



FATORES ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE ACIDENTES NO ENTORNO DE PONTOS DE PARADAS DE ÔNIBUS

Rafaela Machado

Christine Nodari

Ana Margarita Larranaga

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

RESUMO

O transporte coletivo corresponde a grande parte dos deslocamentos diários nas cidades brasileiras. Os sistemas prioritários para ônibus qualificam o serviço oferecido, mas podem resultar em impactos em segurança viária se não forem bem projetados. Este artigo teve por objetivo identificar os fatores associados à ocorrência de acidentes no entorno de paradas de ônibus em corredores centrais. Para isso, estimou-se modelos de regressão Binomial Negativo. Identificou-se como variáveis significativas para o modelo de acidentes totais *Moto* e *AcIntersecao* e para o modelo de atropelamentos *Onibus*, *Moto* e *IDiv* (referente a diversidade de uso do solo). O estudo contribui para direcionar esforços no planejamento de transportes aos elementos que podem contribuir para tornar corredores exclusivos de ônibus mais seguros.

ABSTRACT

Public transport is responsible for a significant amount of daily commutes in Brazilian cities. Bus priority systems improve quality of the service, but may result in road safety impacts if they are not properly designed. This paper aims at identifying factors related to crashes in the vicinity of bus stops at central bus lanes. We estimated Negative Binomial regression models for general crashes and pedestrian crashes. The models resulted in two significant variables for general crashes (Motorcycles and Intersections) and three for pedestrian crashes (Motorcycles, Buses and Diversity Index). The study contributes to safety by guiding transportation planning efforts to design elements that can improve safety at bus corridors.

1. INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito causam anualmente 1,25 milhão de mortes no mundo (WHO, 2015). Cerca de 90% dessas vítimas estão em países em desenvolvimento, embora estes países concentrem metade da frota mundial de veículos individuais (WHO, 2015). No Brasil, registra-se cerca de 40 mil mortes anuais em acidentes de trânsito (DATASUS, 2017). O número de veículos privados no Brasil cresceu 43% entre 2010 e 2016 (DENATRAN, 2016). O aumento no número de veículos motorizados individuais está relacionado a um significativo aumento nos congestionamentos, além de externalidades negativas como aumento de poluição do ar e acidentes de trânsito. Essas externalidades oneram o país financeiramente ao gerar impactos à saúde da população e perda produtiva.

Diante do crescimento da frota de veículos motorizados, os sistemas prioritários representam importante alternativa de mobilidade urbana. O transporte coletivo no Brasil é responsável por 30% dos deslocamentos diários nas cidades (ANTP, 2015). A grande movimentação de pessoas nas imediações dos pontos de embarque e desembarque, em especial a movimentação de pedestres, podem causar problemas de segurança viária.

A forma como os sistemas prioritários de ônibus são projetados pode impactar a segurança viária no seu entorno, em especial no que se refere à segurança de pedestres para acessar o transporte coletivo. Estudos norte-americanos e europeus ressaltam o grande risco relacionado a motocicletas e o potencial de segurança de sistemas de transporte coletivo (Litman, 2017; Elvik *et al.*, 2009).



Experiências já documentadas reportam que os sistemas prioritários para ônibus propiciam uma redução significativa na ocorrência de acidentes (Goh *et al.*, 2013a, 2013b, 2014; WRI, 2015). Em geral, os benefícios trazidos pela implantação desses sistemas estão relacionados às readequações de desenho viário incluídas nas vias onde são construídos os projetos, como a inclusão de oportunidades seguras de travessia de pedestres, redução da largura viária e reacomodação do tráfego. Entretanto, acredita-se que isso esteja mais relacionado aos elementos de projeto viário com que esses sistemas são projetados do que às tecnologias de operação do sistema em si (WRI, 2015). Dessa forma, este artigo busca relacionar características físicas do ambiente construído e condições ambientais com a ocorrência de acidentes de trânsito no entorno de sistemas prioritários para ônibus.

Este artigo está organizado em 5 seções, incluindo esta introdução. A seção 2 apresenta o referencial teórico sobre segurança em sistemas prioritários de ônibus e a relação da estrutura urbana e a segurança viária. Na seção 3, são descritas as etapas do procedimento metodológico aplicado a esse estudo. A seção 4 inclui os resultados das análises e as discussões. Por fim, a seção 5 reúne as considerações finais do trabalho.

