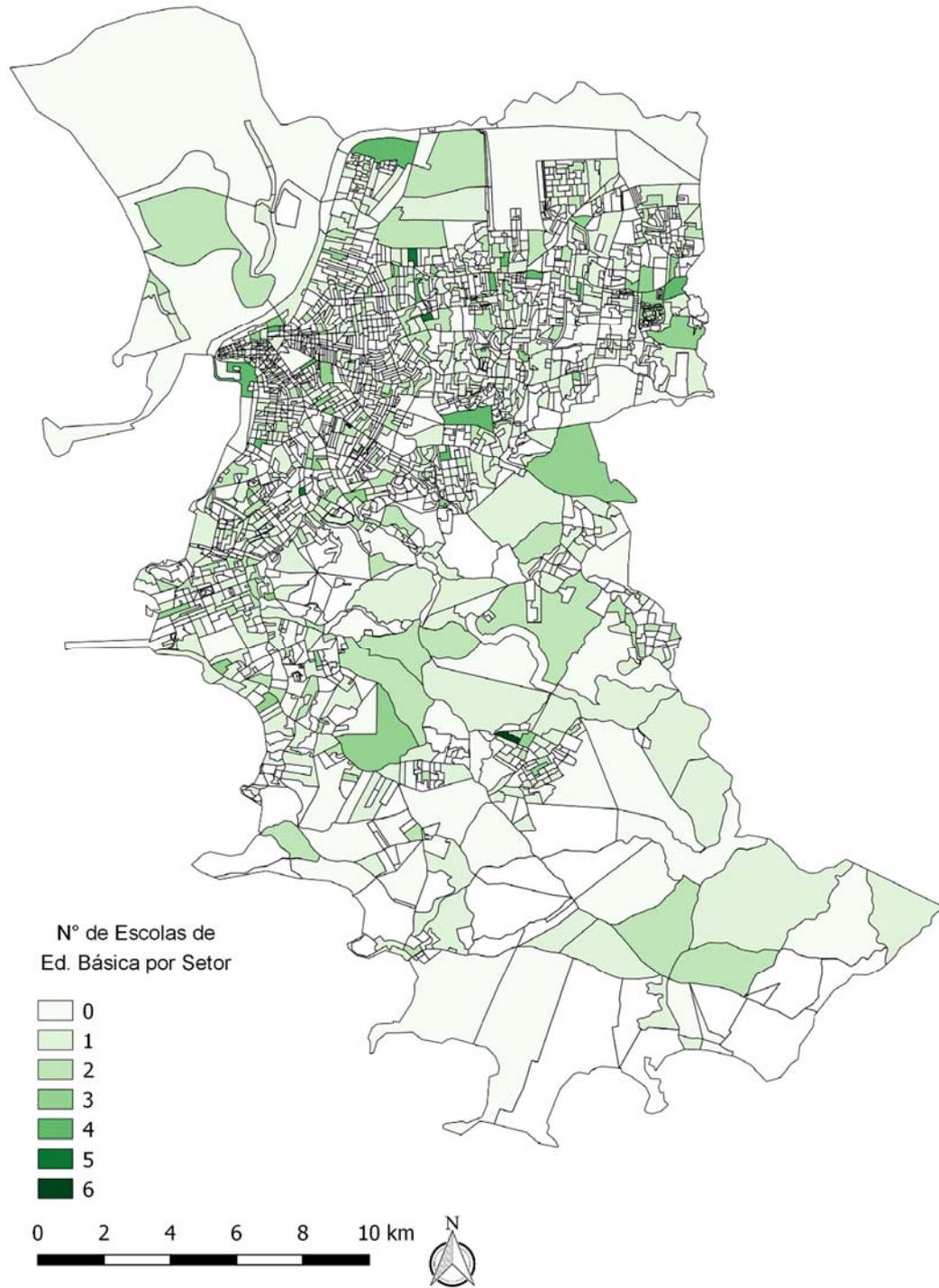
Figura 10: Etapas educacionais das instituições de ensino básico em Porto Alegre



(fonte: elaborado pela autora)

O estudo foi desenvolvido analisando-se o entorno dessas 1029 escolas, distribuídas nos 2.433 setores censitários de Porto Alegre, conforme demonstra a Figura 11. Demonstrando que as escolas se encontram distribuídas pelo território municipal de forma semelhante à ocupação populacional.

Figura 11: Distribuição de escolas de educação básica em Porto Alegre

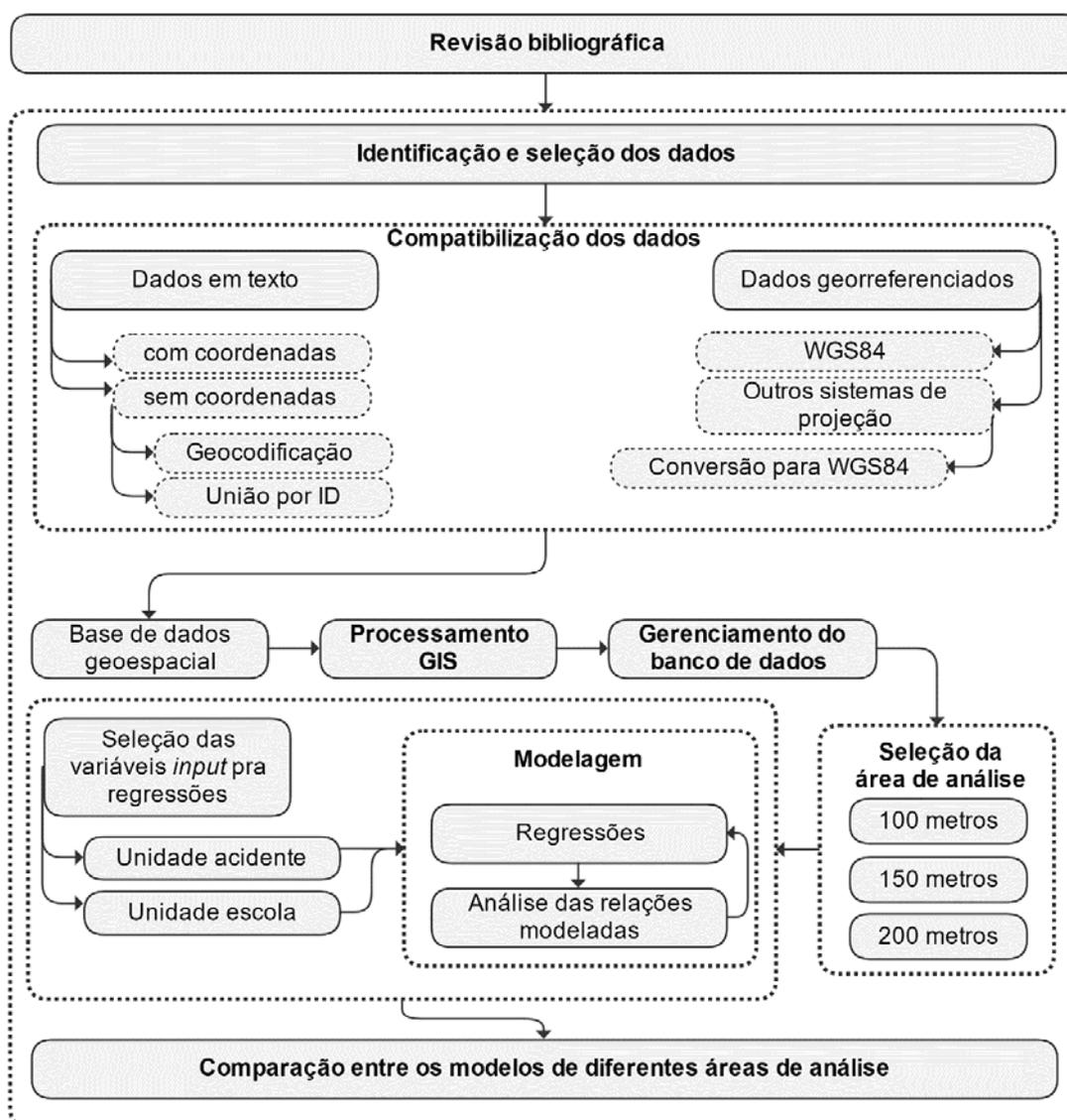


(fonte: elaborado pela autora)

3.2 ETAPAS DO MÉTODO

Este trabalho foi desenvolvido seguindo as etapas metodológicas sintetizadas pela Figura 12.

Figura 12: Etapas do método de trabalho



(fonte: elaborado pela autora)

A revisão bibliográfica atua como orientação na seleção dos dados importantes na caracterização da acidentalidade do entorno de uma instituição escolar. As informações municipais e nacionais disponíveis são geridas por diferentes órgãos e instituições públicas, implicando na necessidade de compatibilização das informações.

A obtenção de uma base georreferenciada pressupõe que os dados estejam localizados e representados em uma projeção cartográfica (DRUCK *et al.*, 2004). Para isso, é necessário que sejam aplicadas técnicas de geoespacialização compatíveis com o tipo de informação disponível para cada base em formato texto. Quando disponíveis as coordenadas geográficas, a simples representação espacial por ferramenta GIS é capaz de produzir uma base georreferenciada. As informações armazenadas sem coordenadas geográficas vinculadas, mas que dispõem de identificador (*Identity* ou ID) comum à base de dados georreferenciada, é possível realizar a união das características texto ao arquivo já geoespacializado. Na falta de coordenadas geográficas atribuídas e de ID em comum, é necessário adotar recurso de geocodificação por endereço, disponível em ferramenta complementar do *Quantum GIS 2.14* (QGIS) o qual busca nas principais bases *web* (*Google Maps* ou *Open Street Map*) localizar e georreferenciar a informação.

A partir do conjunto de dados georreferenciados e armazenados em vetores (extensão *shapefile*) compatíveis entre si é obtida a base de dados geoespacial. Essa base pode ser processada por *software* GIS, permitindo o cruzamento das informações. O resultado desse processamento produz as variáveis coletadas para as diversas áreas de análise, definidas com base na literatura e das características locais. O conjunto de dados processados nos setores censitários e nas áreas de entorno escolar compõe o banco de dados. A partir de *software* de gerenciamento de banco de dados é possível realizar o cruzamento dos dados resultantes do processamento GIS para cada área de análise (*buffers* de agregação de dados).

O gerenciamento da base de dados permite a extração das variáveis de entrada (*input*) para cada área de análise, que necessitam ser extraídas na unidade de análise requerida pela modelagem. A base de dados resultante poderá ser discreta, por unidade de acidente, ou agregada por escola, obtida pelas uniões das variáveis para o conjunto de acidentes que compõem o entorno de cada escola. Posteriormente, é conduzida modelagem, etapa metodológica na qual são realizadas consecutivas regressões e são eliminadas as variáveis não significativas. As etapas compreendidas entre a extração das variáveis de entrada até a modelagem, necessitam ser repetidas para as três áreas resultantes dos diferentes raios de *buffers*. Como resultados são produzidos três modelos de frequência de acidentes para cada variável dependente: ao todo seis modelos. Analogamente, são obtidos seis modelos, também para a severidade. Os modelos que melhor permitem a análise da prevalência de fatores

associados aos acidentes de entorno de escolas são aqueles obtidos para a área de análise que forneceu melhor ajuste entre as demais áreas.

3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO

Para demonstrar a aplicação do método de trabalho (Figura 12) à cidade de Porto Alegre, este capítulo foi estruturado em quatro subcapítulos: (i) dados; (ii) variáveis candidatas; (iii) modelos de frequência de acidentes e (iv) modelos de severidade de acidentes. O item 3.3.1 descreve a compatibilização das bases provenientes de diferentes fontes para a cidade de Porto Alegre e o processamento das variáveis em GIS. No item 3.3.2 as variáveis são descritas quanto sua mensuração.

A etapa de modelagem (item 3.3.3 e 3.3.4) demonstram a estatística descritiva dos dados, a análise de multicolinearidade e a estimação dos modelos de frequência e severidade de acidentes. Para os modelos de severidade, foram estimadas, também, as elasticidades para as variáveis que se mostraram explicativas. Os recursos computacionais adotados foram o *software IBM SPSS 19.0* na estimação dos modelos binomial negativo e para a verificação de multicolinearidade; e o *software Biogeme* (BIERLAIRE, 2003) na estimação dos modelos *logit* ordenados.

3.3.1 Dados

A partir das bases de dados municipais de Porto Alegre, e da orientação fornecida pelas evidências reportadas na literatura, foram selecionadas as variáveis que compõem esta análise. A Tabela 1 demonstra as variáveis dependentes e independentes, e respectivos níveis de agregação e fonte.

Tabela 1: Fonte e formato das variáveis candidatas

<u>Variável</u>	<u>Agregação original</u>	<u>Agregação utilizada</u>	<u>Fonte</u>
<u>Dependente</u>			
<i>Frequência de acidentes</i>	Acidente	Acidente	EPTC - open data/2012-2014
<i>Frequência veículo-UV*</i>			
<i>Severidade de acidentes</i>			
<i>Severidade veículo-UV*</i>			
<u>Independente</u>			
<u>Acidentalidade</u>			
<i>Carro de passeio (0;1)</i>	Acidente	Acidente	EPTC - open data/2012-2014

continua

continuação

<u>Variável</u>	<u>Agregação original</u>	<u>Agregação utilizada</u>	<u>Fonte</u>
<i>Veículo pesado (0;1)</i>			
<i>Motocicleta (0;1)</i>			
<i>Bicicleta (0;1)</i>			
<i>Dia útil (0;1)</i>	Acidente	Acidente	EPTC - open data/2012-2014
<i>Chuva (0;1)</i>			
<i>Dia (0;1)</i>			
<i>Horário de Pico (0;1)</i>			
<i>Interseção (0;1)</i>			
Escola			
<i>Escola particular</i>			
<i>Pré-escola (0;1)</i>			
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>	Escola	Escola	SMED - open data/2013
<i>Ensino Médio (0;1)</i>			
<i>Matriculas (n°)</i>			
Estrutura urbana			
Densidade			
<i>Densidade populacional (hab/km²)</i>	Setor censitário	Ponderação de setor censitário no <i>buffer</i>	IBGE/2010
<i>Densidade de domicílios (dom/km²)</i>			
Diversidade			
<i>Índice de diversidade (0-1)</i>	Buffer	Agregadas no <i>buffer</i>	SMIC open data/2015; SMED open data/2013; IBGE/ 2010
Desenho urbano			
<i>Largura de via (m)</i>	Por link	Acidente	
<i>Arterial (0;1)</i>			
<i>Declividade média (%)</i>	Por segmento		
<i>Comprimento médio de quadra (km)</i>			
<i>Parcela de extensão de vias arteriais (%)</i>	Extensão medida	Agregadas no <i>buffer</i>	EPTC - cedido/2014
<i>Extensão de corredor de ônibus (km)</i>			
<i>Extensão de ciclovia (km)</i>			
<i>Interseções (n°)</i>			
<i>Interseções com 4 vias (%)</i>	Interserção; semáforo		
<i>Interseções com semáforo (%)</i>			
<i>Semáforos (n°)</i>			
<i>Dom. ** com calçada (%)</i>			
<i>Dom. ** com iluminação pública (%)</i>			
<i>Dom. ** com meio fio (%)</i>	Setor censitário	Ponderação de setor censitário no <i>buffer</i>	IBGE/2010
<i>Dom. ** com pavi (%)</i>			
<i>Dom. ** com arborização (%)</i>			
Destinos acessíveis			
<i>Comércios e serviços (n°)</i>	Comércio; serviço; escola	Agregadas no <i>buffer</i>	SMIC - open data/2015
<i>Escolas (n°)</i>			SMED - open data/2013
Disp. de transporte coletivo			
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>	Parada	Agregadas no <i>buffer</i>	EPTC - open data/2013
Socioeconômicas			
<i>Renda média (renda/dom)</i>			
<i>Pessoas 4 -17 (%)</i>	Setor censitário	Ponderação de setor censitário no <i>buffer</i>	IBGE/2010
<i>Pessoas > 65 (%)</i>			

*UV: usuário vulnerável ativo (pedestre ou ciclista)

**Dom.: variáveis mensuradas por domicílio com acesso a determinada característica

(fonte: elaborado pela autora)

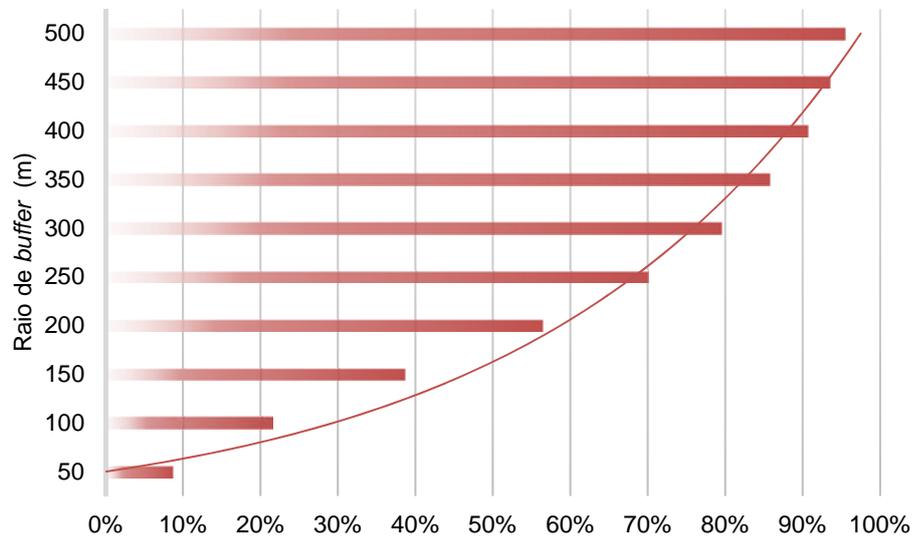
A extração de variáveis a partir de diferentes bases de dados, implicou na necessidade de extensa compatibilização dos dados (conforme indicado em 3.2) até a obtenção de base de dados geoespaciais compatíveis. Para as bases de dados que dispunham de coordenadas geográficas (de precisão equivalente à adotada pelas bases *Google Earth*) foram georreferenciadas com ferramenta de leitura de coordenadas, produzindo bases geoespaciais em WGS84 (*World Geodetic System* de 1984). As bases de alvarás em funcionamento (comércio, serviços e indústrias) necessitaram de geocodificação (conectada à base *Google Maps*), produzindo informações de precisão compatível com as que dispunham de coordenadas geográficas. Para as características do Censo 2010 (IBGE, 2016) disponibilizadas em texto, foi adotada a união por ID, presente tanto no arquivo georreferenciado quanto no arquivo texto. Para os procedimentos descritos foi adotada a ferramenta *Quantum GIS 2.14* (QGIS).

As bases de dados georreferenciadas, provenientes da Empresa Pública de Transporte e Circulação de Porto Alegre (EPTC), também necessitaram compatibilização. Até a metade do ano de 2013 Porto Alegre adotava a projeção cartográfica *Gauss-Kruger 1940*. A partir de 2014, com o objetivo de adequar as bases municipais ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) – padrão brasileiro – foram adotadas coordenadas em Projeção Transversa de Mercator para Porto Alegre denominado TM-POA (PMPA, 2013). Foi, portanto, necessária a conversão dos arquivos em sistema de projeção *Gauss-Kruger* e TM-POA para coordenadas geográficas WGS84, através das ferramentas de conversão disponíveis nas ferramentas computacionais *TransCad 4.5* e QGIS.