2. ELEMENTOS QUE IMPACTAM A SEGURANÇA NO TRÂNSITO

As experiências de implantação de sistemas prioritários para ônibus no mundo têm demonstrado possíveis aumentos em segurança. A adoção de sistema prioritário para ônibus em Melbourne, Austrália, resultou em redução de 53,5% na frequência de acidentes envolvendo ônibus e redução de 14% nos acidentes registrados na Região Metropolitana da cidade (Goh *et al.*, 2013b). O corredor BRT TransMilenio, em Bogotá, resultou em cerca de 200 mortes a menos na via em que foi implantada nos 9 primeiros anos de operação (EMBARQ, 2013). Entretanto, este é um dos poucos registros na literatura do impacto de um sistema de transporte coletivo na segurança viária de países em desenvolvimento. Nestes países, muitas vezes não há dados suficientes para avaliação do impacto da implantação desses sistemas (Vecino-Ortiz e Hyder, 2015).

Os acessos de pedestres, principalmente para embarque e desembarque, consistem no principal risco de acidentes viários identificado na literatura no entorno de sistemas de transporte coletivo. Devido à intensa movimentação de pedestres e demandas por travessia, esses locais podem concentrar considerável número de atropelamentos, muitos dos quais fatais (Cafiso *et al.*, 2013; Chen e Zhou, 2016; Hedelin *et al.*, 2002; Verzosa e Miles, 2016).

Uma pesquisa realizada na Flórida, Estados Unidos, identificou variáveis relacionadas ao ambiente construído relevantes tanto à frequência quanto à severidade de acidentes em sistemas de ônibus (Chimba *et al.*, 2010). A presença de múltiplas faixas de tráfego, assim como o número de veículos por faixa, demonstrou ser significativa para o aumento do número de acidentes.

Em outro estudo com dados dos Estados Unidos, identificou-se um aumento no risco de atropelamentos em áreas com alta densidade de paradas de ônibus (Chen e Zhou, 2016). Entende-se que distâncias mais curtas entre pontos de parada de ônibus resultam em maior número de travessias de pedestres e de acelerações e frenagens dos ônibus. Obteve-se resultado similar em estudo com três cidades da região metropolitana de Manila, nas Filipinas: houve maior risco de atropelamentos próximo a estações de embarque e desembarque de sistemas de transporte coletivo (Verzosa e Miles, 2016). Em Porto Alegre,



também há evidências de maior incidência de atropelamentos com vítimas no entorno de corredores de ônibus (Cardoso e Goldner, 2004).

Os impactos em segurança desses sistemas estão relacionados às características e elementos de seus projetos. A relação entre características da estrutura urbana e segurança viária tem sido explorada recentemente na literatura. Os padrões de desenvolvimento urbano e desenho viário afetam a segurança viária através dos volumes de tráfego gerados e pelas velocidades que as características da estrutura urbana influenciam (Ewing e Dumbaugh, 2009). Acredita-se que os volumes de tráfego afetam a frequência de acidentes, enquanto as velocidades impactam a severidade destes (Ewing e Dumbaugh, 2009).

Volumes e velocidades são, em geral, relacionados à hierarquia viária, o que faz com que esta seja um importante fator associado à ocorrência e à severidade de acidentes de trânsito. A classificação de uma determinada via influencia a velocidade indicada para o tráfego motorizado. Alguns estudos têm identificado maior risco relacionado a vias com maior hierarquia, como vias arteriais (Dumbaugh e Rae 2009; Dumbaugh *et al.*, 2013).

Um estudo identificou que cada milha de via arterial está relacionada a um aumento de 15% no total de acidentes registrados e de 20% nos acidentes fatais (Dumbaugh e Rae 2009). Em outro estudo, observou-se um aumento de 12% nos acidentes totais e atropelamentos com vítimas feridas ou fatais relacionado a cada milha adicional de via arterial em um conjunto de bairros (Dumbaugh *et al.*, 2013). Vias arteriais concentram maiores volumes de tráfego motorizado e possuem, em geral, os maiores limites de velocidade dentro do perímetro urbano.