Visando identificar o padrão de ocorrência do entorno de uma instituição escolar foram adotadas três diferentes áreas circulares de raios (*buffer ring*): 100, 150 e 200 metros. Essas áreas foram definidas seguindo dois critérios: (i) distância média caminhada até a escola, e (ii) percentual máximo de acidentes que possivelmente seriam influenciados pela presença da escola – limitado a 60% das ocorrências. As principais áreas circulares adotadas na análise de segurança da mobilidade ativa são delimitadas por um raio de 400 metros (PATRICIOS, 2002; PERRY, 1929). Entretanto, em Porto Alegre 3% das viagens a pé com motivo escola/educação são deslocamentos com distâncias menores que 400 metros (LARRAÑAGA *et al.*, 2014), indicando a adoção de *buffer* com raio menor. Na pesquisa mencionada, os respondentes possuíam 14 anos ou mais, não considerando crianças menores que frequentam as escolas, e que poderiam caminhar distâncias inferiores às identificadas na pesquisa. Na presente análise,

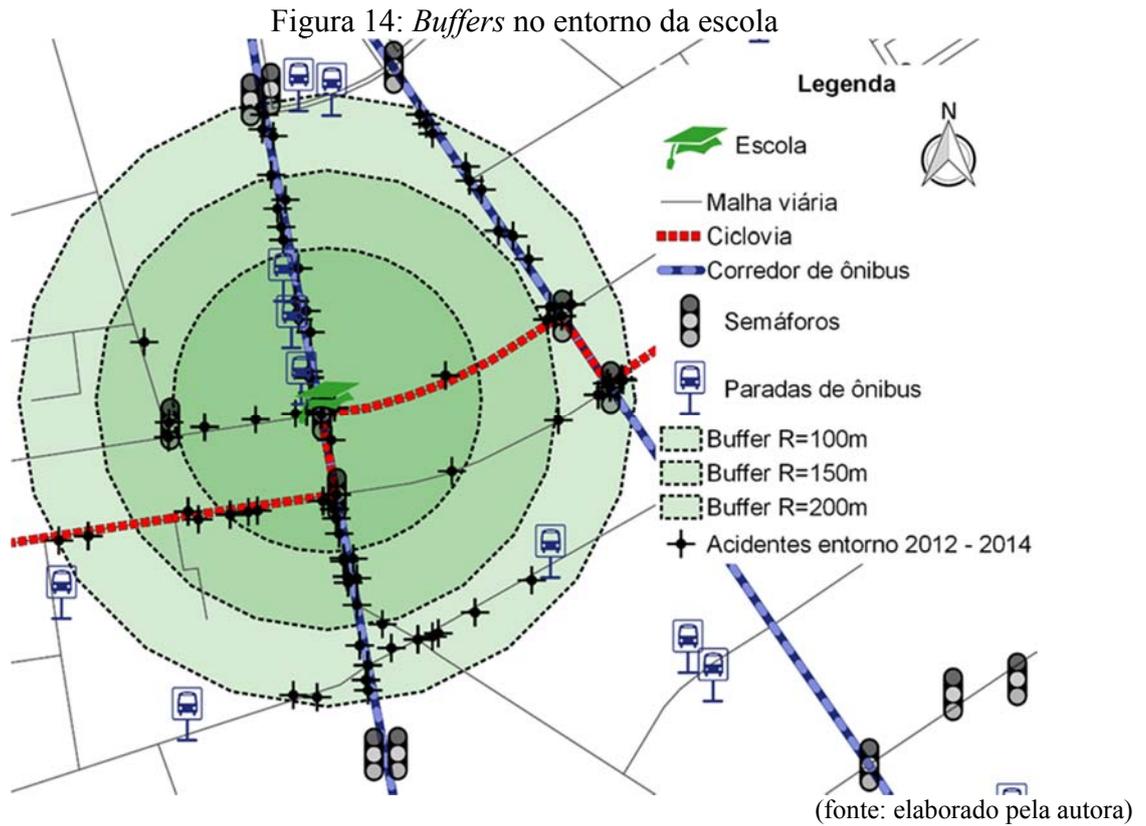
foi observada altos percentuais entre o total das ocorrências para áreas próximas as escolas, conforme esclarece a Figura 13.

Figura 13: Percentual de acidentes no período (2012-2014) por raio de *buffer*



(fonte: elaborado pela autora)

Portanto, a adoção do raio de 400 metros resultaria na inclusão de 91% dos acidentes de Porto Alegre, sendo necessário limitar este valor para avaliar as ocorrências com maiores chances de estarem relacionadas às variáveis do entorno de cada unidade escolar. Adotando-se o limite máximo de 60% das ocorrências de acidentes, e combinando com o critério anterior, de distância média de caminhada, foram definidas as áreas com raios de *buffer* de 100, 150 e 200 metros, incluindo respectivamente 22%, 39% e 56% dos acidentes da cidade no período de 2012 a 2014. A Figura 14 ilustra os *buffers* de agregação e seleção das variáveis candidatas.



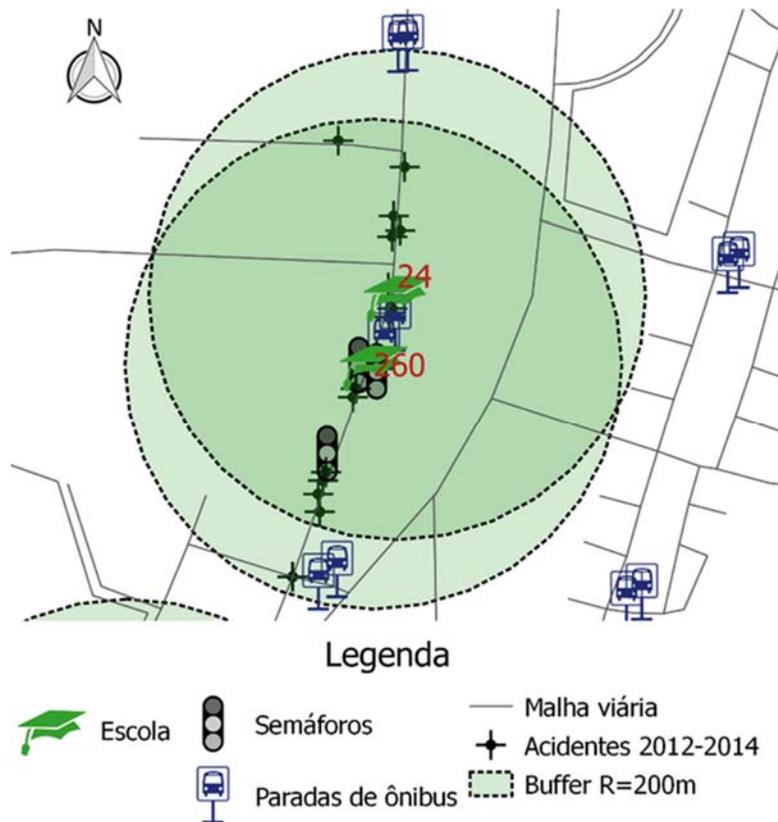
Os três diferentes raios de análise são descritos na Tabela 2 para três severidades: somente *dano material*, ao menos uma *vítima ferida* e ao menos uma *vítima fatal*. Esta análise foi conduzida para as variáveis dependentes *Acidentes totais*, que correspondem à todas as ocorrências registradas entre 2012 e 2014 e para acidentes *Veículo-UV*: que correspondem a acidentes envolvendo um veículo de passeio (automóvel) e ao menos um pedestre ou ciclista (usuários vulneráveis não motorizados). A maior parcela de *Acidentes totais* (69%) não provocou vítimas e foi classificada como somente dano material. Quanto aos acidentes *veículo-UV* – que representam 5% das ocorrências totais – 99% resultaram em algum tipo de vítima. É, portanto, evidente a maior severidade associada a esses acidentes que incluem à combinação das seguintes tipologias: atropelamento (veículo *versus* pedestre), abaloamento, choque e colisão.

Tabela 2: Severidade de acidentes no entorno de escola entre 2012 e 2014

Variáveis/Severidade	Dano material (1)	Vítima ferida (2)	Vítima fatal (3)	
<i>Acidentes totais</i>	R100	69%	31%	0.5%
	R150	69%	31%	0.5%
	R200	69%	30%	0.5%
	Média	69%	31%	0.5%
<i>Veículo-UV</i>	R100	1%	97%	1.6%
	R150	1%	96%	2.2%
	R200	2%	96%	2.3%
	Média	1%	97%	2%

(fonte: elaborado pela autora)

A proximidade entre as escolas de educação básica causa sobreposição das áreas de entorno, conforme demonstra a Figura 15.

Figura 15: Sobreposição das áreas escolares para o raio de *buffer* de 200 metros.

(fonte: elaborado pela autora)

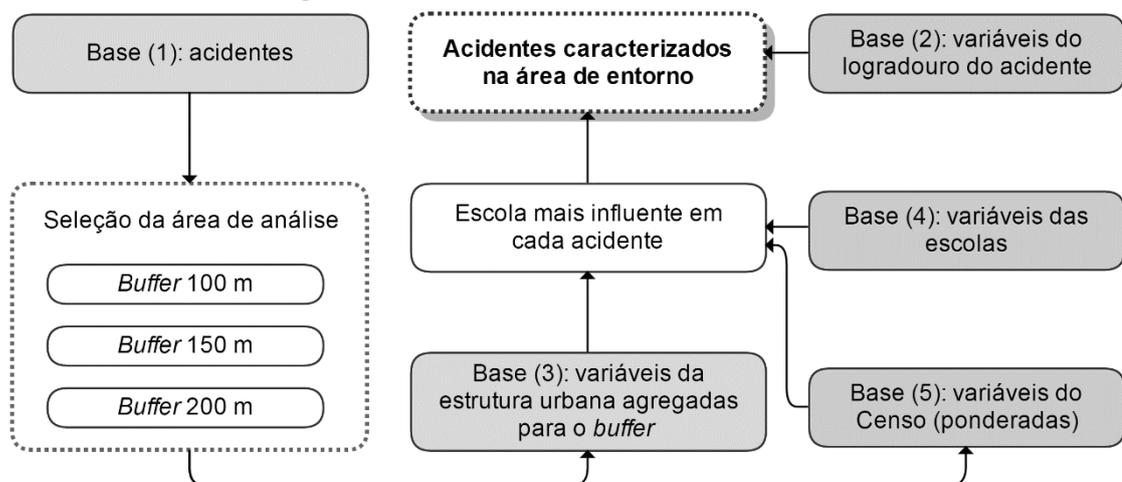
Para lidar com essas sobreposições e sistematizar a associação dos acidentes contidos nas áreas circulares que continham mais de uma escola, cada acidente foi associado à instituição escolar com maior potencial de atração de usuários – indicado pelo número de matrículas da

instituição. A partir do número de matrículas foi obtido o *ranking* de escolas, e os acidentes, antes contidos no raio de *buffer* de mais de uma escola, passaram a ser analisados em relação à área da escola de maior número de matrículas. Dessa forma, é possível que um mesmo acidente esteja contido no entorno de diferentes escolas para os diferentes raios de *buffer*. Para a maior área de análise (raio de *buffer* de 200 metros), foram analisados os entornos de 905 escolas, enquanto que para o raio de 100 e 150 metros foram analisadas, respectivamente, 827 e 886 escolas de educação básica. Para indicar a presença de outras escolas na área de influência *do buffer*, foi incluída a variável número de escolas.

Para a agregação de variáveis pontuais do entorno escolar, as escolas atuaram como centroide. As variáveis socioeconômicas e da estrutura urbana são provenientes da base de dados do Censo demográfico, o que faz com que sejam mensuradas para a unidade mínima de um setor censitário. Em Porto Alegre, os setores censitários variam desde pequenas quadras, como acontece na região central, até setores de 36,7 km², em regiões de menor densidade habitacional.

A Figura 16 demonstra a relação entre as bases de dados utilizadas neste estudo, relacionadas por *software* de gerenciamento de banco de dados (*Microsoft Access*). Os dados estão organizados em cinco bases georeferenciadas diferentes que se interligam na plataforma GIS: (1) base de acidentes; (2) base de características viárias discretas; (3) base da estrutura urbana em cada *buffer*, (4) base de escolas e (5) base de setores censitários.

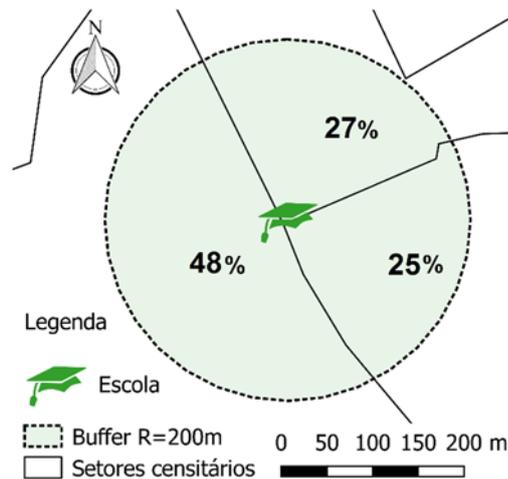
Figura 16: Gerenciamento do banco de dados



(fonte: elaborado pela autora)

A seleção das variáveis de entorno de escola que são usadas na modelagem inicia pela definição do raio do *buffer* que será adotado. Para cada raio são consolidados os dados referentes aos acidentes ocorridos, e associadas às variáveis viárias do local do acidente (2). A partir da relação entre escola e acidente pelo critério de potencial de atração de usuários – já exposto – são relacionadas aos acidentes as variáveis de estrutura urbana para um *buffer* (3), as variáveis que caracterizam a escola (4) e as variáveis coletadas pelo Censo, ponderadas pela representatividade – definida pelo percentual – do setor censitário na composição da área delimitada pelo *buffer* (5), conforme demonstra a Figura 17. Como resultado é obtida a base de acidentes com as características desagregadas por acidente, a partir da qual também é possível a reagregação das variáveis por escola através do identificador da instituição.

Figura 17: Composição de área de entorno com áreas de setores censitários



(fonte: elaborado pela autora)

3.3.2 Variáveis candidatas

As variáveis candidatas incluídas podem ser classificadas em quatro tipos de características: (i) do acidente, (ii) da escola, (iii) da estrutura urbana e (iv) socioeconômicas da área escolar.

Entre as características do acidente (ocorrência), foram incluídas quatro variáveis que descrevem os veículos envolvidos nessa ocorrência: *Carro de passeio*, *Veículo pesado* (caminhão ou ônibus), *Motocicleta* e *Bicicleta*. Essas variáveis são binárias, e 1 representa a presença de veículo correspondente na ocorrência. As condições ambientais e horárias nas quais o acidente ocorreu foram incluídas pela presença de quatro variáveis binárias: *Dia útil*, *Chuva*,

Dia e Horário de Pico. Aos acidentes ocorridos entre segunda-feira e sexta-feira, é atribuído valor 1 na variável *Dia útil*. De forma semelhante a variável *Chuva* tem valor 1 para essa condição presente na ocorrência. Já a variável *Dia*, refere-se à condição de iluminação natural presente no momento da ocorrência, recebendo o valor 1 para acidentes entre as 6 e 18 horas, enquanto que a variável *Horário de Pico* indica se o acidente ocorreu nos períodos entre 7 e 9 horas ou 17 e 19 horas. Já a variável *Interseção* com valor 1 corresponde aos acidentes registrados em cruzamentos.

A instituição escolar é caracterizada por cinco variáveis *dummy*, entre as quais, em três delas o valor 1 indica a presença da modalidade de ensino referida: *Pré-escola*, *Ensino Fundamental* e *Ensino Médio*. A condição socioeconômica dos alunos é indicada pela variável *Particular*, a qual tem valor 1 para condição atendida e zero para escolas públicas. A variável *Matriculas* é dedicada a expressar o porte da escola, através do número de alunos matriculados.

Foram incluídas variáveis referentes às cinco dimensões da estrutura urbana (5Ds). O desenho urbano foi caracterizado por 17 variáveis. Entre as quais, *Largura de via* expressa em metros representa a dimensão da via do acidente. Juntamente com a hierarquia da via da ocorrência, variável binária *Arterial*, atua como variável *proxy* de velocidade que pode ser desempenhada no local do acidente.

A *Declividade média* corresponde à média do declive absoluto (em módulo) para os segmentos viários interceptados pela área de análise. O *Comprimento médio de quadra*, medido em quilômetros, expressa, juntamente às variáveis número de *Interseções* e percentual de *Interseções com 4 vias*, a conectividade da estrutura urbana. Quadras menores constituem em menor possibilidade de desenvolvimento de altas velocidades. No entanto, os conflitos de tráfego concentram-se nas interseções, especialmente naquelas com mais manobras possíveis, como a de 4 vias.

As extensões de malha viária com diferentes características atuam como indicador de oportunidade de viagem e de exposição. A *Extensão de vias arteriais* é mensurada pelo percentual de vias arteriais contidas na área de análise em relação à toda a malha viária. Sua relevância se dá por serem vias que acomodam maiores volumes de tráfego e possuem os mais altos limites de velocidade do ambiente urbano. As extensões de vias dedicadas ao transporte

coletivo a às bicicletas, mensuradas em quilômetros pelas variáveis *Extensão de corredor de ônibus* e *Extensão de ciclovias*.

A presença de controle de interseções demonstra a existência de volumes de tráfego significativos nesses locais. Essa variável foi incluída pela parcela de interseções com controle semafórico (*Interseções com semáforo*). Já o número de *Semáforos*, na área de análise indica, além das interseções equipadas com esse controle, a oportunidade de travessia controlada em meio de quadra, por exemplo.

A qualidade da infraestrutura urbana foi mensurada a partir das variáveis provenientes do Censo para a presença de calçadas (*Dom. com calçada*), iluminação pública (*Dom. com iluminação pública*), meio fio (*Dom. com meio fio*), via pavimentada (*Dom. com pavi*) e arborização (*Dom. com arborização*).

A densidade de uso do solo é mensurada pela *Densidade populacional* em número de habitantes por área (km²) e *Densidade de domicílios* em número de domicílios particulares e permanentes, conforme classificação do Censo por área (km²). Essas variáveis expressam a parcela de domicílios atendidos por essas infraestruturas.

Tanto as variáveis que caracterizam a qualidade da infraestrutura urbana, quanto as de densidade de uso do solo, são informações provenientes do Censo, essas variáveis estão disponíveis para a área mínima de um setor censitário. A agregação para a área de *buffer* ocorreu pela ponderação de cada variável relativa aos setores censitários que compõem a área de análise, com respectivas parcelas de representatividade na composição dessa área.

A diversidade do uso do solo é mensurada pelo Índice de diversidade, análogo à entropia do uso do solo proposta por Cervero e Kockelman (1997), no qual os diferentes usos do solo são ponderados pelas áreas de cada tipo de uso. No entanto, dada a indisponibilidade da área de ocupação de cada tipo de uso do solo, o índice de diversidade (I_{div}) é ponderado pelo total de usos considerados, conforme demonstra a equação (1).

$$I_{div} = \frac{|\sum_i P_i \times \ln(P_i)|}{\ln(i)} \quad (1)$$

Em que i representa o número de diferentes usos do solo considerados na área de *buffer* e P_i é a proporção de unidades de cada tipo de uso do solo em relação ao total de unidades nessa área. Como resultado, é obtido um índice entre 0 e 1, em que o valor 0 indica uso do solo homogêneo, enquanto que o valor 1 expressa uso do solo diversificado em proporções iguais. Foram inclusos cinco tipos de usos de solo: (i) número de escolas, (ii) número de domicílios, (iii) número de comércios, (iv) número de serviços e (v) número de indústrias. Dentre esses, a única variável que não está disponível de forma desagregada é o número de domicílios. Portanto, o número de domicílios foi estimado pelo quociente entre a área de *buffer* e a variável *Densidade de domicílios*.

A quantidade de *Destinos Acessíveis* a curtas distâncias indica as oportunidades de viagens não motorizadas e é medida pelo *Número de comércios e serviços* e pelo número de *Escolas*. O número *Paradas de ônibus* indica a *Disponibilidade de transporte coletivo* no entorno da instituição.

Dada a indisponibilidade de características individuais para as pessoas envolvidas nos acidentes analisados, todas as variáveis *Socioeconômicas* referem-se à população residente na área de entorno. Assim como as demais informações provenientes do Censo, essas variáveis para a área de *buffer* são compostas pela ponderação das mesmas variáveis para a área de setores censitários. A *Renda média* é dada pela renda líquida domiciliar mensal. Os percentuais de população para as faixas etárias mais vulneráveis – crianças, adolescentes e idosos é dada pela parcela de população nessas faixas etárias: *% de pessoas 4 -17 anos* e *% de pessoas > 65 anos*.

O conjunto de variáveis candidatas foi testado quanto à presença de multicolinearidade, para que não fossem incluídas variáveis independentes que sejam regredidas diante de outras variáveis independentes. A presença de multicolinearidade reduz a capacidade de previsão da variável dependente do modelo. Os efeitos afetam a estimação (dificuldade de estimar os coeficientes, dificuldade de aplicar os testes estatísticos e estimativa de coeficientes de sinal contrário) e a explicação do modelo (dificuldade de distinguir os efeitos da variável dependente na independente) (HAIR *et al.*, 2009).

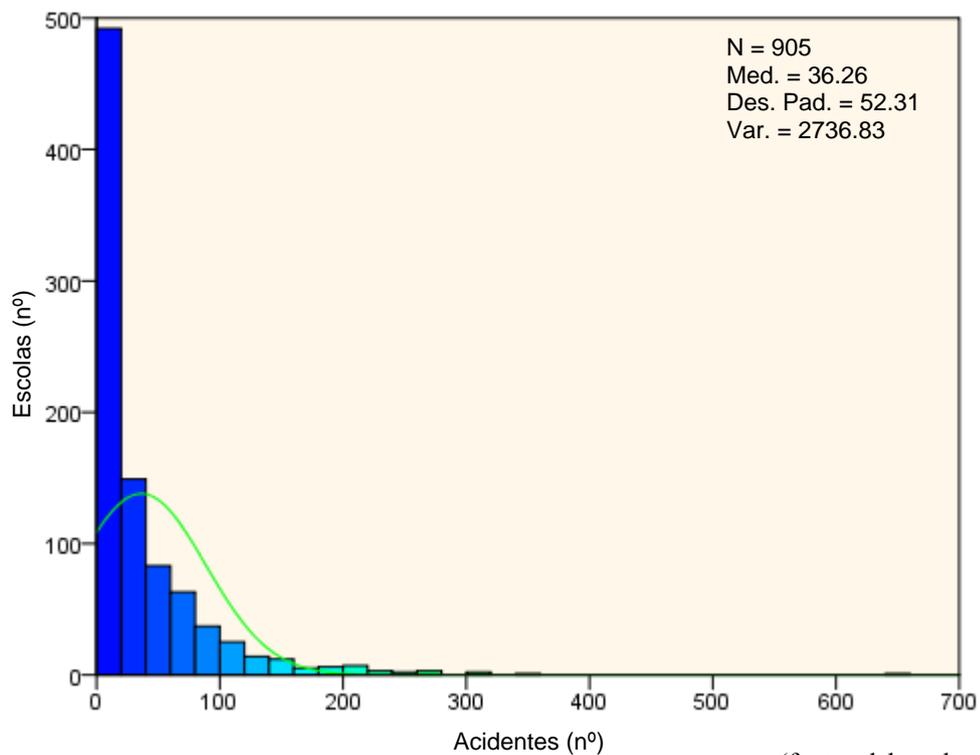
O diagnóstico de multicolinearidade foi realizado pela aplicação do teste do fator de inflação da variância (*Variance Inflation Factor* - VIF). Matematicamente, a raiz quadrada do valor de VIF expressa o grau de aumento do erro padrão (variação esperada dos coeficientes

estimados) devido os efeitos da multicolinearidade. Sugere-se que o limite aceitável de VIF seja 10 (HAIR *et al.*, 2009), caso em que o erro padrão seria inflacionado em mais de 3 vezes. O teste de VIF foi aplicado e foi verificada multicolinearidade entre as variáveis: *Densidade populacional* e *Densidade de domicílios* e entre *Dom. com calçada*, *Dom. com meio fio* e *Dom. com pavi*. Entre as quais, apenas *Densidade populacional* e *Dom. com calçada* foram mantidas e os testes foram repetidos, sem que fosse novamente verificada presença de multicolinearidade.

3.3.3 Modelos de frequência de acidentes

A análise da distribuição de frequência dos registros de acidentes (Figura 18) evidencia a assimetria à esquerda – não verificando as hipóteses de normalidade – conforme esperado para dados de acidentes (MCCULLANGH; NELDER, 1989).

Figura 18: Distribuição de frequência de acidentes no entorno de escolas



A presença de sobredispersão nos dados é verificada pelo teste de hipótese (CAMERON; TRIVEDI, 1990 *apud* GREENE, 2012):

$$H_0 = \text{VAR}[y_i] = E[y_i]$$

$$H_1 = \text{VAR}[y_i] = E[y_i] + \alpha g(E[y_i])$$

Em que y_i é a distribuição da variável dependente, α é o parâmetro de superdispersão e g é a função de ligação Gamma. A verificação da hipótese nula indica que a variância é superior à média e conduz à aplicação do modelo Binomial Negativo (BN), que é expresso pela generalização do modelo de Poisson (equação 2):

$$\ln(\mu_i) = \sum_j \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i = \ln(\lambda_i) + \ln(u_i) \quad (2)$$

Em que, x_{ij} são as variáveis explicativas e β_j são os parâmetros estimados, a função de ligação é dada pela distribuição de Poisson (equação 3) e o termo de erro ε_i é dado pela distribuição Gamma.

$$\lambda_i = \exp(\sum_j \beta_j x_{ij}) \quad (3)$$

Em que λ_i é o número esperado de acidentes.

A estatística descritiva das variáveis candidatas a preditores significativos é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Estatística descritiva para unidade de análise escola

Variável	Acidentes totais				Acidentes veículo-UV			
	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>
Dependente								
<i>Frequência acidentes totais</i>								
R=100m (N: 827)	1.00	279.00	15.14	22.62	-	-	-	-
R=150m (N:886)	1.00	335.00	25.35	35.37	-	-	-	-
R=200m, (N:905)	1.00	647.00	36.29	52.31	-	-	-	-
<i>Frequência acidentes veículo-UV</i>								
R=100m, (N:361)	-	-	-	-	1.00	11.00	1.90	1.55
R=150m, (N:470)	-	-	-	-	1.00	18.00	2.37	2.17
R=200m, (N:540)	-	-	-	-	1.00	23.00	2.84	2.83
Independente								
Escola								
<i>Escola particular (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.66	0.48	0.00	1.00	0.65	0.48
R=150m	0.00	1.00	0.65	0.48	0.00	1.00	0.64	0.48
R=200m	0.00	1.00	0.63	0.48	0.00	1.00	0.61	0.49
<i>Pré-escola (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.73	0.44	0.00	1.00	0.70	0.46

continua

continuação

Variável	Acidentes totais				Acidentes veículo-UV			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
R=150m	0.00	1.00	0.74	0.44	0.00	1.00	0.71	0.45
R=200m	0.00	1.00	0.73	0.44	0.00	1.00	0.70	0.46
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.36	0.48	0.00	1.00	0.35	0.48
R=150m	0.00	1.00	0.37	0.48	0.00	1.00	0.38	0.49
R=200m	0.00	1.00	0.39	0.49	0.00	1.00	0.41	0.49
<i>Ensino Médio (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.16	0.37	0.00	1.00	0.16	0.37
R=150m	0.00	1.00	0.15	0.36	0.00	1.00	0.18	0.38
R=200m	0.00	1.00	0.16	0.36	0.00	1.00	0.19	0.39
<i>Matriculas (n°)</i>								
R=100m	7.00	2959.00	313.76	423.91	7.00	2959.00	364.83	503.01
R=150m	4.00	2959.00	316.56	419.22	7.00	2959.00	361.85	481.95
R=200m	4.00	2959.00	322.73	418.82	7.00	2959.00	372.39	469.80
Estrutura urbana								
Densidade								
<i>Densidade populacional (hab/km²)</i>								
R=100m	0.00	55682.71	9837.96	7172.40	30.25	40375.97	10543.55	7501.85
R=150m	30.25	44464.44	9750.22	6446.88	30.25	42273.05	9795.70	6620.79
R=200m	30.32	42584.95	9641.78	6203.20	30.32	42584.95	9570.61	6051.19
Diversidade								
<i>Índice de diversidade (0-1)</i>								
R=100m	0.00	0.85	0.32	0.21	0.00	0.78	0.32	0.21
R=150m	0.00	0.84	0.32	0.20	0.00	0.83	0.34	0.21
R=200m	0.01	0.78	0.32	0.20	0.01	0.77	0.34	0.20
Desenho urbano								
<i>Declividade média (%)</i>								
R=100m	0.00	0.20	0.03	0.03	0.00	0.20	0.03	0.03
R=150m	0.00	0.18	0.03	0.03	0.00	0.18	0.03	0.03
R=200m	0.00	0.17	0.03	0.03	0.00	0.17	0.03	0.03
<i>Comprimento médio de quadra (km)</i>								
R=100m	0.03	0.27	0.07	0.03	0.03	0.27	0.07	0.03
R=150m	0.02	0.30	0.05	0.02	0.02	0.30	0.05	0.03
R=200m	0.04	0.41	0.09	0.04	0.04	0.40	0.09	0.04
<i>Parcela de extensão de vias arteriais (%)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.15	0.24	0.00	1.00	0.18	0.25
R=150m	0.00	1.00	0.15	0.19	0.00	1.00	0.17	0.20
R=200m	0.00	1.00	0.14	0.16	0.00	1.00	0.16	0.17
<i>Extensão de corredor de ônibus (km)</i>								
R=100m	0.00	0.29	0.02	0.05	0.00	0.29	0.02	0.06
R=150m	0.00	0.54	0.03	0.09	0.00	0.47	0.04	0.10
R=200m	0.00	0.82	0.06	0.13	0.00	0.70	0.06	0.14
<i>Extensão de ciclovias (km)</i>								
R=100m	0.00	0.27	0.00	0.02	0.00	0.35	0.00	0.03
R=150m	0.00	0.44	0.01	0.04	0.00	0.44	0.01	0.05
R=200m	0.00	0.58	0.01	0.06	0.00	0.58	0.01	0.07
<i>Interseções (n°)</i>								
R=100m	0.00	23.00	3.43	2.87	0.00	23.00	3.45	2.86
R=150m	0.00	40.00	7.54	5.52	0.00	37.00	7.11	5.31
R=200m	0.00	58.00	12.98	8.78	0.00	50.00	12.38	8.28
<i>Interseções com 4 vias (n°)</i>								

continua

continuação

Variável	Acidentes totais				Acidentes veículo-UV			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
R=100m	0.00	8.00	0.89	1.00	0.00	6.00	0.98	1.01
R=150m	0.00	14.00	2.05	1.94	0.00	14.00	2.11	2.06
R=200m	0.00	19.00	3.47	2.81	0.00	17.00	3.42	2.76
Interseções com semáforo (%)								
R=100m	0.00	1.00	0.10	0.24	0.00	1.00	0.15	0.28
R=150m	0.00	1.00	0.09	0.18	0.00	1.00	0.12	0.20
R=200m	0.00	0.75	0.09	0.14	0.00	0.75	0.11	0.15
Semáforos (n°)								
R=100m	0.00	6.00	0.51	0.99	0.00	6.00	0.73	1.15
R=150m	0.00	9.00	0.96	1.53	0.00	8.00	1.19	1.61
R=200m	0.00	12.00	1.58	2.09	0.00	10.00	1.86	2.16
Dom. com calçada (%)								
R=100m	0.00	1.00	0.79	0.31	0.00	1.00	0.79	0.31
R=150m	0.00	1.00	0.78	0.31	0.00	1.00	0.78	0.31
R=200m	0.00	1.00	0.77	0.31	0.00	1.00	0.77	0.31
Dom. com iluminação pública (%)								
R=100m	0.00	1.00	0.93	0.17	0.00	1.00	0.93	0.17
R=150m	0.00	1.00	0.92	0.17	0.00	1.00	0.92	0.17
R=200m	0.00	1.00	0.91	0.17	0.00	1.00	0.91	0.18
Dom. com arborização (%)								
R=100m	0.00	1.00	0.83	0.25	0.00	1.00	0.81	0.27
R=150m	0.00	1.00	0.82	0.25	0.00	1.00	0.82	0.25
R=200m	0.00	1.00	0.81	0.25	0.00	1.00	0.81	0.25
Acessibilidade ao destino								
Comércios e serviços (n°)								
R=100m	0.00	1471.00	36.69	109.16	0.00	1372.00	45.84	130.88
R=150m	0.00	1278.00	36.95	90.99	0.00	1209.00	43.96	96.33
R=200m	0.00	4190.00	132.88	326.84	0.00	4190.00	149.43	344.66
Escolas (n°)								
R=100m	1.00	4.00	1.31	0.59	1.00	4.00	1.32	0.62
R=150m	1.00	6.00	1.61	0.85	1.00	6.00	1.59	0.84
R=200m	1.00	7.00	2.02	1.11	1.00	7.00	1.97	1.09
Disp. de transporte coletivo								
Paradas de ônibus (n°)								
R=100m	0.00	25.00	1.19	1.64	0.00	25.00	1.24	1.74
R=150m	0.00	35.00	2.60	2.41	0.00	35.00	2.69	2.69
R=200m	0.00	55.00	4.53	3.99	0.00	55.00	4.58	4.21
Socioeconômicas								
Renda média (renda/dom)								
R=100m	0.00	15493.78	4012.50	2519.97	602.89	15493.78	3989.63	2474.95
R=150m	41.50	15336.16	3943.14	2479.09	793.85	15336.16	3957.24	2443.27
R=200m	124.68	15115.53	3907.10	2434.07	124.68	15115.53	3959.19	2435.97
Pessoas 4 -17 (%)								
R=100m	0.00	0.38	0.16	0.06	0.02	0.38	0.16	0.07
R=150m	0.02	0.37	0.17	0.06	0.03	0.37	0.16	0.07
R=200m	0.03	0.36	0.17	0.06	0.03	0.36	0.17	0.06
Pessoas > 65 (%)								
R=100m	0.00	0.31	0.12	0.05	0.01	0.31	0.12	0.05
R=150m	0.00	0.29	0.11	0.05	0.02	0.29	0.12	0.05
R=200m	0.00	0.28	0.11	0.05	0.00	0.28	0.11	0.05

(fonte: elaborado pela autora)

A técnica de estimação adotada na seleção das variáveis independentes foi a de eliminação regressiva (*backward elimination*). A escolha da técnica de estimação deve ser orientada pela teoria e satisfazer as necessidades da análise conduzida (HAIR et al., 2009). A flexibilidade fornecida por essa técnica fez com que fosse eleita como a melhor estratégia nesta aplicação. O ajuste do modelo foi realizado pela razão entre desviância e graus de liberdade (df), para o qual quando o valor se aproxima de 1 é improvável que seja obtido melhor ajuste para a regressão realizada (KIM et al., 2006). A comparação entre os ajustes dos modelos estimados para as três áreas é possível pelo Akaike Information Criterion (AIC) (AKAIKE, 1973), capaz de comparar diferentes modelos pelo princípio da parcimônia – equilíbrio entre o viés e a variância explicada pelos modelos. O modelo mais equilibrado é aquele que apresenta o menor AIC.

A Tabela 4 apresenta os modelos BN estimados para a variável dependente *Acidentes totais*, com mensuração em três áreas: de raio de 100, 150 e 200 metros. De forma semelhante, a Tabela 5 apresenta as estimações para a variável dependente *Veículos-UV*.

Tabela 4: Modelos de frequência de *Acidentes totais*

<i>Variáveis</i>	<i>R100</i>		<i>R150</i>		<i>R200</i>	
	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor
Escola						
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>	-0.24	(0.00)	-0.17	(0.09) *		
<i>Ensino Médio (0;1)</i>			0.27			
<i>Escola particular (0;1)</i>			0.15	(0.10) *	0.20	(0.01)
<i>Matrículas (n°)</i>					3.98E-04	(0.00)
Estrutura Urbana						
<u>Diversidade</u>						
<i>Índice de diversidade (0-1)</i>					0.57	(0.02)
<u>Desenho urbano</u>						
<i>Comprimento médio de quadra (km)</i>			4.18	(0.01)		
<i>Interseções com semáforo (%)</i>	0.57	(0.00)	0.90	(0.00)	2.04	(0.00)
<i>Parcela de extensão de vias arteriais (%)</i>	0.91	(0.00)	0.54	(0.01)	0.59	(0.02)
<i>Semáforos (n°)</i>	0.26	(0.00)	0.19	(0.00)		
<u>Destinos acessíveis</u>						
<i>Comércios e serviços (n°)</i>	8.44E-04	(0.02)				
<i>Escolas (n°)</i>	-0.17	(0.01)	-0.11	(0.01)	-0.09	(0.01)
<u>Disp. Transporte coletivo</u>						
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>			0.03	(0.09) *		
Socioeconômica						
<i>Pessoas > 65 (%)</i>	2.84	(0.00)	2.53	(0.00)	3.39	(0.00)
Número de parâmetros		7		10		7
Desviância/df		1.06		1.21		1.36
AIC		5950.52		7270.41		8086.37

*Significativas ao nível de confiança 90%

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 5: Modelos de frequência de *Acidentes veículos-UV*

<i>Variáveis</i>	<i>R100</i>		<i>R150</i>		<i>R200</i>	
	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor
Escola						
<i>Pré-escola (0;1)</i>					-0.22	(0.09) *
<i>Ensino Médio (0;1)</i>			0.27	(0.07) *		
<i>Escola particular (0;1)</i>					0.22	(0.09) *
<i>Matriculas (n°)</i>					3.41E-04	(0.00)
Estrutura Urbana						
<u>Desenho urbano</u>						
<i>Dom. com arborização (%)</i>			-0.58	(0.05)		
<i>Semáforos (n°)</i>	0.13	(0.02)	0.11	(0.01)	0.10	(0.00)
<u>Destinos acessíveis</u>						
<i>Comércios e serviços (n°)</i>	9.73E-04	(0.03)	1.29E-03	(0.07) *		
<u>Disp. Transporte coletivo</u>						
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>					0.02	(0.09) *
Socioeconômica						
<i>Pessoas > 65 (%)</i>			2.72	(0.08) *		
Número de parâmetros		2		5		5
Desviância/df		0.22		0.27		0.34
AIC		1340.31		1892.09		2324.73

*Significativas ao nível de confiança 90%

(fonte: elaborado pela autora)

A comparação da magnitude do impacto de cada variável no respectivo modelo pode ser obtida pelo cálculo do efeito marginal, dado pela equação (4). Os efeitos marginais foram obtidos por enumeração amostral para os efeitos calculados sobre as observações.

$$\partial E(y|x_{ij})/\partial x = \beta_{ij}[\exp(x_{ij}\beta_j)] \quad (4)$$

Para as variáveis binárias dummy – limitadas a assumirem valores de 0 ou 1 – os efeitos marginais consistem na diferença entre a probabilidade de elas assumirem 0 e 1 (HILBE, 2011), conforme a relação (5).

$$\frac{\Delta \Pr(y_i | (x_i = 1 | x_i = 0))}{\Delta_{xk}} \quad (5)$$

A Tabela 6 demonstra os efeitos marginais para os modelos estimados para *Acidentes totais*, enquanto a Tabela 7 apresenta a mesma informação para os modelos de frequência de acidentes *Veículo-UV*.

Tabela 6: Efeitos marginais BN #*Acidentes totais*

<i>Variáveis</i>	<i>R100</i>	<i>R150</i>	<i>R200</i>
Escola			
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>	-0.20	-0.16	

continua

continuação

Variáveis	R100	R150	R200
<i>Ensino Médio (0;1)</i>		0.31	
<i>Escola particular (0;1)</i>		0.16	0.23
<i>Matrículas (n°)</i>			0.13
Estrutura Urbana			
<u>Diversidade</u>			
<i>Índice de diversidade (0-1)</i>			0.18
<u>Desenho urbano</u>			
<i>Comprimento médio de quadra (km)</i>		0.21	
<i>Interseções com semáforo (%)</i>	0.05	0.09	0.18
<i>Parcela de extensão de vias arteriais (%)</i>	0.13	0.08	0.08
<i>Semáforos (n°)</i>	0.14	0.20	
<u>Destinos acessíveis</u>			
<i>Comércios e serviços (n°)</i>	0.03		
<i>Escolas (n°)</i>	-0.19	-0.16	-0.17
<u>Disp. Transporte coletivo</u>			
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>		0.07	
Socioeconômica			
<i>Pessoas > 65 (%)</i>	0.31	0.29	0.38

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 7: Efeitos marginais BN #Acidentes veículo-UV

Variáveis	R100	R150	R200
Escola			
<i>Pré-escola (0;1)</i>			-0.2
<i>Ensino Médio (0;1)</i>		0.31	
<i>Escola particular (0;1)</i>			0.25
<i>Matrículas (n°)</i>			0.13
Estrutura Urbana			
<u>Desenho urbano</u>			
<i>Dom. com arborização (%)</i>		-0.46	
<i>Semáforos (n°)</i>	0.04	0.14	0.21
<u>Destinos acessíveis</u>			
<i>Comércios e serviços (n°)</i>	0.02	0.06	
<u>Disp. Transporte coletivo</u>			
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>			0.09
Socioeconômica			
<i>Pessoas > 65 (%)</i>		0.32	

(fonte: elaborado pela autora)

3.3.4 Modelos de severidade de acidentes

O efeito das variáveis dos acidentes, das escolas, da estrutura urbana e socioeconômicas na severidade dos acidentes foram estimados por modelos de escolha discreta. A variável dependente, severidade, é discreta e seus valores refletem uma ordenação (SMALL, 1987). Assim, foi selecionada a abordagem ordenada e foram estimados modelos *logit* ordenados (LO). As variáveis dependentes *Severidade de acidentes* e *Severidade veículo-UV* assumem os

valores 1, 2 e 3 para, respectivamente, acidentes no entorno de escolas somente com dano material, com vítima ferida e vítima fatal.