Vias arteriais possuem também menos interrupções, o que favorece que condutores adotem velocidades mais altas. Os impactos em segurança de interseções, que constituem uma forma comum de interrupção em tráfego urbano, são abordados na literatura (Lovegrove e Sayed, 2006; Marshall e Garrick, 2011; Walton *et al.*, 2013; Zahabi *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2015). Esses locais concentram grande número de conflitos, em especial quando permitem diversidade de movimentos do tráfego motorizado.

A forma como as interseções são projetadas influencia também seu impacto em segurança. Interseções de quatro aproximações estão relacionadas a maior risco de acidentes do que interseções de três aproximações (interseções em T) (Lovegood e Sayed, 2009). As interseções de três aproximações concentram menor variedade de movimentos possíveis, reduzindo o número de conflitos nesses locais e resultando em menor risco de acidente quando comparadas a interseções de quatro aproximações. Interseções com quatro aproximações podem trazer riscos em especial para pedestres e ciclistas (Zhang *et al.*, 2015).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atender ao objetivo deste artigo, foram estimados modelos relacionando a ocorrência de acidentes no entorno dos pontos de parada de corredores de ônibus em faixa central com variáveis relativas à estrutura urbana no seu entorno e com características viárias, ambientais e socioeconômicas da área de estudo. As variáveis consideradas foram obtidas considerando-se *buffers* com raio de 150 m a partir de pontos de parada de corredores exclusivos de transporte por ônibus de Porto Alegre. Torres (2016) indica 150 metros como o melhor ajuste de raio para considerar características locais e do entorno de áreas de estudo da acidentalidade. Os corredores estudados totalizam 46,9 km de extensão. Os dados utilizados



no estudo consistiram em dados georreferenciados de acidentes de trânsito registrados entre 2012 e 2014 em Porto Alegre, de elementos de estrutura urbana e de características socioeconômicas das regiões de entorno dos corredores de análise. A consolidação dos dados de interesse foi realizada através do *software Quantum GIS* (QGIS, 2017).

O processo de modelagem para identificação de fatores associados à ocorrência de acidentes no entorno de pontos de paradas de ônibus em corredores em faixa central foi realizado em 4 passos. O primeiro passo consistiu na seleção das possíveis variáveis independentes, chamadas aqui de variáveis candidatas. A seguir, no segundo passo, testou-se a presença de multicolinearidade entre as variáveis candidatas a partir dos fatores de inflação da variância (VIF- *Variance Inflation Factor*). Valores de VIFs superiores a 10 indicam multicolinearidade elevada (Hair *et al.*, 2009). Assim, as variáveis que apresentavam VIFs acima desse valor foram descartadas, a fim de garantir uma modelagem satisfatória do conjunto de dados.

O passo 3 consistiu na consolidação dos dados referentes à lista final de variáveis candidatas, de onde foram retiradas aquelas que apresentavam elevada multicolinearidade. Nesse passo, foi montado o banco de dados contendo informações das variáveis de interesse coletadas para cada um dos *buffers* de 150 metros ao redor do ponto de parada. A seguir, no passo 4, foram estimados modelos de regressão Binomial Negativo para a frequência de acidentes totais e frequência de atropelamentos. Os modelos foram estimados utilizando o *software IBM SPSS Statistics 19* (IBM, 2010). O número de acidentes registrados em cada *buffer* foi inserido como variável dependente no modelo. As variáveis que apresentaram baixa correlação entre si na análise de multicolinearidade foram inseridas como covariáveis.