No modelo LO a probabilidade generalizada do acidente estar em determinada categoria m é dada por (Equação 6):

$$P(y = m) = L(\mu_m - \beta'x) - L(\mu_{m-1} - \beta'x) \quad (6)$$

Em que L representa a distribuição logística acumulada (Equação 7) e os μ_s são os pontos de corte, ilustrados na Figura 7. No caso analisado a variável dependente possui três categorias, portanto, existem dois pontos de corte (μ_1 e μ_2).

$$L(\beta'x) = \frac{e^{\beta'x}}{1 + e^{\beta'x}} \quad (7)$$

Os modelos são estimados pelo método de máxima verossimilhança. Os coeficientes atribuídos às variáveis refletem os efeitos marginais das variáveis independentes sobre as chances de estarem em uma categoria superior. A estatística descritiva das variáveis candidatas à preditores nos modelos de severidade é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8: Estatística descritiva para unidade de análise acidente

Variável	Severidade acidentes totais				Severidade veículo-UV			
	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>
Dependente								
<i>Severidade de acidentes</i>								
R=100m N=12519	1.00	3.00	1.32	0.48	-	-	-	-
R=150m N=22463	1.00	3.00	1.32	0.48	-	-	-	-
R=200m N=32844	1.00	3.00	1.31	0.47	-	-	-	-
<i>Severidade veículo-UV</i>								
R=100m N=685	-	-	-	-	1.00	3.00	2.00	0.17
R=150m N=1115	-	-	-	-	1.00	3.00	2.01	0.19
R=200m N=1534	-	-	-	-	1.00	3.00	2.01	0.20
Independente								
Acidente								
<i>Carro de passeio (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.90	0.29	-	-	-	-
R=150m	0.00	1.00	0.90	0.30	-	-	-	-

continua

continuação

Variável	Severidade acidentes totais				Severidade veículo-UV			
	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>
R=200m	0.00	1.00	0.91	0.29	-	-	-	-
<i>Veículo pesado (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.21	0.41	-	-	-	-
R=150m	0.00	1.00	0.21	0.40	-	-	-	-
R=200m	0.00	1.00	0.20	0.40	-	-	-	-
<i>Motocicleta (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.21	0.40	-	-	-	-
R=150m	0.00	1.00	0.21	0.41	-	-	-	-
R=200m	0.00	1.00	0.21	0.41	-	-	-	-
<i>Bicicleta (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.01	0.11	-	-	-	-
R=150m	0.00	1.00	0.01	0.11	-	-	-	-
R=200m	0.00	1.00	0.01	0.11	-	-	-	-
<i>Dia útil (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.81	0.39	0.00	1.00	0.82	0.38
R=150m	0.00	1.00	0.81	0.39	0.00	1.00	0.81	0.39
R=200m	0.00	1.00	0.81	0.39	0.00	1.00	0.80	0.40
<i>Chuva (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.08	0.27	0.00	1.00	0.06	0.23
R=150m	0.00	1.00	0.08	0.27	0.00	1.00	0.06	0.24
R=200m	0.00	1.00	0.08	0.28	0.00	1.00	0.06	0.24
<i>Dia (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.76	0.43	0.00	1.00	0.68	0.47
R=150m	0.00	1.00	0.75	0.43	0.00	1.00	0.66	0.48
R=200m	0.00	1.00	0.75	0.43	0.00	1.00	0.65	0.48
<i>Horário de Pico (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.23	0.42	0.00	1.00	0.27	0.44
R=150m	0.00	1.00	0.23	0.42	0.00	1.00	0.26	0.44
R=200m	0.00	1.00	0.23	0.42	0.00	1.00	0.26	0.44
<i>Interseção (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.32	0.47	0.00	1.00	0.12	0.33
R=150m	0.00	1.00	0.33	0.47	0.00	1.00	0.14	0.34
R=200m	0.00	1.00	0.34	0.47	0.00	1.00	0.14	0.35
Escola								
<i>Escola particular (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.66	0.47	0.00	1.00	0.66	0.48
R=150m	0.00	1.00	0.65	0.48	0.00	1.00	0.65	0.48
R=200m	0.00	1.00	0.62	0.49	0.00	1.00	0.61	0.49
<i>Pré-escola (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.65	0.48	0.00	1.00	0.67	0.47
R=150m	0.00	1.00	0.66	0.47	0.00	1.00	0.64	0.48
R=200m	0.00	1.00	0.65	0.48	0.00	1.00	0.61	0.49
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.35	0.48	0.00	1.00	0.35	0.48
R=150m	0.00	1.00	0.38	0.49	0.00	1.00	0.40	0.49
R=200m	0.00	1.00	0.41	0.49	0.00	1.00	0.43	0.49
<i>Ensino Médio (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.22	0.41	0.00	1.00	0.21	0.41
R=150m	0.00	1.00	0.24	0.43	0.00	1.00	0.25	0.43
R=200m	0.00	1.00	0.26	0.44	0.00	1.00	0.27	0.44
<i>Matrículas (n°)</i>								
R=100m	7	2959	385	521	7	2959	396	519

continua

continuação

Variável	Severidade acidentes totais				Severidade veículo-UV			
	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>
R=150m	4	2959	418	554	7	2959	452	561
R=200m	4	2959	441	550	7	2959	498	576
Estrutura Urbana								
Densidade								
<i>Densidade populacional (hab/km²)</i>								
R=100m	0	55683	9951	7432	30	40376	10754	7598
R=150m	30	44464	9980	6730	30	42273	10540	6975
R=200m	30	42585	9887	6634	30	42585	10751	7325
<i>Densidade de domicílios (dom/km²)</i>								
R=100m	0	26441	4116	3736	12	21205	4400	3903
R=150m	11	20883	4144	3365	12	20883	4358	3523
R=200m	11	22137	4135	3398	12	22137	4514	3821
Diversidade								
<i>Índice de diversidade (0-1)</i>								
R=100m	0.00	0.85	0.37	0.22	0.00	0.78	0.34	0.21
R=150m	0.00	0.84	0.39	0.20	0.00	0.83	0.37	0.21
R=200m	0.01	0.78	0.40	0.20	0.01	0.77	0.38	0.20
Desenho urbano								
<i>Largura de via (m)</i>								
R=100m	0.00	10.00	9.84	0.75	0.00	10.00	9.79	0.95
R=150m	0.00	10.00	9.82	0.79	0.00	10.00	9.83	0.85
R=200m	0.00	10.00	9.83	0.76	0.00	10.00	9.85	0.78
<i>Arterial (0;1)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.53	0.50	0.00	1.00	0.44	0.50
R=150m	0.00	1.00	0.53	0.50	0.00	1.00	0.47	0.50
R=200m	0.00	1.00	0.53	0.50	0.00	1.00	0.47	0.50
<i>Declividade média (%)</i>								
R=100m	0.00	0.20	0.03	0.02	0.00	0.20	0.03	0.03
R=150m	0.00	0.18	0.03	0.02	0.00	0.18	0.03	0.03
R=200m	0.00	0.17	0.03	0.02	0.00	0.17	0.03	0.02
<i>Comprimento médio de quadra (km)</i>								
R=100m	0.03	0.27	0.08	0.03	0.03	0.27	0.07	0.03
R=150m	0.02	0.30	0.05	0.02	0.02	0.30	0.05	0.03
R=200m	0.04	0.41	0.09	0.03	0.04	0.40	0.09	0.04
<i>Parcela de extensão de vias arteriais (%)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.26	0.28	0.00	1.00	0.20	0.26
R=150m	0.00	1.00	0.21	0.21	0.00	1.00	0.19	0.20
R=200m	0.00	1.00	0.19	0.17	0.00	1.00	0.18	0.17
<i>Extensão de corredor de ônibus (km)</i>								
R=100m	0.00	0.29	0.03	0.07	0.00	0.29	0.02	0.06
R=150m	0.00	0.54	0.07	0.12	0.00	0.47	0.06	0.12
R=200m	0.00	0.82	0.11	0.17	0.00	0.70	0.09	0.16
<i>Extensão de ciclovia (km)</i>								
R=100m	0.00	0.57	0.00	0.04	0.00	0.57	0.00	0.04
R=150m	0.00	0.45	0.01	0.05	0.00	0.45	0.01	0.05
R=200m	0.00	0.61	0.01	0.07	0.00	0.61	0.02	0.08
<i>Interseções (n°)</i>								
R=100m	0	23	3	2	0	23	3	3
R=150m	0	40	7	4	0	37	7	5
R=200m	0	58	11	7	0	50	12	7
<i>Interseções com 4 vias (n°)</i>								

continua

continuação

<u>Variável</u>	Severidade acidentes totais				Severidade veículo-UV			
	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Média</u>	<u>Desvio padrão</u>
R=100m	0	8	1	1	0	6	1	1
R=150m	0	14	2	2	0	14	2	2
R=200m	0	19	4	3	0	17	4	3
<i>Interseções com semáforo (%)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.23	0.33	0.00	1.00	0.19	0.31
R=150m	0.00	1.00	0.19	0.24	0.00	1.00	0.18	0.24
R=200m	0.00	0.75	0.16	0.17	0.00	0.75	0.15	0.17
<i>Semáforos (n°)</i>								
R=100m	0	6	1	1	0	6	1	1
R=150m	0	9	2	2	0	8	2	2
R=200m	0	12	3	2	0	10	3	2
<i>Dom. com calçada (%)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.85	0.28	0.00	1.00	0.82	0.30
R=150m	0.00	1.00	0.85	0.27	0.00	1.00	0.82	0.29
R=200m	0.00	1.00	0.84	0.26	0.00	1.00	0.82	0.28
<i>Dom. com iluminação pública (%)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.94	0.15	0.00	1.00	0.94	0.16
R=150m	0.00	1.00	0.94	0.15	0.00	1.00	0.93	0.16
R=200m	0.00	1.00	0.93	0.14	0.00	1.00	0.92	0.16
<i>Dom. com arborização (%)</i>								
R=100m	0.00	1.00	0.85	0.25	0.00	1.00	0.80	0.27
R=150m	0.00	1.00	0.85	0.24	0.00	1.00	0.81	0.26
R=200m	0.00	1.00	0.85	0.22	0.00	1.00	0.81	0.25
<i>Acessibilidade ao destino</i>								
<i>Comércios e serviços (n°)</i>								
R=100m	0	1471	64	174	0	1372	81	228
R=150m	0	1278	60	107	0	1209	78	149
R=200m	0	4190	213	429	0	4190	285	618
<i>Escolas (n°)</i>								
R=100m	1	4	1	1	1	4	1	1
R=150m	1	6	2	1	1	6	2	1
R=200m	1	7	2	1	1	7	2	1
<i>Disp. de transporte coletivo</i>								
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>								
R=100m	0	25	1	2	0	25	1	2
R=150m	0	35	3	3	0	35	3	4
R=200m	0	55	5	6	0	55	6	8
<i>Renda média (renda/dom)</i>								
R=100m	0.00	15493.78	4248.05	2311.75	602.89	15493.78	3979.14	2348.52
R=150m	41.50	15336.16	4269.29	2300.20	793.85	15336.16	4093.57	2363.86
R=200m	124.68	15115.53	4301.46	2292.08	124.68	15115.53	4111.45	2330.66
<i>Pessoas 4 -17 (%)</i>								
R=100m	0.00	0.38	0.15	0.06	0.02	0.38	0.16	0.07
R=150m	0.02	0.37	0.15	0.06	0.03	0.37	0.15	0.07
R=200m	0.03	0.36	0.15	0.06	0.03	0.36	0.15	0.06
<i>Pessoas > 65 (%)</i>								
R=100m	0.00	0.31	0.13	0.05	0.01	0.31	0.12	0.05
R=150m	0.00	0.29	0.13	0.05	0.02	0.29	0.13	0.05
R=200m	0.00	0.28	0.13	0.04	0.00	0.28	0.12	0.05

(fonte: elaborado pela autora)

Os modelos LO foram estimados por eliminação regressiva (*backward elimination*). O ajuste geral do modelo foi avaliado através do teste da razão de verossimilhança, que demonstra que os modelos obtidos são estatisticamente significativos em relação ao modelo sem preditores – p-valor <0,05 para o nível de significância de 5%, que indica que a variável independente é significativa ao nível de confiança de 95%. A medida de ajuste geral do modelo é expressa pelo valor de Pseudo-R² (entre 0 e 1, em que 1 significa ajuste exato), no qual valores próximos a 0,4 podem ser considerados bons ajustes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Conforme o nome sugere, o Pseudo-R² é o ajuste do modelo da regressão logística comparável ao R² das regressões múltiplas. O sinal dos coeficientes estimados para as variáveis indica o impacto positivo ou negativo na severidade dos acidentes. A Tabela 9 apresenta os modelos LO estimados para as três áreas de análise.

Tabela 9: Modelos ordenados para Severidade de acidentes totais

Áreas	R100		R150		R200	
	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor
Variável						
Acidente						
<i>Bicicleta (0;1)</i>	3.54	(0.00)				
<i>Carro de passeio (0;1)</i>	-2.34	(0.00)				
<i>Chuva (0;1)</i>	-0.57	(0.00)	-0.60	(0.00)		
<i>Dia (0;1)</i>	-0.87	(0.00)	-0.88	(0.00)	-0.90	(0.00)
<i>Dia útil (0;1)</i>	-0.40	(0.00)	-0.40	(0.00)		
<i>Horário de Pico (0;1)</i>	0.12	(0.05)	0.18	(0.00)	0.29	(0.00)
<i>Interseção (0;1)</i>	-1.61	(0.00)	-1.61	(0.00)	-1.72	(0.00)
<i>Motocicleta (0;1)</i>	2.48	(0.00)	2.81	(0.00)		
<i>Veículo pesado (0;1)</i>	-0.71	(0.00)			-0.59	(0.00)
Escola						
<i>Pré-escola (0;1)</i>	0.13	(0.02)	0.16	(0.00)		
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>			0.10	(0.05)		
<i>Ensino Médio (0;1)</i>			-0.10	(0.05)		
<i>Escola particular (0;1)</i>			-0.13	(0.01)	-0.07	(0.01)
Estrutura urbana						
Diversidade						
<i>Índice de diversidade (0-1)</i>	-0.37	(0.00)	-0.46	(0.00)		
Desenho urbano						
<i>Arterial (0;1)</i>					0.05	(0.08)*
<i>Comprimento médio de quadra (km)</i>					0.77	(0.09)*
<i>Extensão de corredor de ônibus (km)</i>			0.49	(0.01)		
<i>Interseções (n°)</i>					0.02	(0.00)
<i>Interseções com 4 vias (n°)</i>					-0.02	(0.00)
<i>Largura de via (m)</i>	0.07	(0.04)	0.06	(0.01)	0.08	(0.00)
<i>Semáforos (n°)</i>			-0.03	(0.01)	-0.04	(0.00)
Destinos acessíveis						
<i>Comércios e serviços (n°)</i>	3.98E-04	(0.02)	9.62E-04	(0.00)		
Disp. Transporte coletivo						
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>					0.01	(0.00)
Socioeconômica						
<i>Renda média (renda/dom)</i>	-6.03E-05	(0.00)	-5.05E-05	(0.00)	-5.22E-05	(0.00)

continua

continuação

<i>Áreas</i>	<i>R100</i>	<i>R150</i>	<i>R200</i>
N parâmetros	14	16	13
Pseudo-R²	0.616	0.585	0.489
Log-likelihood	-5268.276	-10215.629	-18433.484
AIC	10564.55	20463.26	36892.97

*Significativas ao nível de confiança 90%

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 10: Modelos ordenados para Severidade veículo-UV

<i>Áreas</i>	<i>R100</i>		<i>R150</i>		<i>R200</i>	
	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor
Acidente						
<i>Dia (0;1)</i>					-0.57	(0.04)
<i>Interseção (0;1)</i>	-2.04	(0.00)	-1.64	(0.00)	-1.51	(0.00)
Escola						
<i>Pré-escola (0;1)</i>	1.07	(0.04)	0.86	(0.02)	0.92	(0.00)
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>			-0.85	(0.03)		
<i>Ensino Médio (0;1)</i>	1.25	(0.03)				
<i>Escola particular (0;1)</i>			-0.63	(0.11) *	-0.86	(0.00)
<i>Matrículas (n°)</i>			8.07E-04	(0.01)		
Estrutura urbana						
<u>Desenho urbano</u>						
<i>Dom. com arborização (%)</i>	-1.73	(0.02)				
<i>Interseções (n°)</i>			-0.06	(0.03)		
<i>Interseções com 4 vias (n°)</i>					-0.08	(0.06) *
<u>Destinos acessíveis</u>						
<i>Comércios e serviços (n°)</i>			1.57E-03	(0.02)	6.41E-04	(0.00)
Socioeconômica						
<i>Pessoas 4 -17 (%)</i>			5.45	(0.05)	3.61	(0.11) *
N parâmetros	4		8		7	
Pseudo-R²	0.871		0.841		0.832	
Log-likelihood	-91.356		-184.829		-269.623	
AIC	190.71		385.66		553.25	

*Significativas ao nível de confiança 90%

(fonte: elaborado pela autora)

Para permitir a comparação da importância das variáveis explicativas com diferentes escalas de medidas foram calculados os efeitos marginais das variáveis dependentes em relação às variáveis explicativas. Nos modelos *logit* ordenados o cálculo de efeitos marginais é estritamente necessário para a compreensão do efeito das estimativas dos parâmetros individuais. Valores positivos de β' indicam que um aumento em X_i gerará claramente o aumento (respectivamente, redução) da probabilidade da severidade mais alta (respectivamente, menor). No entanto, não é óbvio o efeito que um valor positivo ou negativo de β' gerará nas probabilidades dos níveis intermediários (MANNERING; BHAT, 2014). Nesses modelos, o efeito marginal da probabilidade de um acidente ter uma severidade m em relação a uma variável x foi calculado como (Equação 8):

$$P(y = m)/\partial x = [L(\mu_m - \beta'x) - L(\mu_{m-1} - \beta'x)]\beta \quad (8)$$

Para as variáveis contínuas o efeito foi calculado pelo incremento de 10% da média das observações, para variáveis discretas pelo incremento de uma unidade. Para variáveis *dummy*, tal relação não faria sentido (GREENE, 2012). Assim, o efeito marginal foi calculado como a diferença de probabilidade para X_i , (que é a variável *dummy*) assumindo os valores 0 e 1, conforme Equação 9:

$$X_i = P(y = m)|X_i = 1 - P(y = m)|X_i = 0 \quad (9)$$

O efeito marginal de cada variável foi obtido por enumeração amostral para o efeito calculado sobre as observações e são expostos pela Tabela 11 para Severidade de *Acidentes totais* e pela para a Tabela 12 para a Severidade de *Acidentes veículo-UV*.

Tabela 11: Efeitos marginais para LO #*Acidentes totais*

Áreas Variável	R100			R150			R200		
	Sev1	Sev2	Sev3	Sev1	Sev2	Sev3	Sev1	Sev2	Sev3
Acidente									
<i>Bicicleta (0;1)</i>	-0.20	0.17	0.05						
<i>Carro de passeio (0;1)</i>	0.42	-0.05	0.00						
<i>Chuva (0;1)</i>	0.03	-0.02	0.00	0.08	-0.07	0.00			
<i>Dia (0;1)</i>	0.06	-0.03	0.00	0.17	-0.08	0.00	0.200	-0.072	-0.002
<i>Dia útil (0;1)</i>	0.00	0.00	0.00	0.06	-0.04	0.00			
<i>Horário de Pico (0;1)</i>	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.055	0.052	0.002
<i>Interseção (0;1)</i>	0.08	-0.06	0.00	0.24	-0.16	0.00	0.1593	-0.0255	-0.0004
<i>Motocicleta (0;1)</i>	-0.14	0.24	0.02	-0.44	0.25	0.01			
<i>Veículo pesado (0;1)</i>	0.03	-0.03	0.00				0.112	-0.090	-0.002
Escola									
<i>Pré escola (0;1)</i>	-0.0059	0.0061	0.0002	-0.02	0.021	0.001			
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>				-0.013	0.013	0.001			
<i>Ensino Médio (0;1)</i>				0.014	-0.013	-0.001			
<i>Escola particular (0;1)</i>				0.018	-0.016	-0.001	0.0145	-0.0122	-0.0003
Estrutura Urbana									
<i>Diversidade Índice de diversidade (0-1)</i>	0.0063	-0.0061	-0.0002	0.024	-0.023	-0.001			
<i>Desenho urbano</i>									

continua

continuação

Áreas	R100			R150			R200		
	Sev1	Sev2	Sev3	Sev1	Sev2	Sev3	Sev1	Sev2	Sev3
Variável									
<i>Arterial (0;1)</i>							-0.0089	0.0081	0.0002
<i>Comprimento médio de quadra (km)</i>							-0.0133	0.0118	0.0003
<i>Extensão de corredor de ônibus (km)</i>				-0.0044	0.0043	0.0002			
<i>Interseções (n°)</i>							-0.037	0.033	0.001
<i>Interseções com 4 vias (n°)</i>							0.0144	-0.0128	-0.0003
<i>Largura de via (m)</i>	-0.035	0.033	0.001	-0.083	0.079	0.003	-0.151	0.134	0.004
<i>Semáforos (n°)</i>				0.0077	-0.0074	-0.0003	0.022	-0.019	-0.001
Destinos acessíveis									
<i>Comércios e serviços (n°)</i>	-0.00121	0.00114	0.00006	-0.0081	0.0078	0.0003			
Disp. Transporte coletivo									
<i>Paradas de ônibus (n°)</i>							-0.0100	0.0089	0.0003
Socioeconômicas									
<i>Renda média (renda/dom)</i>	0.0118	-0.0113	-0.0005	0.028	-0.027	-0.001	0.042	-0.037	-0.001

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 12: Efeitos marginais para LO #Acidentes veículo-UV

Áreas	R100			R150			R200		
	Sev1	Sev2	Sev3	Sev1	Sev2	Sev3	Sev1	Sev2	Sev3
Variável									
Acidente									
<i>Dia (0;1)</i>							0.012	0.005	-0.009
<i>Interseção (0;1)</i>	0.073	-0.025	-0.013	0.048	-0.015	-0.016	0.053	-0.015	-0.018
Escola									
<i>Pré-escola (0;1)</i>	-0.007	0.002	0.029	-0.007	-0.004	0.029	-0.009	-0.003	0.033
<i>Ensino Fundamental (0;1)</i>				0.016	0.006	-0.012			
<i>Ensino Médio (0;1)</i>	-0.008	-0.013	0.038						
<i>Escola particular (0;1)</i>				0.011	0.007	-0.01	0.015	-0.007	-0.007
<i>Matrículas (n°)</i>				-0.002	-0.007	0.009			
Estrutura Urbana									
Desenho urbano									
<i>Dom. com arborização (%)</i>	0.018	-0.002	-0.019						
<i>Interseções (n°)</i>				0.005	0.002	-0.007			
<i>Interseções com 4 vias (n°)</i>							0.004	0.0005	-0.005
Destinos acessíveis									
<i>Comércios e serviços (n°)</i>				-0.0008	-0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.002
Socioeconômicas									
<i>Pessoas 4 -17 (%)</i>				0.075	-0.080	0.282	-0.007	-0.006	0.014

(fonte: elaborado pela autora)

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção os resultados obtidos são descritos, discutidos e confrontados com as evidências reportadas pela literatura.

4.1 MODELOS DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

Foram estimados seis modelos de frequência de acidentes, relativos à combinação de duas variáveis dependentes e três áreas de análise, conforme Quadro 6.

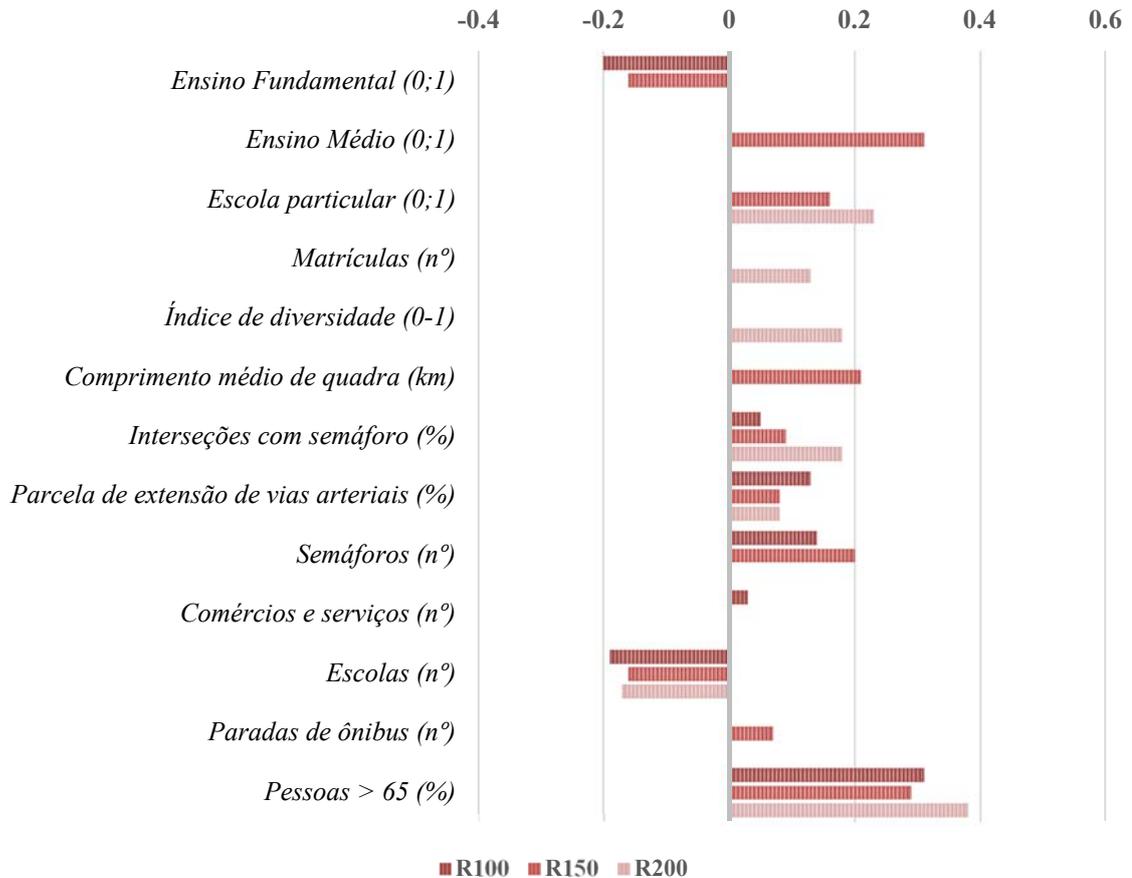
Quadro 6: Quadro síntese dos modelos de frequência de acidentes estimados

Modelos	Variável dependente	Área de análise (buffer)
<i>BN1</i>	Acidentes totais	100 metros
<i>BN2</i>	Acidentes totais	150 metros
<i>BN3</i>	Acidentes totais	200 metros
<i>BN4</i>	Acidentes entre veículo-usuário vulnerável	100 metros
<i>BN5</i>	Acidentes entre veículo-usuário vulnerável	150 metros
<i>BN6</i>	Acidentes entre veículo-usuário vulnerável	200 metros

(fonte: elaborado pela autora)

4.1.1 Frequência de acidentes totais – *Acidentes totais*

Juntos, os três modelos BN para *acidentes totais* (BN1, BN2 e BN3) permitiram identificar a influência de 13 diferentes variáveis explicativas, dentre as quais, 8 caracterizam a estrutura urbana (*Índice de diversidade; Comprimento médio de quadra; Interseções com Semáforo; Parcela de extensão de via arterial; Semáforos; Comércio e serviços; Paradas e Escolas*), quatro a instituição escolar (*Ensino fundamental; Ensino médio; Ensino particular, Matrículas*) e uma a população residente no entorno da instituição (*pessoas > 65*). A Figura 19 ilustra os impactos – informados pelos efeitos marginais – para as variáveis significativas.

Figura 19: Impactos na frequência de *Acidentes totais*

(fonte: elaborado pela autora)

Entre as variáveis da estrutura urbana, apenas o número de outras instituições escolares na área de análise (*Escolas*) contribuiu com a menor frequência de acidentes. Essa relação foi significativa para todas as áreas de análise. As demais variáveis relacionadas à estrutura urbana contribuíram para o aumento da frequência de acidentes. Embora o controle semafórico tenha a função de reduzir os conflitos de tráfego, a implantação de semáforos está diretamente relacionada com altos volumes de tráfego, principal fator determinante da frequência de acidentes (EWING; DUMBAUGH, 2009). Dessa forma, é esperado que maiores percentuais de *Interseções com Semáforo* e maior número total de *Semáforos* esteja relacionado a maiores frequências de acidentes. Nesse sentido, parcelas maiores de *Interseções com Semáforo* foram relacionadas ao aumento da frequência de acidentes para todas as áreas de análise, enquanto que a densidade de *Semáforos* foi significativa para as áreas dadas pelos raios de 100 e 150 metros.

Maiores frequências de acidentes estão relacionadas, também, aos maiores valores de *Comprimento médio de quadra*, à maior *Parcela de extensão de vias arteriais*, ao uso do solo mais diversificado (*Índice de diversidade*), à mais destinos de *Comércios e serviços* e ao maior número de *Paradas de ônibus*. Quadras mais longas caracterizam a estrutura urbana menos conectada, com distâncias mais longas e serem percorridas até os destinos, além de oportunizarem o aumento da velocidade entre as interseções. A malha viária composta por alta *Parcela de extensão de vias arteriais* propicia maiores volumes e maiores velocidades médias de tráfego nas proximidades das escolas. Essa relação foi significativamente positiva para as três áreas de análise. Nesta análise, a presença de vias arteriais atuou como *proxy* do volume de tráfego, visto que as vias de elevada hierarquia tendem a apresentar maiores dimensões e acomodar maiores volumes. Nesse sentido, as evidências empíricas indicam que as vias de maiores dimensões têm sido relacionadas ao aumento da frequência de acidentes. Esses resultados são coerentes com a extensa análise conduzida em Illinois (EUA), onde Noland e Oh (2004) verificaram que vias com mais faixas e mais largas contribuem com a maior frequência de acidentes.

O aumento da frequência de acidentes sob a influência do uso do solo mais diversificado – maior *Índice de diversidade* e a presença de mais *Comércios e serviços*, também foi verificado na análise da frequência de acidentes realizada no Condado de Miami-Dade (OUYANG; BEJLERI, 2014). Em relação ao acesso ao transporte coletivo, o maior número de *Paradas de ônibus*, mostrou contribuir com a maior frequência de acidentes. Resultado semelhante foi observado para a frequência de acidentes totais e de acidentes com vítima no Hawaii (KIM *et al.*, 2010), no qual o aumento em uma unidade no número de paradas refletiu no aumento de 1.78 na probabilidade de ocorrência do acidente.

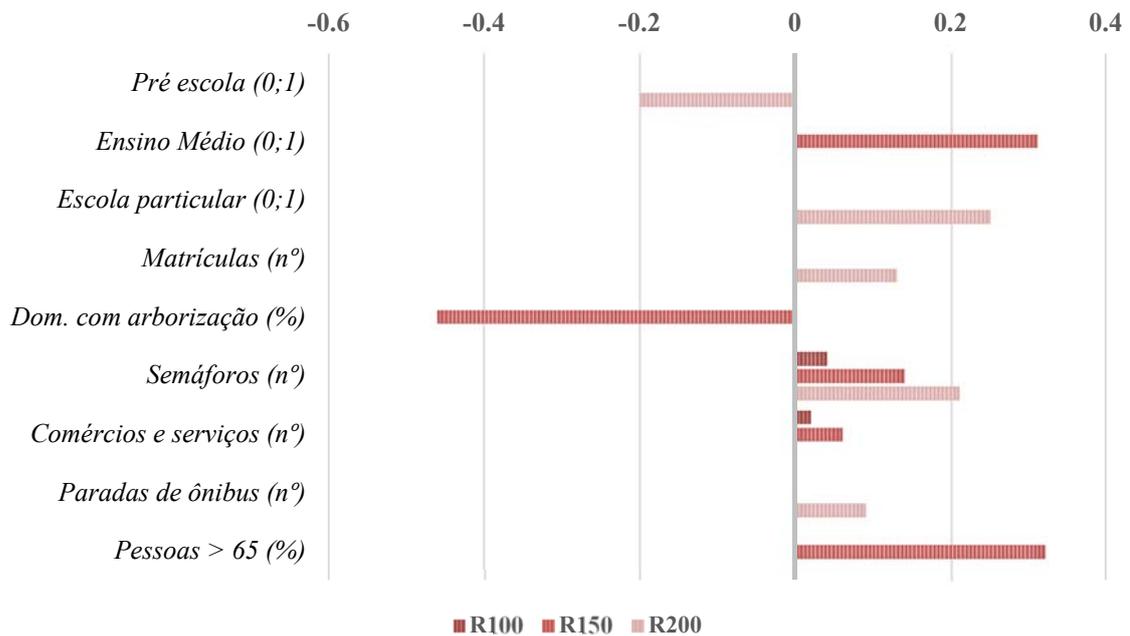
Entre as características da instituição escolar, a presença das modalidades *Ensino fundamental* e *Ensino médio* foram relacionadas, respectivamente, a menor e a maior frequência de acidentes. Nesse sentido, é necessário que o padrão de viagens relacionado aos tipos de ensino seja explorado, a fim de esclarecer as relações encontradas. Quanto a condições socioeconômica da escola, mensurada pela variável escola *Particular*, é possível inferir que maiores rendas estão relacionadas a maiores frequências de acidentes. Tipicamente, o aumento da renda está relacionado ao aumento da motorização, de forma que é esperado que esse tipo de instituição atraia maior volume veicular, e apresente maior frequência de acidentes. Como

esperado, o maior número de *Matrículas* foi relacionado à maior frequência de acidentes. Essa relação atua como indicadora de exposição ao risco, a medida que atrai usuários. Isso decorre, também, de ter sido adotada como critério de atribuição de acidentes próximos a mais de uma instituição – os quais foram relacionados às escolas mais atratoras de usuários.

Entre as características socioeconômicas, somente a parcela de idosos (*Pessoas > 65* anos) foi significativa. A parcela de residentes idosos no entorno escolar foi significativa para todas as áreas de análise e associado com maior frequência de acidentes. Discussões sobre essa relação não foram encontradas nos estudos revisados. No entanto, parece razoável que a maior presença de idosos no sistema, seja como motoristas, seja como pedestres, possa estar associado à maior ocorrência de acidentes. As possíveis perdas de habilidades inerentes do processo de envelhecimento podem atuar negativamente na segurança desses usuários do sistema.

4.1.2 Frequência de acidentes entre veículo e usuário vulnerável - *Veículo-UV*

O conjunto de modelos de frequência de acidentes entre um automóvel e ao menos um usuário vulnerável de modo ativo (BN4, BN5 e BN6) – *veículos-UV* – resultou em 9 variáveis explicativas, das quais, quatro se referem a estrutura urbana (*Dom. com arborização, Semáforos, Comércio e serviços e Paradas*), quatro à escola (*Pré-escola, Ensino médio, Particular e Matrículas*) e uma à população residente na área de análise (*Pessoas > 65*). Os respectivos impactos são ilustrados pela Figura 20.

Figura 20: Impactos na frequência de *Veículos-UV*

(fonte: elaborado pela autora)

Entre as variáveis significativas, quatro caracterizam a estrutura urbana, dentre as quais a de maior impacto e única que contribui com menores frequências, é a parcela de domicílios que dispõem de arborização em sua proximidade (*Dom. com arborização*) e que estão na área escolar, atuando como indicadora da arborização dessa área. Nesse sentido as evidências empíricas (EWING; DUMBAUGH, 2009) indicam que a arborização atua como fator de desestímulo ao aumento da velocidade, reduzindo o risco ao qual os usuários vulneráveis estão expostos. Naderi (2003) verificou redução entre 5% e 20% dos atropelamentos para vias (nos Estados Unidos e Canadá) com melhorias de paisagismo, dada a presença de arborização.

Quanto ao acesso ao transporte coletivo, o maior número de *Paradas de ônibus* foi relacionado à maior frequência de acidentes envolvendo veículo e usuário vulnerável. Nesse sentido, a proximidade de paradas atua como atratora de pedestres na área, que poderão estar expostos ao risco decorrente da motorização. Resultado semelhante foi obtido por Kim *et al.* (2010) em Honolulu (Hawaii), mas com maiores impactos dessa variável em análises separadas dos atropelamentos e dos acidentes entre veículo-ciclistas. Nesta análise, o aumento de uma unidade de parada de ônibus reflete o aumento de 0.09 na probabilidade de ocorrência de *acidentes veículo-UV*, enquanto o estudo prévio reporta aumento de 1.22 na probabilidade de ocorrer um atropelamento e 1.13 na de ocorrer um acidente entre veículo e ciclista. É possível

que a relação encontrada seja resultado do risco de exposição ao qual os usuários vulneráveis são expostos. Embora as evidências empíricas sugiram os benefícios em segurança viária decorrente do aumento do uso de modos sustentáveis – transporte coletivo e modos ativos (LITMAN; FITZROY, 2016), esses benefícios estão estreitamente relacionados à redução da motorização, mais especificamente à migração dos usuários de automóveis para modos mais sustentáveis.

Para as três áreas de análise, o aumento do número de *Semáforos* foi relacionado a mais *Acidentes veículo-UV*, essa relação é semelhante à reportada para os entornos escolares de Toronto (ROTHMAN, 2015), nos quais mais semáforos demonstraram contribuir com o aumento dos atropelamentos de crianças. Nesse sentido, embora os dispositivos semafóricos tenham a função de oportunizar a travessia, quando acompanhados de travessia demarcada de pedestres, sua presença está diretamente relacionada a pontos de conflitos, nos quais os usuários vulneráveis ficam expostos a mais veículos simultaneamente. Quanto à presença de *Comércios e serviços*, foi identificado o aumento da frequência de acidentes em entornos escolares com mais *Comércios e serviços*. Essa relação é semelhante à reportada por Zhang *et al.* (2015), que indica que o número de comércios está positivamente associado a frequência de acidentes envolvendo usuários ativos.

Em relação à presença de etapas escolares, a influência positiva da presença de *Ensino Médio*, já reportada para a frequência de *Acidentes totais*, é replicada para a frequência de acidentes *veículo-UV*. Adicionalmente, *Acidentes veículo-UV* foram relacionados à presença de *Pré-escola*. Nesse sentido, essa variável independente indica a atração de usuários entre 4 e 7 anos de idade, aqueles que são mais vulneráveis pelas habilidades cognitivas ainda se encontrarem em desenvolvimento. Relação semelhante foi reportada para áreas escolares por Clifton e Kremer-Fults (2007) na análise de atropelamentos em entornos escolares de Baltimore. Em relação à influência do número de matrículas, a relação esperada para a frequência de acidentes *veículo-UV* decorre daquela esperada para *Acidentes totais*: a atração de escolares atua como medida de exposição ao risco.

4.2 MODELOS DE SEVERIDADE DE ACIDENTES

Assim como a frequência de acidentes, a severidade de acidentes foi analisada pela estimação de seis modelos: três modelos *logit* ordenados para a severidade de *Acidentes totais*

e três para a severidade de *Acidentes veículo-UV*, conforme Quadro 7. Além do impacto positivo ou negativo fornecido pelo coeficiente estimado, os valores calculados de efeitos marginais em cada nível de severidade (Tabela 11 e Tabela 12) permitem a interpretação do modelo.

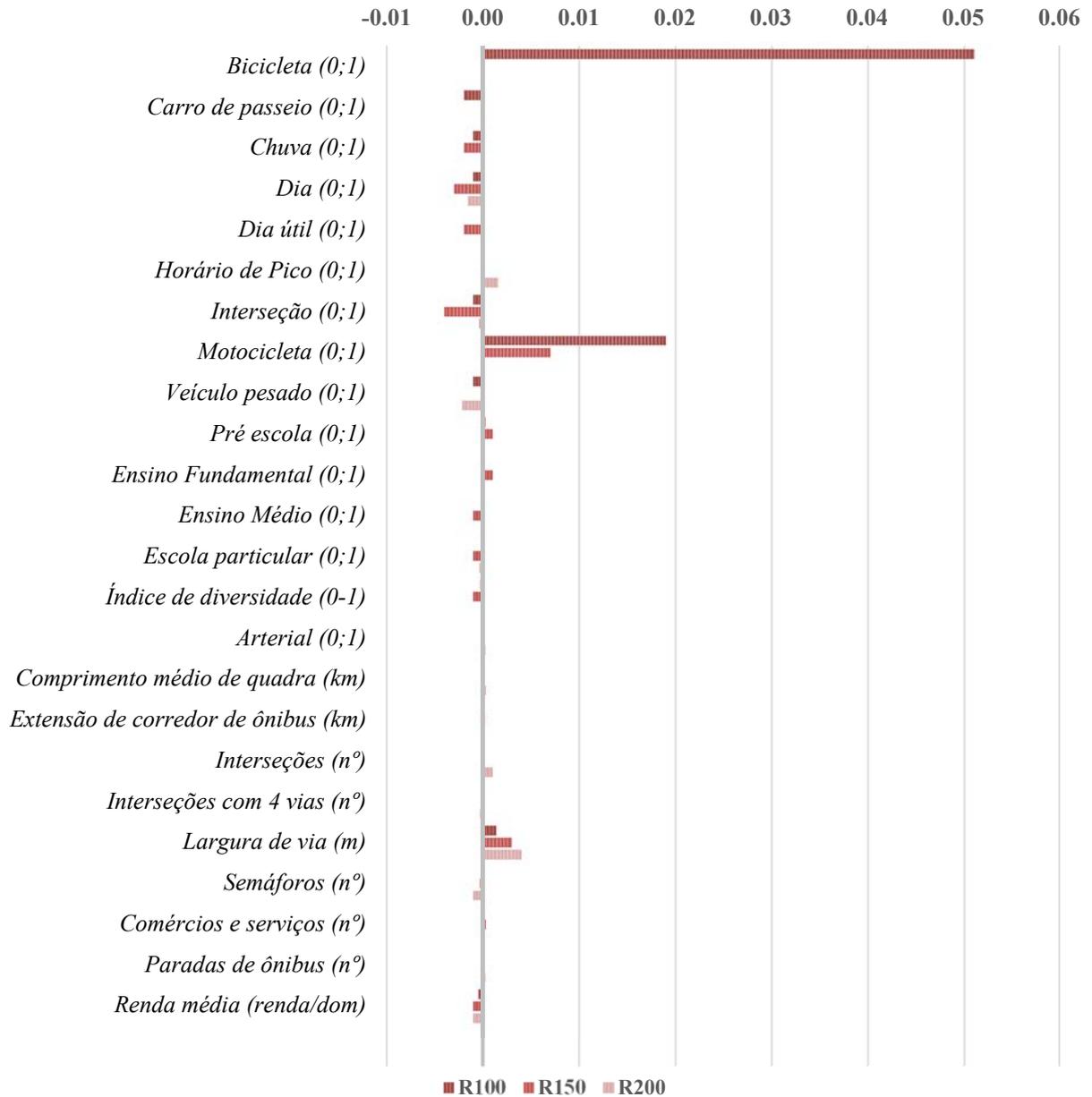
Quadro 7: Quadro síntese dos modelos de severidade de acidentes estimados

Modelos	Variável dependente	Área de análise (buffer)
<i>LO1</i>	Acidentes totais	100 metros
<i>LO2</i>	Acidentes totais	150 metros
<i>LO3</i>	Acidentes totais	200 metros
<i>LO4</i>	Acidentes entre veículo-usuário vulnerável	100 metros
<i>LO5</i>	Acidentes entre veículo-usuário vulnerável	150 metros
<i>LO6</i>	Acidentes entre veículo-usuário vulnerável	200 metros

(fonte: elaborado pela autora)

4.2.1 Severidade de acidentes totais – *Acidentes totais*

Os três modelos para a variável dependente severidade de *Acidentes totais* (LO1, LO2 e LO3), juntos, indicaram a influência de 24 variáveis, das quais: 10 são relativas à estrutura urbana (*Índice de diversidade, Arterial, Comprimento médio de quadra, Extensão de corredor de ônibus, Interseções com 4 vias, Largura de via, Semáforos, Comércio e serviços e Paradas de ônibus*); quatro à escola (*Pré-escola, Ensino Fundamental, Ensino Médio e Escola particular*); nove aos acidentes (*Bicicleta, Carro de passeio, Chuva, Dia, Dia útil, Horário de Pico, Interseção, Motocicleta, Veículo pesado*) e uma à condição socioeconômica da população residente das áreas de entorno escolar (*Renda média*). A magnitude do impacto na probabilidade da ocorrência de morte (*Sev3*) de cada variável é ilustrada na Figura 21.