A escolha entre qual distribuição utilizar para representar a frequência de acidentes foi baseada na comparação da média e da variância da amostra. O modelo de Poisson é utilizado quando há independência entre as observações e a variância e a média da amostra são iguais. O modelo Binomial Negativo quando as amostras apresentam sobredispersão (variância maior do que a média) (Lord, 2006). Este modelo é geralmente adequado para aplicação em dados de acidentes, uma vez que estes apresentam em geral sobredispersão (Mannering e Bhat, 2014; Lord e Mannering, 2010). Neste estudo, verificou-se a sobredispersão dos dados, adotando o modelo Binomial Negativo nas estimações, conforme mostra a Equação 1 (Washington *et al.*, 2003).

$$P(n_{ij}) = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + n_{ij}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)n_{ij}!} \left(\frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_{ij}}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_{ij}}{(1/\alpha) + \lambda_{ij}}\right)^{n_{ij}} \quad (1)$$

Em que:

$P(n_{ij})$ = probabilidade de ocorrência de n acidentes em um segmento viário i em um período de tempo j (aqui, definido como um ano);

Γ = função Gama;

α = variância;

λ_{ij} = valor previsto de n_{ij} , que representa o número esperado de acidentes por ano em um determinado segmento viário.

A estimação do modelo foi realizada a partir do método de máxima verossimilhança, incluindo todas as variáveis listadas e aplicando a técnica de *backwards elimination* para obter o modelo final. A significância das variáveis foi analisada através da estatística do teste de



Wald para a regressão logística (comparação entre a estimativa de máxima verossimilhança do parâmetro e a estimativa de seu erro padrão). O p-valor para o teste representa a probabilidade associada ao teste, podendo ser comparada com o valor da distribuição normal padrão.

Os valores resultantes dos parâmetros estimados foram utilizados para o cálculo dos efeitos marginais das variáveis independentes. O efeito marginal de uma variável mostra a mudança na probabilidade prevista associada a mudanças nessa variável independente. O efeito marginal é definido como (Mothafer *et al.*, 2016):

$$\partial E(y|x_{ij})/\partial x = \beta_{ij} [\exp(x_{ij} \beta_j)] \quad (2)$$

Em

que:

x_{ij} = variável explicativa;

y = variável dependente;

β = vetor de coeficientes de regressão.

O incremento considerado em variáveis discretas foi de uma unidade. No caso de variáveis *dummy*, o incremento correspondeu à variação entre os valores 0 e 1. Para variáveis contínuas, foi considerado um incremento de 10% da média da variável considerada.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 1 sintetiza as 30 variáveis candidatas utilizadas no estudo. Após o teste de multicolinearidade, as variáveis *Auto*, *Dia*, *Diautil*, *DensDom*, *PMeiofio* e *PPavimento* foram removidas, resultando em um total de 24 variáveis para a estimação dos modelos de frequência de acidentes totais e de frequência apenas de atropelamentos. A diferença de valores entre as colunas referentes aos modelos de frequência de acidentes totais e de atropelamentos se deve à ausência de atropelamentos em alguns *buffers*, o que gerou pequenas alterações na estatística descritiva de cada um desses tipos de acidentes.

Além disso, a estatística descritiva das variáveis *dummy* resultou algumas vezes em médias contínuas e valores mínimos e máximos diferentes de 0 e 1. Isso resultou da soma das ocorrências das variáveis *dummy* dentro de cada *buffer*. Ainda que essas variáveis pudessem resultar apenas em 0 ou 1, sua soma e média poderiam resultar em valores discretos e contínuos, respectivamente. À exceção dos demais tipos de veículos analisados, a variável *Onibus* considera a presença de mais de um veículo no acidente, pelo interesse específico da circulação dos sistemas prioritários para ônibus.

Dentro do *buffer* especificado de 150 metros no entorno das 102 paradas de ônibus dos 46,9 km de corredores em faixa central de Porto Alegre, foram obtidos os dados referentes às variáveis de desenho urbano, densidade, diversidade, características ambientais, informações socioeconômicas e instituições de ensino. Esses dados foram organizados conjuntamente com as informações específicas dos acidentes registrados dentro desses *buffers*. Considerou-se na análise o total de acidentes registrados entre 2012 e 2014 na área de estudo.