Figura 21: Impactos na Sev3 (acidente com morte) de *Acidentes totais*

(fonte: elaborado pela autora)

Entre as 10 variáveis da estrutura urbana, seis mostraram contribuir com o aumento da severidade de acidentes: *Arterial*, *Comprimento médio de quadra*, *Extensão de corredor de ônibus*, *Largura de via*, *Comércios e serviços* e *Paradas de ônibus*. A classificação funcional da via do acidente (*Arterial*) atua como *proxy* do volume de tráfego e da velocidade desempenhada à medida que essas vias tendem a ser de maiores dimensões. A maior severidade para acidentes em vias arteriais já foi reportada especificamente para entorno escolar (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007) e também para outras análises (QUDDUS *et al.*,

2002). A *Largura de via* expressa informação semelhante – com o adicional de caracterizar também as vias de outras hierarquias. Quanto maior a *Largura de via*, maiores serão as velocidades de tráfego e maior a severidade dos acidentes que porventura ocorram (EWING; DUMBAUGH, 2009; NOLAND; OH, 2004). O impacto positivo dessa variável se reflete, principalmente, no nível *Sev2*, que indica vítima ferida.

O coeficiente positivo obtido para *Comprimento médio de quadra* reforça o conceito de que maiores severidades decorrem, principalmente, de maiores velocidades. Quadras mais longas distanciam as interseções e estimulam o aumento da velocidade, aumentando a probabilidade de acidentes severos. A observação dos efeitos marginais para os três níveis de severidade indica o maior impacto de coeficiente positivo na probabilidade de vítimas feridas. Nesse sentido, junto à densidade de *Interseções com 4 vias*, expressam a conectividade da estrutura urbana, para a qual a relação entre a severidade e velocidade é replicada. Por outro lado, o número de *Interseções* no entorno escolar apresentou coeficiente positivo, essa relação foi observada apenas no modelo para o raio de 200 metros. As magnitudes dos efeitos marginais estimados para essa variável demonstram que há maior impacto sobre o nível *Sev2* (acidente com feridos).

O entorno escolar com uso do solo mais diversificado foi relacionado a acidentes menos severos, dado o coeficiente negativo para a variável *Índice de diversidade*. Essa relação converge com a reportada por Chen e Shen (2016), pela análise simultânea do índice de entropia e da severidade de acidentes entre veículos e ciclistas. Já o coeficiente positivo obtido para *Comércios e serviços* indica que acidentes ocorridos em entornos com mais comércios e serviços tem maior probabilidade de terem vítimas feridas. Essa relação converge com a análise dos entornos escolares realizada em Batimore (EUA), na qual é reportado o aumento da severidade de atropelamentos para mais destinos acessíveis, mensurado pelo percentual de residências com acesso à comércios e serviços (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007). A diferença de coeficiente entre *Comércios e serviços* e *Índice de diversidade* sugere que é a combinação dos usos do solo residencial, industrial, comercial, de serviços e escolar que é capaz de reduzir a probabilidade de ferimentos e mortes. Embora ambas as mensurações sejam destinadas a representar dimensões diferentes da estrutura urbana – diversidade para o respectivo índice e destinos acessíveis para *Comércios e serviços* – elas têm sido reportadas por

mensurações semelhantes: com destaque para o uso do solo misto mensurado pelo percentual de área comercial (WEDAGAMA *et al.*, 2006).

O coeficiente negativo para a quantidade de *Semáforos* indica que áreas de entorno escolar com maior densidade de semáforos tem menor probabilidade de acidentes com vítimas feridas e mortas, resultado semelhante ao reportado por Chen e Shen (2016) para Seattle (EUA). Este resultado não surpreende, visto que a implantação de semáforos visa a diminuição de acidentes pela separação de conflitos. A extensão de via dedicada ao transporte coletivo (*Extensão de corredor de ônibus*) mostrou contribuir com o aumento da severidade de acidentes, demonstrando maior impacto na probabilidade de vítima ferida. Essa variável indica a presença de vias dedicadas, nas quais os veículos de transporte coletivo podem desempenhar maiores velocidades. Nesse sentido, acidentes expostos à maiores velocidades estão claramente relacionadas ao aumento da severidade.

O coeficiente positivo para a disponibilidade de transporte coletivo mostra que acidentes ocorridos em áreas escolares com maior número de *Paradas de ônibus* têm maior probabilidade de terem vítimas. É possível que essa relação decorra da maior diversidade de usuários atraídos para esses entornos. A literatura reporta resultado semelhante, no entanto, para a severidade de acidentes envolvendo usuários vulneráveis (ZAHABI *et al.*, 2011). Já especificamente no entorno escolar, a relação reportada é referente à atropelamentos e demonstra relação oposta, Clifton e Kreamer-Fults (2007) identificaram a redução da severidade para um entorno escolar com mais domicílios com acesso ao transporte coletivo em até 400 metros.

Dentre as variáveis que caracterizam a instituição escolar, os níveis escolares dedicados a alunos de idade abaixo dos 14 anos (*Pré-escola e Ensino Fundamental*), foram relacionados ao aumento da severidade. Enquanto que a presença de ensino voltando a faixa etária de 15 a 17 anos, o *Ensino médio*, foi relacionado à menor severidade. Já a variável *Escola Particular*, que pode ser relacionada à renda dos estudantes, foi relacionada à acidentes menos severos. Essa relação é reforçada pelo coeficiente negativo estimado para a *Renda média* – condição socioeconômica dos domicílios de entorno – indicando que acidentes mais severos estão relacionados a menores rendas.

Analisando as características do acidente, os coeficientes obtidos para *Veículo pesado*, *Horário de Pico*, e *Interseção* indicam que acidentes envolvendo veículos pesados, fora do

horário de pico e em interseções têm menor probabilidade de apresentarem feridos e mortos do que unicamente danos materiais, ou seja, são mais propensos a acidentes de menor severidade. Veículos mais resistentes ao choque reduzem a incidência de lesões em seus passageiros (DUMBAUGH; RAE, 2009), no entanto, são necessárias ressalvas, sendo que os veículos que melhor protegem seus passageiros são também aqueles que de alta agressividade em relação aos usuários mais desprotegidos (MÉNDEZ *et al.*, 2010).

Já a relação positiva para acidentes em *Horário de Pico*, se compreendida em relação às possíveis velocidades desempenhadas, é oposta àquela esperada. Diante das condições de baixas velocidades observadas em congestionamentos, seriam esperados acidentes menos severos. A partir desse mesmo pressuposto, foi conduzida análise dedicada a identificar as possíveis diferenças de severidade impostas para períodos congestionados e não congestionados, para a os resultados não foram claros ou conclusivos (NOLAND; QUDDUS, 2005). Ao mesmo tempo que esses horários tendem a concentrar os congestionamentos de veículos, tendem a concentrar mais viagens de todos os modos, oportunizando conflitos entre diferentes usuários, o que também pode contribuir com o aumento da severidade. Nesse sentido, essas relações ainda necessitam ser melhor exploradas.

A magnitude dos efeitos marginais para *Interseção* indica, para os três raios de análise, maiores efeitos no nível *Sev1*, indicando contribuição para a ausência de vítimas. A literatura reporta que, quando em interseções controladas, os acidentes são tipicamente menos graves do que em outros locais (MOORE *et al.*, 2011). Este resultado pode estar relacionado ao desenvolvimento de menores velocidades, provocando acidentes menos severos. Esta relação é claramente reportada na literatura (ABAY, 2013; NOLAND; QUDDUS, 2005).

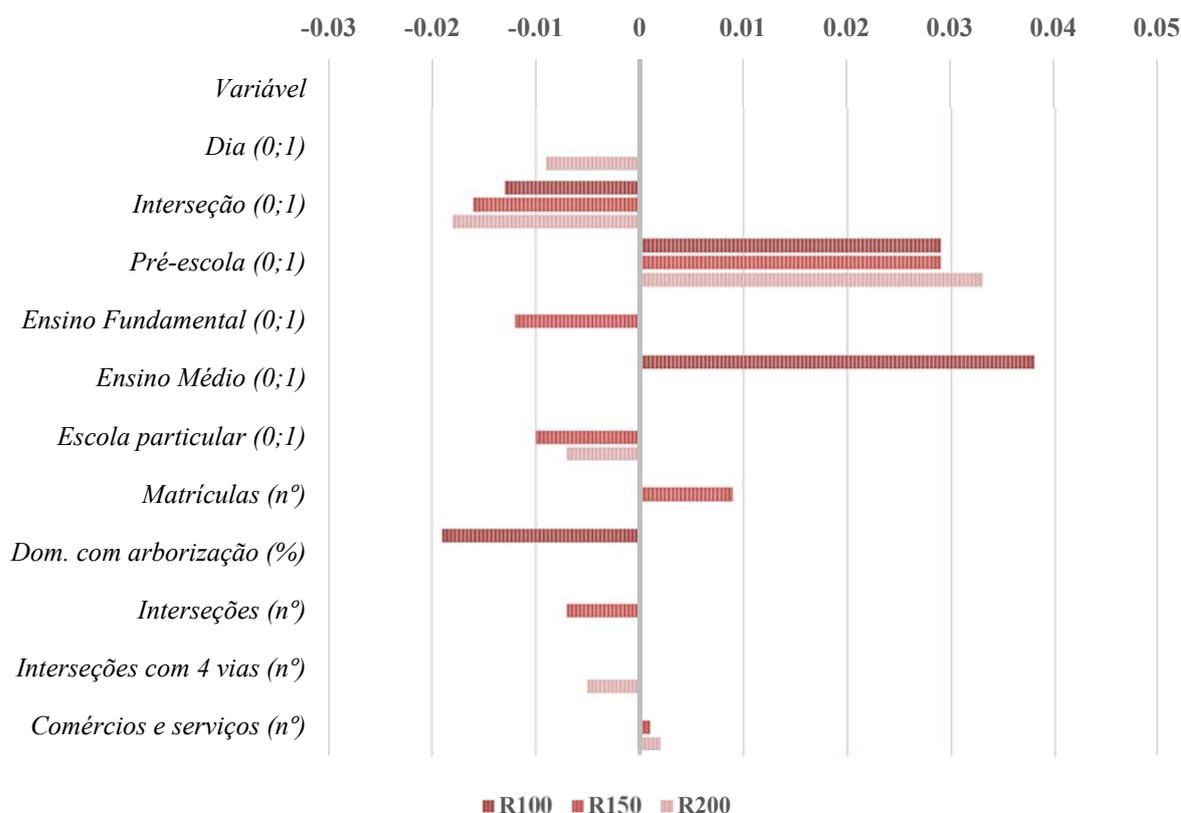
Em relação às condições ambientais no momento do acidente, a ocorrência de *Chuva* e horários que caracterizam a luz solar natural (*Dia*) foram relacionadas à acidentes menos severos. Embora dias chuvosos sejam afetados por condições de difícil visibilidade, é esperada a compensação do risco adicional pelo comportamento mais prudente do usuário (ELVIK, 2006), levando a redução da velocidade. Já os acidentes ocorridos de noite têm sido associados a maiores velocidades, fadiga e visibilidade reduzida. Nesse sentido, acidentes ocorridos em condições naturais de iluminação apresentam menor severidade (RIFAAT *et al.*, 2011; YASMIN *et al.*, 2014).

Acidentes ocorridos fora do final de semana (*Dia útil*) têm a probabilidade de serem menos severos. Essa relação já foi reportada na literatura para a severidade de acidentes com motociclistas em Singapura (QUDDUS *et al.*, 2002). A presença de *Motocicleta* no acidente foi relacionada a maior severidade. Essa relação é esperada, de modo que esses usuários são os mais vulneráveis dentre os motorizados.

A presença de *Bicicleta* no acidente foi relacionada ao aumento da severidade dos *Acidentes totais*. Essa relação reafirma a maior severidade esperada para acidentes que envolvem usuários vulneráveis ativos, o que tem motivado as análises dedicadas a esses. Já os acidentes envolvendo *Carro de passeio*, foram relacionados à redução da severidade dos acidentes.

4.2.2 Severidade de acidentes entre veículo e usuário vulnerável – *Acidentes veículo-UV*

A análise da severidade de *Acidentes veículo-UV* permitiu a observação da influência de 12 variáveis para o conjunto de modelos estimados (LO4, LO5 e LO6). Dentre essas, quatro são características da estrutura urbana (*Dom. com arborização, Interseções, Interseções com 4 vias e Comércio e serviços*), cinco caracterizam a escola (*Pré-escola, Ensino Fundamental, Ensino Médio, Escola particular, Matrículas*), duas os acidentes (*Dia e Interseção*) e *Pessoas > 4-17* a população residente nas áreas de análise. A Figura 22 ilustra a magnitude dos efeitos marginais na *Sev3* (acidente com morte).

Figura 22: Impactos na *Sev3* (acidente com morte) de *Acidentes veículo-UV*

(fonte: elaborado pela autora)

Entre as variáveis da estrutura urbana, a parcela de domicílios que dispõem de arborização em sua proximidade (*Dom. com arborização*) é a de maior impacto na redução da severidade, com coeficiente de 0.018 para o nível *Sev1*, que indica ausência de feridos. Até então, não foi verificada relação semelhante reportada na literatura em relação à severidade de acidentes. Já em modelos de frequência de acidentes essa relação já foi encontrada e reportada, conforme descrito no item 4.1.2. Os resultados são atribuídos por essa característica desestimular ao aumento de velocidade, relação que sustenta a coerência para a relação encontrada para a severidade de acidentes *veículos-UV*: áreas mais arborizadas tendem a apresentar acidentes menos severos.

Mais *Interseções com 4 vias*, assim como para a severidades em *Acidentes Totais*, em relação a *Acidentes veículo-UV*, também apresentou coeficiente negativo. Os efeitos marginais indicam que um aumento nas interseções de quatro aproximações reduz a probabilidade de acidentes com morte e aumenta a de acidentes com danos materiais. Vias com *Interseções de 4 vias* estimulam a realização de viagens a pé e de bicicleta, aumentando a exposição de usuários

vulneráveis, mas ao mesmo tempo podem implicar velocidades menores, o que pode explicar a diminuição de mortes, pois as velocidades desenvolvidas não são tão significativas. Essa variável tem sido utilizada para mensurar a conectividade da malha viária. A relação entre conectividade e severidade coincide com a reportada por Zahabi *et al.* (2011) para atropelamento, quando a conectividade foi mensurada pela relação entre interseções totais e *cul-de-sacs*. No entanto, esse mesmo estudo reporta relação contrária para acidentes entre veículo e ciclista.

Quanto à influência negativa do número de *Interseções* na severidade de *Acidentes veículo-UV* – influência contrária daquela observada para a *Acidentes totais* – nesse caso, é possível que essa variável, da mesma forma que *Interseções com 4 vias*, indique maior oportunidade de travessia controlada.

Em relação à *Comércios e serviços*, os resultados mostram que um aumento no número de comércios e serviços no entorno, reduz a probabilidade de acontecer acidentes só com danos materiais e feridos, mas aumenta a probabilidade de acidentes com morte. Analisando as magnitudes dos efeitos marginais dessa variável, pode-se afirmar que o impacto é muito maior na severidade com morte (0.002). A presença de comércios e serviços estimula a realização de viagens a pé (EWING; CERVERO, 2010), possivelmente, aumentando a exposição ao risco de usuários vulneráveis.

Em relação às características das escolas, todas as variáveis candidatas foram estatisticamente significativas. Análogo aos resultados obtidos para a severidade de *acidentes totais*, os entornos de escolas particulares são associados à menores severidades de acidentes, assim como a presença de *Pré-escola*. Já a presença da etapa de *Ensino fundamental*, foi associada à redução da severidade, enquanto a presença de *Ensino médio* foi associada ao aumento da severidade. Relações opostas as dos modelos para a severidade de *acidentes totais*.

A condição *Particular* da escola parece contribuir para que os acidentes sejam menos severos. A interpretação é semelhante à apresentada na seção anterior. As variáveis que apresentaram maiores impactos foram *Interseção* e *Interseção 4 vias*. Estas variáveis são variáveis críticas na severidade de acidentes envolvendo usuários vulneráveis. Adicionalmente, o número de *Matrículas* foi variável explicativa positiva, indicando o aumento da severidade, principalmente o nível de acidentes mais severos (*Sev3*), que indica acidente fatal.

As variáveis significativas relativas ao momento e local do acidente, *Dia* e *Interseção*, mostraram contribuição com a redução da severidade de *acidentes veículo-UV*. Assim como em relação à severidade de *acidentes totais*, acidentes ocorridos em condições de maior visibilidade apresentam menor severidade. Essa relação foi, também, reportada em relação a atropelamentos (YASMIN *et al.*, 2014). A variável *Interseção*, significativa nos três modelos, apresentou efeitos marginais negativos para acidentes com feridos e mortes e positivo para danos materiais (*Sev1*), sendo o impacto superior na medida que diminui a severidade. Esse resultado mostra que acidentes ocorridos em interseções estão associados à menor severidade, resultado análogo ao encontrado no modelo para o total de acidentes. Provavelmente, essa relação decorra das menores velocidades.

A parcela de residentes em idade escolar (*Pessoas 4-17*) no entorno das instituições analisadas mostrou o maior impacto na probabilidade de acidente com morte (*Sev3*) para *Acidentes veículo-UV*. Essa variável indica que é provável que mais usuários vulneráveis – em condições de desenvolvimento cognitivo – estejam expostos ao risco. Variável semelhante foi incluída na análise de atropelamentos dos entornos escolares de Baltimore com o objetivo de indicar a exposição desses usuários, no entanto, a variável não se mostrou estatisticamente significativa (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007).

4.3 CONJUNTO DE MODELOS ESTIMADOS

A comparação dos AIC indica que a mensuração das variáveis para a menor área analisada (100 metros) permitiu a estimação de modelos de melhor ajuste. Para menores raios são observadas mais variáveis relativas ao acidente (para modelos de severidade) e às escolas (para o raio de 150 metros) em comparação com os modelos de áreas um pouco maiores, conforme resume a Tabela 13. O contrário é observado para as variáveis da estrutura urbana: no geral, mais variáveis significativas observadas para áreas maiores. Nesse sentido, esta análise se beneficiou da análise conjunta das áreas dadas pelos três raios de *buffer*, com destaque para os modelos estimados para o raio de 150 metros. Ao mesmo tempo que os modelos estimados para o entorno de raio 150 metros tiveram AIC intermediários, relacionaram o maior número de variáveis de todos os tipos.

Tabela 13: Resumo de quantidade de variáveis incluídas nos modelos de diferentes áreas

<i>buffers</i>	<i>Quantidade de variáveis significativas</i>		
	<i>R100</i>	<i>R150</i>	<i>R200</i>
Acidente			
<i>LO1; LO2; LO3</i>	9	6	4
<i>LO4; LO5; LO5</i>	1	1	2
Escola			
<i>BN1; BN2; BN3</i>	1	5	2
<i>BN4; BN4; BN6</i>		1	3
<i>LO1; LO2; LO3</i>	1	4	1
<i>LO4; LO5; LO5</i>	1	4	4
Estrutura urbana			
<i>BN1; BN2; BN3</i>	5	6	4
<i>BN4; BN4; BN6</i>	2	3	2
<i>LO1; LO2; LO3</i>	3	5	7
<i>LO4; LO5; LO5</i>	1	2	2
Socioeconômica			
<i>BN1; BN2; BN3</i>	1	1	1
<i>BN4; BN4; BN6</i>		1	
<i>LO1; LO2; LO3</i>	1	1	1
<i>LO4; LO5; LO5</i>		1	1

(fonte: elaborado pela autora)

Entre as variáveis modeladas relativas à estrutura urbana (Quadro 8), quatro variáveis foram significativas para explicar, simultaneamente, a frequência e da severidade de *Acidentes totais*: *Comprimento médio de quadra*, *Semáforos*, *Comércios* e *Serviços* e *Paradas de ônibus*. A estrutura urbana com quadras mais longas – característica da estrutura urbana menos conectada – e com mais destinos acessíveis (atraindo mais usuários e aumentando a exposição ao risco) foram relacionados ao aumento da frequência e da severidade dos *Acidentes totais*. Enquanto que a quantidade de *Semáforos* apresentou coeficientes opostos, positivo para a frequência e negativo para a severidade. Nesse sentido, apesar do aumento da frequência estar relacionado à maior quantidade de *Semáforos* esses acidentes tendem a ser menos severos. Embora esses dispositivos sejam dedicados a reduzir os conflitos de tráfego e oportunizar a travessia segura de pedestres, sua presença também está associada às interseções de maior porte, nas quais é possível que mais usuários estejam expostos ao risco.