Tabela 1: Lista inicial de variáveis candidatas

Variáveis	Descrição	Acidentes totais		Atropelamentos	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Dependentes					
AcTotais		94,91	55,13	100,07	52,59
Atropelamentos		7,72	6,34	8,21	6,22
AcTotais		1,32	0,48	-	-
Atropelamentos		-	-	2,05	0,21
Independentes					
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
P4aprox (%)	Proporção de interseções com 4 aproximações sobre o total de interseções em cada <i>buffer</i> .	0,31	0,26	0,32	0,26
AcIntersecao (0;1)	Registro do acidente indica ocorrência em meio de quadra ou em interseção.	29,77	28,86	31,54	28,86
Diautil (0;1)	Valor 1 quando os acidentes ocorriam entre segunda e sexta-feira e valor 0 quando ocorriam sábado ou domingo.	77,34	44,80	81,53	42,76
Auto (0;1)	Envolvimento de veículos motorizados privados (passeio e/ou táxis) no acidente.	83,55	49,73	88,13	47,60
Onibus (n°)	Envolvimento de ônibus urbanos ou metropolitanos no acidente.	7,76	7,06	8,19	7,05
Moto (0;1)	Envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.	20,87	10,89	21,97	10,23
Chuva (0;1)	Registro de condição climática com chuva no momento do acidente.	7,89	6,28	8,34	6,19
Dia (0;1)	Valor 1 quando ocorrência do acidente foi registrada entre 06:00 e 18:00.	71,85	42,26	75,66	40,53
Bicicleta (0;1)	Registro do envolvimento de pelo menos uma bicicleta no acidente.	0,77	0,88	0,82	0,89
PArteriais (%)	Proporção de trechos viários classificados como arteriais sobre o total de extensão viária em cada <i>buffer</i> .	0,29	0,17	0,29	0,16
CompLink (m)	Média entre os comprimentos dos trechos viários dentro de cada <i>buffer</i> .	151,99	98,33	151,19	98,72
DecliveAB (%)	Desnível médio das vias no <i>buffer</i> .	0,02	0,02	0,02	0,02
DensComServ (n°/km²)	Número de estabelecimentos de comércio e serviço por quilômetro quadrado dentro de cada <i>buffer</i> .	1594,55	1656,04	1649,13	1690,19
DensPop (hab/km²)	Número médio de habitantes por km² dentro de cada <i>buffer</i> .	8559,12	4621,47	8522,32	4587,73
DensDom (dom/km²)	Número de domicílios por quilômetro quadrado dentro de cada <i>buffer</i> .	3641,67	2254,76	3624,85	2253,34
NEscolas (n°)	Número de instituições de ensino presente em cada <i>buffer</i> .	0,73	0,82	0,73	0,83
FTEscGrad (n°)	Faixas de travessia de pedestres que incluem escalonamento e gradis guiando os pedestres ao longo da travessia.	0,78	0,90	0,78	0,90
FTEscSGrad (n°)	Faixa de travessia de pedestres possui um pequeno desvio e área de acúmulo de pedestres no canteiro central.	0,31	0,50	0,33	0,51
FTReta (n°)	Caminho contínuo para travessia de pedestres ao longo de todas as pistas.	0,76	0,97	0,78	0,96
IDiv (%)	Ponderação de uso do solo, considerando número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias.	0,45	0,16	0,46	0,16
Semaforo (n°)	Presença de pelo menos um semáforo no <i>buffer</i> .	1,23	1,06	1,28	1,05
Menor18 (n°)	Número de habitantes de cada <i>buffer</i> com idade inferior a 18 anos.	94,54	45,93	96,13	46,58

(continua)



Tabela 1: Lista inicial de variáveis candidatas (continuação)

Variáveis	Descrição	Acidentes totais		Atropelamentos	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Independentes					
MAior65 (n°)	Número de habitantes de cada <i>buffer</i> com idade superior a 65 anos.	69,87	21,44	70,10	21,57
Renda (renda/dom)	Valor médio mensal de renda no conjunto de domicílios em de cada <i>buffer</i> .	4553,28	2325,57	4425,46	2281,78
PMeiofio (%)	Percentual de domínio viário incluindo meio-fio segregador das faixas de rolamento e da calçada dentro de cada <i>buffer</i> .	0,92	0,17	0,92	0,18
PRampa (%)	Percentual de domínio viário incluindo rampas de acessibilidade para pedestres com mobilidade reduzida dentro de cada <i>buffer</i> .	0,37	0,22	0,36	0,21
PIluminacao (%)	Percentual de domínio viário incluindo elementos de iluminação dentro de cada <i>buffer</i> .	0,95	0,10	0,95	0,10
PPavimento (%)	Percentual de domínio viário incluindo pavimentação das faixas de rolamento dentro de cada <i>buffer</i> .	0,93	0,15	0,93	0,16
PCalçada (%)	Percentual de domínio viário incluindo infraestruturas para pedestres dentro de cada <i>buffer</i> .	0,91	0,19	0,91	0,19
PArborizacao (%)	Percentual de domínio viário incluindo arborização dentro de cada <i>buffer</i> .	0,92	0,13	0,91	0,14