Em relação a severidade de *Acidentes veículo-UV*, os entornos escolares mais arborizados (*Dom. com arborização*) contribuem com a redução da frequência e da severidade de acidentes, enquanto mais destinos acessíveis de *Comércios e serviços* atraem mais usuários e aumentam

de forma geral a exposição ao risco, impactando o aumento da frequência e severidade de acidentes entre veículos e usuários vulneráveis ativos e de acidentes totais.

Quadro 8: Resumo dos coeficientes para as características da estrutura urbana

Variável	Frequência		Severidade	
	Acidentes Totais	Acidentes veículo-UV	Acidentes Totais	Acidentes veículo-UV
Índice de diversidade (0–1)	+		–	
Arterial (0;1)			+	
Dom. com arborização (%)		–		–
Comprimento médio de quadra (km)	+		+	
Extensão de corredor de ônibus (km)			+	
Interseções (n°)			+	–
Interseções com semáforo (%)	+			
Parcela de extensão de vias arteriais (%)	+			
Interseções com 4 vias (n°)			–	–
Largura de via (m)			+	
Semáforos (n°)	+	+	–	
Comércios e serviços (n°)	+	+	+	+
Escolas (n°)	–			
Paradas de ônibus (n°)	+	+	+	

(fonte: elaborado pela autora)

O resultado da inclusão de variáveis binárias *dummy* é resumido pelo Quadro 9, indicando influências positivas e negativas em diferentes variáveis dependentes.

Quadro 9: Resumo dos coeficientes para as características das escolas

Variável	Frequência		Severidade	
	Acidentes Totais	Acidentes veículo-UV	Acidentes Totais	Acidentes veículo-UV
Pré escola (0;1)		–	+	+
Ensino Fundamental (0;1)	–		+	–
Ensino Médio (0;1)	+	+	–	+
Escola particular (0;1)	+	+	–	–
Matrículas (n°)	+	+		+

(fonte: elaborado pela autora)

A inclusão de etapas escolares já foi realizada na análise da severidade de acidentes de entornos escolares em Baltimore, na qual a presença de escola elementar (equivalente à pré-escola) foi variável significativa e positiva (CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007). No referido estudo essa relação não foi atribuída a uma condição especial. Nesse mesmo sentido, esta análise não é suficiente para que sejam assumidas respostas sobre a influência dos níveis escolares na frequência e na severidade de acidentes. Já em relação ao número de *Matrículas*, variável diretamente relacionada à atração de usuários no entorno escolar e – assumida por este trabalho como critério de atribuição de acidentes para aqueles próximos a mais de uma instituição de educação básica – a influência é claramente positiva na frequência e na severidade. Os coeficientes contrários para a condição *Particular*, sendo positivo para as frequências e negativo para as severidades, pode estar relacionada a maiores índices de motorização nesses entornos e priorização do acesso à escolha por veículos motorizados. Visto que, a opção pelo transporte motorizado ainda é fortemente relacionada às condições de renda.

Incluídas exclusivamente nos modelos de análise da severidade de acidentes, dada a maior desagregação dos dados possibilitada pela técnica de modelagem, as variáveis relativas ao acidente, em maioria, somam-se às evidências já reportadas na literatura. Em relação a severidade de *Acidentes totais*, os acidentes tendem a ser mais graves quando há usuários mais desprotegidos fisicamente (bicicleta e motocicleta). Tendem a ser menos severos quando ocorrem para carros de passeio ou veículos mais pesados – dada a proteção veicular concedida ao passageiro. São, também, menos severos em condições naturais de iluminação, ou mesmo em dias chuvosos, nos quais a redução de visibilidade pode induzir a redução da velocidade. Já os horários de pico, que tendem a concentrar congestionamentos, podem ser mais influenciados pelo aumento de conflitos entre usuários que pelas reduções de velocidade sugeridas pela literatura (NOLAND; QUDDUS, 2004).

Nesse contexto, a influência conjunta na redução da severidade de *Acidentes Totais* e *veículo-UV* é dada somente pelas condições naturais de iluminação (*Dia*) e pela localização do acidente em uma interseção, possivelmente devida a influência do controle dessa na redução da velocidade. O Quadro 10 resume esses resultados.

Quadro 10: Resumo dos coeficientes para as características dos acidentes na severidade

Variável	Acidentes Totais	Acidentes veículo-UV
<i>Bicicleta (0;1)</i>	+	
<i>Carro de passeio (0;1)</i>	-	
<i>Chuva (0;1)</i>	-	
<i>Dia (0;1)</i>	-	-
<i>Dia útil (0;1)</i>	-	
<i>Horário de Pico (0;1)</i>	+	
<i>Interseção (0;1)</i>	-	-
<i>Motocicleta (0;1)</i>	+	
<i>Veículo pesado (0;1)</i>	-	

(fonte: elaborado pela autora)

Enquanto a maior parcela de população idosa foi relacionada ao aumento da frequência de acidentes, a maior parcela de população em idade escolar mostrou influenciar o aumento da severidade de acidentes envolvendo usuários ativos, conforme resume o Quadro 11.

Quadro 11: Resumo dos coeficientes para as características socioeconômicas

Variável	Frequência		Severidade	
	Acidentes Totais	Acidentes veículo-UV	Acidentes Totais	Acidentes veículo-UV
<i>Renda média (renda/dom)</i>			-	
<i>Pessoas 4-17 (%)</i>				+
<i>Pessoas > 65 (%)</i>	+	+	+	+

(fonte: elaborado pela autora)

5 CONCLUSÕES

Garantir que os entornos escolares disponham de estrutura urbana segura e orientada a modos ativos é a principal estratégia para reestabelecer a mobilidade independente dos escolares. A independência de viagens foi perdida à medida que o crescimento da motorização impôs maiores riscos aos usuários ativos, aos quais os escolares – naturalmente vulneráveis por suas funções cognitivas em formação – passaram a estar ainda mais expostos que os demais usuários. A partir dos diversos esforços no cenário internacional para reestabelecer a mobilidade independente e a segurança viária dos entornos escolares – em destaque pelas experiências com os *Safe Route to Schools* – evidenciam-se os benefícios decorrentes das medidas de moderação de tráfego e da redução da velocidade. Esses resultados corroboram com as evidências empíricas e teóricas: a estrutura urbana, através da influência no volume, conflitos e velocidades de tráfego influenciam a frequência e a severidade de acidentes.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de identificar os principais fatores que influenciam a frequência e a severidade dos acidentes ocorridos no entorno de escolas de educação básica de Porto Alegre. Assim, a partir do geoprocessamento de dados disponíveis nas bases municipais, foram extraídas variáveis relativas ao acidente, à estrutura urbana, à instituição escolar e às condições socioeconômicas da população residente no entorno. Descartada a aplicabilidade da principal área reportada na literatura, circular e dada pelo raio de 400 metros, tornou-se relevante a identificação da área de entorno que viabilizasse esta análise. Nesse sentido, as diversas variáveis foram obtidas para os raios de 100, 150 e 200 metros.

A análise do entorno escolar foi abordada pela inclusão das variáveis que caracterizam a estrutura urbana nas dimensões 5Ds: densidade, diversidade, desenho urbano, distância ao transporte coletivo e destinos acessíveis. Isso se deve às múltiplas evidências da influência dessas características na moderação da demanda de viagens, aliadas ao fato de esse ser o assunto mais fortemente estudado em planejamento urbano (EWING; CERVERO, 2010). A abordagem da segurança viária a partir dos aspectos físicos influentes na moderação da demanda de viagens, permite que sejam alinhados os objetivos: desenvolvimento de cidades com mobilidade segura e sustentável. Nesse sentido, o aumento da opção por modos ativos – e mais sustentáveis – precisa ser acompanhada da mitigação dos riscos aos quais seus usuários são

expostos. Esses riscos decorrem, principalmente, da motorização e faz com que os usuários de modos ativos sejam *usuários vulneráveis*. Essa mudança visa romper os ciclos estabelecidos pela mobilidade orientada pelo e para o automóvel e resulta em: maiores volumes, distâncias e velocidades, que resultam em maiores frequências e severidades de acidentes.

A análise da frequência de acidentes foi conduzida pela aplicação de modelo binomial negativo, dada a sobredispersão dos dados – fenômenos estatísticos tipicamente observados para dados de acidentes. O cálculo dos efeitos marginais contribuiu com os objetivos deste trabalho, à medida que possibilitou a interpretação dos impactos das variáveis independentes significativas na frequência de acidentes totais e de acidentes entre veículos e usuários vulneráveis ativos.

A análise da severidade foi conduzida com a aplicação de modelo logístico ordenado, de variável dependente ordinal de três níveis: acidentes com danos materiais, com ferido e com morte. Assim como já reportado em ampla revisão das técnicas de análise de severidade (ABAY, 2013; MANNERING; BHAT, 2014), essa técnica mostrou-se adequada, também, nesta análise. Os bons ajustes obtidos para as estimações e a capacidade do modelo de incluir variáveis essenciais para esta análise, como as da estrutura urbana, indicaram que a aplicação de modelos ordenados na modelagem da severidade foi apropriada. Para esses modelos, o cálculo dos efeitos marginais permitiu a observação dos impactos das variáveis explicativas nos três diferentes níveis de severidade.

Foi identificada a influência de coeficientes opostos para frequência e para a severidade de acidentes de mesmo grupo de variável dependente. Como por exemplo, a relação observada para o número de *Semáforos* em relação a *Acidentes totais*, que indica que apesar do aumento da frequência estar relacionado à maior quantidade de *Semáforos*, esses acidentes tendem a ser menos severos. De modo semelhante, também a condição *Particular* da escola difere quanto a influência para a frequência e severidade: influenciando o aumento da frequência de *Acidentes totais* e *Acidentes veículo-UV*, mas contribuindo para que sejam menos severos. Esses resultados sugerem que há maiores benefícios em analisá-las em conjunto, do que individualmente. Nesse sentido, o planejamento urbano e de transportes pautado no desenvolvimento seguro e sustentável pode se beneficiar das análises da acidentalidade para os resultados simultâneos em relação à frequência e a severidade.

Em relação ao objetivo específico desta análise, a comparação dos modelos estimados para as diferentes áreas de 100, 150 e 200 metros foi realizada pelos AIC e pelas inferências que os modelos permitiram. Os melhores ajustes (menores AIC), tanto para frequência, como para a severidade e para ambas as variáveis dependentes (*Acidentes totais* e *Acidentes veículo-UV*) foram observados para o raio de 100 metros. No entanto, diante do objetivo de compreender, principalmente a influência da estrutura urbana na acidentalidade no entorno de instituições escolares, não é possível indicar, exclusivamente, a análise na área de *buffer* de 100 metros de raio como a mais adequada. Isso decorre da baixa capacidade de incluir variáveis da estrutura urbana observada nos modelos estimados para essa área em relação as demais áreas, um pouco maiores. Portanto, o conjunto de análises realizadas sugere que a escolha da área de análise se dê pelo *trade-off* entre ajuste e quantidade de variáveis da estrutura urbana. Nesse contexto, isso levaria a seleção da área dada pelo *buffer* de 150 metros.

Variáveis que são conhecidas na literatura pelo seu potencial de incentivar as viagens ativas foram relacionadas ao aumento da frequência (*Índice de diversidade*) ou da frequência e da severidade, como *Paradas de ônibus* e *Comércios e serviços* (exceto para severidade de *acidentes veículo-UV*). Esse resultado é semelhante ao reportado na ampla análise da relação da influência da estrutura urbana, simultaneamente, na caminhabilidade e na acidentalidade em Toronto (ROTHMAN, 2015). Para Porto Alegre, esse resultado indica que, o desenvolvimento da mobilidade ativa a partir da influência da estrutura urbana direcionada a esses usuários deve ser simultâneo a real redução do risco de exposição imposto pelos altos índices de motorização.

Este trabalho não dispôs de coletas de volume de tráfego suficientes para que fossem aplicáveis nesta análise. A inclusão de variáveis indiretas – como hierarquia viária e largura de via – reafirmaram o potencial dessas variáveis atuarem como *proxy* do volume de tráfego. Portanto, a inclusão dessas variáveis consiste em abordagem alternativa e, eventualmente, mais viável para cidades com dados de qualidade e quantidade insuficientes de volume de tráfego. Ainda assim, pesquisas futuras poderiam incluir, simultaneamente, as variáveis da estrutura urbana, que indiretamente afetam a exposição ao risco e o volume de tráfego – uma variável direta de exposição ao risco.

É possível que a inclusão de características socioeconômicas e de preferência de viagens dos escolares, pais e funcionários das escolas permitam melhor compreensão dos diferentes impactos das etapas escolares na frequência e severidade de acidentes. Sugere-se também, que

há significativas contribuições em análises da acidentalidade a partir de dados de acidentes auto reportados pelos escolares, pais e funcionários das instituições.

Dado o contínuo desenvolvimento das questões metodológicas envolvidas na análise da severidade, trabalhos futuros poderiam replicar esta análise em relação a severidade de acidentes fazendo uso de modelos não ordenados ou mistos. Nesse sentido, a aplicação combinada de modelos ordenados e não ordenados possibilita a comparação entre as técnicas e contribui com evidências empíricas para o estado da arte.

BIBLIOGRAFIA

AASHTO. **Highway Safety Manual**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 2010.

ABAY, K. A. Examining pedestrian-injury severity using alternative disaggregate models. **Research in Transportation Economics**. v. 43, n. 1, p. 123–136, 2013.

ABDEL-ATY, M. Analysis of driver injury severity levels at multiple locations using ordered probit models. **Journal of Safety Research**. v. 34, n. 5, p. 597–603, 2003.

ABDEL-ATY, M. *et al.* Geo-spatial and log-linear analysis of pedestrian and bicyclist crashes involving school-aged children. **Journal of Safety Research**. v. 38, p. 571–579, 2007.

AHLPORT, K. N. *et al.* Barriers to and facilitators of walking and bicycling to school: formative results from the non-motorized travel study. **Health Education & Behavior**. v. 35, n. 2, p. 221–244, 2006.

AKAIKE, H. **Information theory and an extension of the maximum likelihood principle**. In B.N. Petrov and F. Csaki (Eds.), Second international symposium on information theory. Budapest: Academiai Kiado, 1973.

ANASTASOPOULOS, P. C.; MANNERING, F. L. An empirical assessment of fixed and random parameter logit models using crash- and non-crash-specific injury data. **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, n. 3, p. 1140–1147, 2011.

ANDREOU, M. **Planning for pedestrian safety around schools**. University of New South Wales, 2010.

APPLEYARD, B. S. Safe Routes to School: Planning Safe Routes to School. **Planning Magazine**. May 2003. Disponível em <<http://www.saferoutestoschools.org/Pressroom/PlanningSRTS.shtml>>. Acesso em 29 maio 2016.

BARBATO, C. M. L.; RAIJA JUNIOR, A. A. Percepção de segurança de trânsito em PGV-escola usando ferramenta multicritério. In: Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 24, 2010, Salvador. **Anais...** Salvador: ANPET, 2010.

BEN-AKIVA, E.; LERMAN, R. **Discrete choice analysis: theory and application to travel demand**. Massachusetts: MIT Press, 1985.

BHAT, C. R.; ELURU, N. A copula-based closed-form binary logit choice model for accommodating spatial correlation across observational units. Transportation Research Board Annual Conference, 88, 2008, Washington D.C. **Anais...** Washington D.C: Transportation Research Board. 2009.

BIERLAIRE, M. Biogeme: a free package for the estimation of discrete choice models, In: Swiss Transportation Research Conference, 3, 2003. **Anais...** Ascona, Switzerland. 2003.

- BILLINGSLEY, S. *et al.* **Goals for change, partners for action goals for action annual report 2015**. 2015.
- BLACK, C. *et al.* Encouraging walking: the case of journey-to-school trips in compact urban areas. **Urban Studies**. v. 38, n. 7, p. 1121–1141, 2001.
- BLAZQUEZ, C. A.; CELIS, M. S. A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. **Accident Analysis and Prevention**. v. 50, p. 304–311, 2013.
- BOARNET, M. G. *et al.* Evaluation of the California safe routes to school legislation: urban form changes and children's active transportation to school. **American Journal of Preventive Medicine**. v. 28, n. 2, p. 134–140, 2005.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei n. 12.796, de 4 de abril de 2013. Alteração da Lei n.9394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, para dispor sobre formação dos profissionais da educação e dar outras providências. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12796.htm>. Acesso em: 1 junho 2016.
- BRASIL. Saiba como é a divisão do sistema de educação brasileiro. **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais**. 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/educacao/2014/05/saiba-como-e-a-divisao-do-sistema-de-educacao-brasileiro/image_view_fullscreen>. Acesso em: 08 julho 2016.
- BROBERG, A. *et al.* Physical environmental characteristics promoting independent and active transport to children's meaningful places. **Applied Geography**. v. 38, n. 1, p. 43–52, 2013.
- BUCKLEY, A. *et al.* Evaluating safe routes to school events that designate days for walking and bicycling. **Transport Policy**. v. 30, p. 294–300, 2013.
- BULIUNG, R. N. *et al.* G. Active school transportation in the greater Toronto area, Canada: an exploration of trends in space and time (1986-2006). **Preventive Medicine**. v. 48, n. 6, p. 507–512. 2009.
- BUNN, F. *et al.* Traffic calming for the prevention of road traffic injuries: systematic review and meta-analysis. **Injury Prevention**. v. 9, n. 3, 2003.
- CENTER FOR ACTIVE DESIGNER. **Vision Zero**: Learning from Sweden's successes. 2013. Disponível em: <<https://centerforactivedesign.org/visionzero>>. Acesso em 24 de agosto de 2016.
- CDC. Barriers to Children Walking to or From School. **MMWR**. v. 54, n. 38, p. 949-952. United States, Sept, 2005. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm5438a2.htm>>. Acesso em 27 de maio de 2016.
- CERVERO, R. *et al.* Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogotá. **International**

Journal of Sustainable Transportation. v. 3, n. 4, p. 203–226, 2009.

CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3ds : density, design and diversity. **Transportation Research Part C: emerging technologies.** v. 2, n. 3, p. 199–219, 1997.

CHAUFAN, C. *et al.* The safe routes to school program in California: an update. **American Journal of Public Health.** v. 102, n. 6, p. 8–11, 2012.

CHEN, P.; SHEN, Q. Built environment effects on cyclist injury severity in automobile-involved bicycle crashes. **Accident Analysis and Prevention.** v. 86, p. 239–246, 2016.

CHRIQUI, J. F. *et al.* The impact of state safe routes to school-related laws on active travel to school policies and practices in U.S. elementary schools. **Health and Place.** v. 18, n. 1, p. 8–15, 2012.

CLIFTON, K. J.; KREAMER-FULTS, K. An examination of the environmental attributes associated with pedestrian-vehicular crashes near public schools. **Accident Analysis and Prevention.** v. 39, n. 4, p. 708–715, 2007.

CUNTO, F. J. C. *et al.* Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de fortaleza. **Transportes.** v. 20, n. 2, p. 55–62, 2012.

CURTIS, C. *et al.* Built environment and children’s travel to school. **Transport policy.** v. 42, p. 21–33, 2015.

DANISH ROAD SAFETY COMMISSION. **Every Accident is One too Many - a Shared Responsibility.** The Danish Road Safety Commission National Action Plan 2013-2020, 2013.

DATASUS. Mortalidade Brasil dados preliminares. **Ministério da Saúde.** 2015. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sim/cnv/pobt10br.def>> Acesso em 24 maio 2016.

DIMAGGIO, C. *et al.* Timing and effect of a safe routes to school program on child pedestrian injury risk during school travel hours: bayesian changepoint and difference-in-differences analysis. **Injury Epidemiology.** v. 1, n. 1, p. 17, 2014.

DIMAGGIO, C. *et al.* National safe routes to school program and risk of school-age pedestrian and bicyclist injury. v. 26, n. 6, p. 412–417. **Annals of Epidemiology.** 2016.

DIMAGGIO, C.; LI, G. Roadway characteristics and pediatric pedestrian injury. **Epidemiologic Reviews.** v. 34, n. 1, p. 46–56, 2012.

_____. Effectiveness of a safe routes to school program in preventing school-aged pedestrian injury. **Pediatrics.** v. 131, n. 2, p. 290–6, 2013.

DRUCK, S. *et al.* Análise espacial de dados geográficos. **Embrapa Cerrados.** EMBRAPA, ISBN: 85-7383-260-

6, p. 26. 2004.

DUDUTA, N. *et al.* **Saving lives with sustainable transport: traffic safety impacts of sustainable transport policies**, 2013.

DUMBAUGH, E.; RAE, R. Safe urban form: revisiting the relationship between community design and traffic safety. **Journal of the American Planning Association**. v. 75, n. 3, p. 309–329, 2009.

DUMBAUGH, E. *et al.* The built environment and the incidence of pedestrian and cyclist crashes. **Urban Design International**. v. 18, n. 3, p. 217–228, 2013.

EASTON, S.; FERRARI, E. Children's travel to school—the interaction of individual, neighbourhood and school factors. **Transport Policy**. v. 44, p. 9–18, 2015.

ELURU, N. Evaluating alternate discrete choice frameworks for modeling ordinal discrete variables. **Accident Analysis and Prevention**. v. 55, p. 1–11, 2013.

ELURU, N. *et al.* A mixed generalized ordered response model for examining pedestrian and bicyclist injury severity level in traffic crashes. **Accident Analysis and Prevention**, 40(3), 1033–1054. 2008.

ELVIK, R.; VAA, T. **The handbook of road safety measures**. Oxford: Elsevier, 2004.

ELVIK, R. Laws of accident causation. **Accident Analysis and Prevention**, v. 38, n. 4, p. 742-747, 2006.

EPTC. Conjunto de Dados. Datapoa, 2016. Disponível em: <http://datapoa.com.br/dataset?q=acidentes&sort=score+desc%2C+metadata_modified+desc> Acesso em 30 abril 2016.

EVERS, C. *et al.* Parent safety perceptions of child walking routes. **Journal of Transport and Health**. v. 1, n. 2, p. 108–115, 2014.

EWING, R.; CERVERO, R. Travel and the built environment. **Journal of the American Planning Association**. v. 76, n. 3, p. 265-294, 2010.

EWING, R.; DUMBAUGH, E. The built environment and traffic safety: a review of empirical evidence. **Journal of Planning Literature**. v. 23, n. 4, p. 347–367, 2009.

EWING, R. *et al.* Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. **American Journal of Public Health**. v. 93, n. 9, p. 1541–1545, 2003.

FARIA, E. D. O.; BRAGA, M. G. D. C. Propostas para minimizar os riscos de acidentes de trânsito envolvendo crianças e adolescentes. **Ciência and Saúde Coletiva**. v. 4, n. 1, p. 95–107, 1999.

FERREIRA, S.; COUTO, A. A safety probability assessment at the transportation planning level: should an ordered or unordered response be used? In: Transportation Research Board Annual Conference, 91, 2012. **Anais...** Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2012.

FHWA. Safe routes to school: a transportation legacy. **Report of the National Safe Routes to School task force**, 2008.

FUENTES, C. M.; HERNANDEZ, V. Spatial environmental risk factors for pedestrian injury collisions in ciudad Juárez, México (2008-2009): implications for urban planning. **International Journal of Injury Control and Safety Promotion**. v. 20, n. 2, p. 169–78, 2013.

GREENE, W. W. H. **Econometric Analysis**. 7. ed. Edition. New Jersey: Pearson, 2012.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise Multivariada de Dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAUER, E. **Observational Before–after Studies in Road Safety**: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety. Oxford: Pergamon Press/Elsevier Science Ltd., 1997.

HAUER, E. **The Art of Regression Modeling in Road Safety**. Switzerland: Springer, 2015.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, V.; HARO-DE LEÓN, L. DE. La relación entre la centralidad urbana y los atropellamientos en ciudad Juárez, México. **Hacia la promoción de la salud**. v. 19, n. 2, p. 81–94, 2014.

HILBE, J. M. **Negative Binomial Regression**. 2nd. ed. New York: Cambridge University Press, 2011.

HILLMAN, M. *et al.* One false move: a study of children's independent mobility. **Policy Studies Unit**, 1990.

HINCKSON, E. A. *et al.* Active commuting to school in New Zealand children (2004-2008): a quantitative analysis. **Preventive Medicine**. v. 52, n. 5, p. 332–336, 2011.

HUANG, H.; ABDEL-ATY, M. Multilevel data and bayesian analysis in traffic safety. **Accident Analysis and Prevention**. v. 42, n. 6, p. 1556–1565, 2010.

IBGE **Rio Grande do Sul**: Porto Alegre. 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431490&search=rio-grande-do-sul|porto-alegre|infograficos:-informacoes-completas>> Acesso em 30 abril 2016.

JAMES, F.; DICKINSON, J. Accident Proneness and Accident Law. **Harvard Law Review**, v. 63, n. 5, p. 769-795, 1950.

JENSEN, S. U. How to obtain a healthy journey to school. **Transportation Research Part A: policy and practice**. v. 42, n. 3, p. 475–486, 2008.

JENSEN, S. U.; HUMMER, C. H. Safer routes to Danish schools. In: TOLLEY, R. **Sustainable Transport: Planning for Walking and Cycling in Urban Environments**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2003.

KIESCHNICK, R.; MCCULLOUGH, B. D. Regression analysis of variates observed on (0,1): percentages, proportions and fractions. **Statistical Modelling**. p. 193–213, 2003.

KIM, K.; YAMASHITA, E. Motor vehicle crashes and land use: empirical analysis from Hawaii. **Transportation Research Record**. n. 1784, 2002.

KIM, K. *et al.* Influence of land use, population, employment, and economic activity on accidents - safety data, analysis, and evaluation. **Transportation Research Record**. v. 1953, n. 1953, p. 56–64, 2006.

KIM, J. K. *et al.* A note on modeling pedestrian-injury severity in motor-vehicle crashes with the mixed logit model. **Accident Analysis and Prevention**. v. 42, n. 6, p. 1751–1758, 2010.

KIM, K. *et al.* Accidents and accessibility. **Transportation Research Record**. v. 2147, n. 2147, p. 9–17, 2010.

KOCKELMAN, K. M.; KWEON, Y. J. Driver injury severity: an application of ordered probit models. **Accident Analysis and Prevention**. v. 34, n. 3, p. 313–321, 2002.

LARRAÑAGA, A. M. L. *et al.* The Influence of built environment and travel attitudes on walking: a case study of Porto Alegre, Brazil. **International Journal of Sustainable Transportation**. p. 332–342. 2014.

LEVIN MARTIN, S. *et al.* Implementing safe routes to school: application for the socioecological model and issues to consider. **Health Promotion Practice**. v. 10, n. 4, p. 606–614, 2009.

LIN, J. J.; CHANG, H. T. Built environment effects on children's school travel in taipei: independence and travel mode. **Urban Studies**. v. 47, n. 4, p. 867–889, 2010.

LINDAU, L. A. *et al.* Benefícios de um programa de renovação acelerada da frota de automóveis no Brasil. In: Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, 29, 2015, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANPET, 2015. Disponível em: < <http://www.anpet.org.br/xxixanpet/anais/documents/AC941.pdf>>. Acesso em: 1 setembro 2016.

LITMAN, T.; FITZROY, S. **Safe Travels: evaluating mobility management traffic safety impacts**. Victoria Transport Policy Institute. v. 15, n. 6, 2016.

LORD, D.; MANNERING, F. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. **Transportation Research Part A: policy and practice**. v. 44, n. 5, p. 291–305, 2010.

LORD, D.; PERSAUD, B. N. Estimating the safety performance of urban road transportation networks. **Accident Analysis and Prevention**. v. 36, n. 4, p. 609–620, 2004.

MALYSHKINA, N. V.; MANNERING, F. L. Zero-state markov switching count-data models: an empirical assessment. **Accident Analysis and Prevention**. v. 42, n. 1, p. 122–130, 2010.

MALYSHKINA, N., MANNERING, F. Empirical assessment of the impact of highway design exceptions on the frequency and severity of vehicle accidents. **Accident Analysis and Prevention**. v. 42, n. 1, p. 131–139, 2010b.

MANNERING, F. L.; BHAT, C. R. Analytic methods in accident research analytic methods in accident research : methodological frontier and future directions. **Analytic Methods in Accident Research**. v. 1, p. 1–22, 2014.

MARSHALL, W. E.; GARRICK, N. W. Does street network design affect traffic safety? **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, n. 3, p. 769–781, 2011.

MCARTHUR, A. *et al.* Spatial analysis of child pedestrian and bicycle crashes development of safety performance function for areas adjacent to schools. In: Transportation Research Board Annual Conference, 93, 2014, Washington D.C. **Anais...** Washington D.C: Transportation Research Board, 2014.

MCCULLANGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized linear models**. 2nd ed. [S.l.]: Chapman and Hall/CRC Monographs on Statistics & Applied Probability, 1989.

MCDONALD, N. C. **Impact of safe routes to school programs on walking and biking**. San Diego: Active Living Research. p. 1–5, 2015.

_____. **Children's travel: patterns and influences**. 2005. 112 f. Tese (Ph.D in City and Regional Planning) – Graduate Division, University of California, Berkeley, 2005.

MCDONALD, N. C. *et al.* Impact of the safe routes to school program on walking and biking: Eugene, Oregon Study. **Transport Policy**, 2013. v. 29, p. 243–248. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.06.007>>.

MCMILLAN, T. E. Urban form and a child's trip to school: the current literature and a framework for future research. **Journal of Planning Literature**. v. 19, n. 4, p. 440–456, 2005.

MÉNDEZ, Á. G.; IZQUIERDO, F. A.; RAMÍREZ, B. A. Evolution of the crashworthiness and aggressivity of the Spanish car fleet. **Accident Analysis and Prevention**. v. 42, p. 1621–1631, 2010.

MEROM, D. *et al.* Active commuting to school among nsw primary school children: implications for public health. **Health and Place**. v. 12, p. 678–687, 2006.

MIRANDA-MORENO, L. F. *et al.* The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian-vehicle collision occurrence at signalized intersections. **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, n. 5, p. 1624–1634, 2011.

MITRA, R.; BULIUNG, R. N. Exploring differences in school travel mode choice behaviour between children

and youth. **Transport Policy**. v. 42, p. 4–11, 2015.

MONTMORENCY, C. M. L. B. **Análise da percepção de segurança de trânsito em áreas escolares, com a utilização de ferramenta multicritério**. f. 102. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2008.

MOORE, D. N. *et al.* Mixed logit analysis of bicyclist injury severity resulting from motor vehicle crashes at intersection and non-intersection locations. **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, n. 3, p. 621–630, 2011.

NADERI, J. R. Landscape design in the clear zone: the effect of landscape variables on pedestrian health and driver safety. In: Transportation Research Board Annual Conference, 82, 2002. Washington, D.C.: Transportation Research Board. **Anais...** p. 1–28, 2003.

NASCIMENTO, A. M. de; GOLDNER, L. G. Análise da segurança viária em áreas escolares na ilha de santa catarina. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 28, 2014. **Anais...** Curitiba: ANPET, 2014. Disponível em: < <http://redpgv.coppe.ufjf.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2014-1/877-analise-da-seguranca-viaria-em-areas-escolares-na-ilha-de-santa-catarina/file>>. Acesso em: 1 setembro 2016.

NATIONAL CENTER FOR SAFE ROUTES TO SCHOOL. **Federal Safe Routes to School Program Evaluation Plan**, 2011.

NEVELSTEEN, K. *et al.* Controlling factors of the parental safety perception on children's travel mode choice. **Accident Analysis and Prevention**. v. 45, p. 39–49, 2012.

NEWBURY, C. *et al.* Paediatric pedestrian trauma: the danger after school. **Journal of Paediatrics and Child Health**. v. 44, n. 9, p. 488–491, 2008.

NHTSA. **Safe Routes to School Guide Introduction to Safe Routes to School: the Health, Safety and Transportation Nexus**, 2007.

NOLAND, R. B.; OH, L. The effect of infrastructure and demographic change on traffic-related fatalities and crashes: a case study of Illinois county-level data. **Accident Analysis and Prevention**. v. 36, n. 4, p. p. 525–532, 2004.

NOLAND, R. B.; QUDDUS, M. A. A spatially disaggregate analysis of road casualties in England. **Accident Analysis and Prevention**. v. 36, n. 6, p. 973–984, 2004.

_____. Congestion and safety: a spatial analysis of London. **Transportation Research Part A: policy and practice**. v. 39, n. 7-9, p. 737–754, 2005.

O'KEEFFE, B.; O'BEIRNE, A. **Children's independent mobility on the island of Ireland**, 2015.

ORENSTEIN, M.R. *et al.* Safe Routes to School safety and mobility analysis. **Safe Transportation Research &**

Education Center, 2007.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4th ed., London: Wiley, 2011.

OUYANG, Y.; BEJLERI, I. A gis-based community level method to evaluate the influence of built environment on traffic crashes. In: Transportation Research Board Annual Conference, 93, 2014, Washington D.C. **Anais...** Washington D.C: Transportation Research Board, 2014.

PANTER, J. R. *et al.* Environmental determinants of active travel in youth: a review and framework for future research. **The international journal of behavioral nutrition and physical activity**. v. 5, p. 34, 2008.

PATRICIOS, N. N. Urban design principles of the original neighbourhood concepts. **Urban Morphology**, 2002.

PEDEN, M. *et al.* **World report on child injury prevention**. Geneva: WHO Press, 2008.

PERRY, C. **The neighborhood unit**. Volume VII. New York: Regional Plan of New York and Its Environs, 1929.

PERROW, C. **Normal accidents: Living with high-risk technologies**. New Jersey: Princeton University Press, 2011.

PMPA. **Sistema cartográfico do município de porto alegre**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2013.

PMPA Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Secretaria Municipal de Educação SMED**. 2016. Disponível em: < <http://datapoa.com.br/dataset?q=escolas> > Acesso em 30 abril 2016.

PORTUGAL, L.; GOLDNER, L. G. **Estudo de pólos geradores de tráfego e de seus impactos nos sistemas viários e de transportes**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

QUDDUS, M. A *et al.* An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models. **Journal of Safety Research**. v. 33, p. 445–462, 2002.

QUDDUS, M. A. *et al.* Road traffic congestion and crash severity: econometric analysis using ordered response models. **Journal of Transportation Engineering**. v. 136, n. 5, p. 424–435, 2010

RAIA JR., A. A *et al.* Proposta metodológica para subsidiar o planejamento de segurança de trânsito em áreas escolares. In: Pluris. **Anais...** Braga, Portugal, 2006.

RIFAAT, S. M. *et al.* A. Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users. **Accident analysis and prevention**. v. 43, n. 1, p. 276–283, 2011.

RODGERS, M. D.; BLANCHARD, R. E. **Accident proneness : a research review**. Oklahoma: Federal Aviation Administration, 1993.

ROMERO, V. **Four dimensions of neighbourhood form related to children's walks to school**. v. 8, n. 2005,

2011.

ROTHMAN, L. M. *et al.* Walkable but unsafe? A systematic review of built environment correlates of walking and child pedestrian injury. **Injury Prevention**. v. 18, n. 1, p. A223–A223, 2012.

_____. Motor vehicle-pedestrian collisions and walking to school: the role of the built environment. **Pediatrics**. v. 133, n. 5, p. 1–9, 2014.

ROTHMAN, L. M. *et al.* Associations between parents perception of traffic danger, the built environment and walking to school. **Journal of Transport and Health**. v. 2, n. 3, p. 327–335, 2015.

ROTHMAN, L. M. **Child pedestrian-motor vehicle collisions and walking to school in the city of Toronto: the role of the built environment**. 199 f. Tese (Ph.D), Institute of Medical Science University of Toronto. Toronto, 2015.

SAVOLAINEN, P. T. *et al.* The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, n. 5, p. 1666–1676, 2011.

SCHOPF, A. R. **Proposição de uma lista de verificação para revisão de segurança viária de rodovias**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SHAW, B. *et al.* **Children's Independent Mobility: A Comparative Study in England and Germany (1971–2010)** Policy Studies Institute. London, 2013.

SMALL, K.A. Discrete Choice Model for Ordered Alternatives, **Econometrica**, v. 55, n. 2, p. 409, 1987.

STATISTIK, B. P. **Safety analyses at signalized intersections considering spatial, temporal and site correlation**. 210 f. Tese (Ph.D), Department of Civil and Environmental Engineering in the College of Engineering and Computer Science at the University of Central Florida Orlando, Florida, 2014.

STEWART, O. Findings from research on active transportation to school and implications for safe routes to school programs. **Journal of Planning Literature**. v. 26, n. 2, p. 127–150, 2011.

STOKER, P. *et al.* Pedestrian safety and the built environment: a review of the risk factors. **Journal of Planning Literature**. v. 30, p. 1–16, 2015.

TIMPERIO, A. *et al.* Personal, family, social, and environmental correlates of active commuting to school. **American Journal of Preventive Medicine**. v. 30, n. 1, p. 45–51, 2006.

TRAIN, K. E. **Discrete choice methods with simulation**. 2nd. ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

TREAT, J. *et al.* Tri-level study of the causes of traffic accidents. Executive summary. **Vision Research**. v. 42, n. 21, p. 2419–2430, 1979.

UNITED NATIONS. Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable. In: **Sustainable Development Goals: 17 Goals to transform our world**. Disponível em: <<http://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>>. Acesso em 11 maio 2016.

UKKUSURI, S. *et al.* The role of built environment on pedestrian crash frequency. **Safety Science**. v. 50, n. 4, p. 1141–1151, 2012.

VIOLA, R. *et al.* **The New York City pedestrian safety study and action plan**. New York City Department of Transportation. New York, 2010.

VTPI. **Online TDM Encyclopedia**. Canadá, 2014. Disponível em: <<http://www.vtpi.org/tdm/index.php>>. Acesso em 24 de agosto de 2016.

WASHINGTON, S. *et al.* **Incorporating safety into long-range transportation planning**. NCHRP Report n. 546, Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program, Washington D.C., 2006.

WASHINGTON, S. *et al.* **Statistical and econometric methods for transportation data analysis**. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CR, 2003.

WEDAGAMA, D. M. P. *et al.* The influence of urban land use on pedestrians casualties: case study area: Newcastle upon Tyne, UK. **IATSS Research**, v. 32, n. 1, p. 62-73, 2008.

WEDAGAMA, D. M. P. *et al.* The influence of urban land-use on non-motorised transport casualties. **Accident Analysis and Prevention**, v. 38, n. 6, p. 1049-1057, 2006.

WEI, F.; LOVEGROVE, G. An empirical tool to evaluate the safety of cyclists: community based, macro-level collision prediction models using negative binomial regression. **Accident Analysis and Prevention**. v. 61, p. 129–137, 2013.

WELLE, B. *et al.* **Cities safer by design: guidance and examples to promote traffic safety through urban and street design**. World Resources Institute. Washington, D.C., 2015.

WHO. **Relatório global sobre o estado da segurança viária 2015**. World Health Organization. Genebra: WHO Press, 2015.

WILDE, G. The theory of risk homostasis: implications for safety and health. **Risk Analysis**. v. 2, p. 209–225, 1982.

WONG, B. Y. M. *et al.* Gis measured environmental correlates of active school transport: a systematic review of 14 studies. **The international journal of behavioral nutrition and physical activity**. v. 8, n. 1, p. 39, 2011.

XAVIER, G. N. A. *et al.* Rotas seguras para a escola um estudo da mobilidade de escolares em Florianópolis. Congresso de Transporte e Trânsito, 15, 2005. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTP, 2005.

YASMIN, S. *et al.* Alternative ordered response frameworks for examining pedestrian injury severity in New York City. **Journal of Transportation Safety and Security**. v. 6, n. 4, p. 275–300, 2014.

YE, F.; LORD, D. Investigation of effects of underreporting crash data on three commonly used traffic crash severity models multinomial logit , ordered probit , and mixed logit. **Transportation Research Record**. n. 2241, p. 51–58, 2011.

_____. Comparing three commonly used crash severity models on sample size requirements: multinomial logit, ordered probit and mixed logit models. **Analytic Methods in Accident Research**. v. 1, n. 979, p. 72–85, 2014.

ZAHABI, S. A. H. *et al.* Estimating potential effect of speed limits, built environment, and other factors on severity of pedestrian and cyclist injuries in crashes: **Transportation Research Record**. v. 2247, n. -1, p. 81–90, 2011.

ZANI, K. K. G. **Análise da Percepção das Comunidades Escolares Sobre Segurança de Trânsito no Entorno das Escolas do Município de São Carlos – SP**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2012.

ZHANG, Y. *et al.* Investigating the associations between road network structure and non-motorist accidents. **Journal of Transport Geography**. v. 42, p. 34–47, 2015.

ZHU, X.; SRINIVASAN, S. A comprehensive analysis of factors influencing the injury severity of large-truck crashes. **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, n. 1, p. 49–57, 2011.