A base de dados consolidada foi utilizada para a estimação de modelos de regressão linear Binomial Negativo. O modelo estimado para o conjunto de dados incluindo todos tipos de acidentes resultou em duas variáveis explicativas significativas. Já o modelo estimado para o conjunto de dados incluindo apenas os acidentes do tipo atropelamento resultou em três variáveis explicativas significativas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Variáveis significativas nos modelos estimados

Modelo	Variáveis significativas	Descrição
Modelo binomial negativo – Frequência de acidentes totais	<i>Moto</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	<i>AcIntersecao</i>	Registro do acidente indica ocorrência em meio de quadra ou em interseção.
Modelo binomial negativo – Frequência de atropelamentos	<i>Onibus</i>	Registro de envolvimento de ônibus urbanos ou metropolitanos no acidente.
	<i>Moto</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	<i>IDiv</i>	Ponderação de uso do solo, considerando número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias.

A Tabela 3 apresenta o resultado da estimação dos modelos de frequência para acidentes totais e para atropelamentos. Após a estimação dos modelos, os efeitos marginais de cada uma das variáveis explicativas foram calculados, conforme indicado na Equação 2.

A partir do Modelo 1, constata-se que as variáveis associadas à ocorrência de acidentes totais no entorno de pontos de paradas de ônibus são: (i) *AcIntersecoes* (ocorrência do acidente em uma interseção) e (ii) *Moto* (envolvimento de pelo menos uma motocicleta no acidente). Ambas variáveis são descritas na literatura como relacionadas a conflitos no tráfego e,



consequentemente, estão relacionadas a uma maior ocorrência de acidentes. O cálculo de efeitos marginais indica que risco de acidentes com envolvimento de uma motocicleta é o dobro do risco de acidentes em interseções no ambiente de entorno de paradas de corredores de ônibus.

Tabela 3: Estimação dos modelos de regressão linear Binomial Negativo para acidentes totais e atropelamentos

Modelo	Variável	Coef.	Wald Chi-Quadrado	Valor-p	Incremento	Efeito marginal
MODELO 1	<i>Const.</i>	3,339	180,458	0,000		
Frequência de acidentes totais	<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,012	7,807	0,005	1,00	0,74
	<i>Moto (0;1)</i>	0,034	8,303	0,004	1,00	1,50
<i>AIC: 1099,50</i>						
<i>Deviance: 15,59</i>						
<i>Amostra: 101</i>						
MODELO 2	<i>Const.</i>	0,113	0,084	0,772		
Frequência de atropelamentos	<i>Onibus (n°)</i>	0,051	7,366	0,007	1,00	0,13
	<i>Moto (0;1)</i>	0,035	7,321	0,007	1,00	0,09
	<i>IDiv (%)</i>	1,275	3,557	0,059	0,04	3,25
<i>AIC: 628,86</i>						
<i>Deviance: 25,12</i>						
<i>Amostra: 101</i>						

As interseções são pontos da via que concentram grande número de movimentos. Estes movimentos causam, na área de tráfego comum a todos os usuários, muitos pontos de conflito. Uma interseção de quatro aproximações que permita todos os movimentos pode incluir até 32 pontos de conflito (Garber e Hoel, 2014). Dessa forma, é compreensível que estes locais concentrem maior frequência de acidentes em relação a segmentos em meio de quadra.

A estratégia para combater o risco de acidentes decorrente da presença de interseções envolve gerenciar os conflitos de tráfego nestes locais. Para isso, é importante entender a rede viária e a dinâmica do trânsito na região. Do ponto de vista de segurança, é recomendável restringir os movimentos nas interseções, de forma a reduzir o número de pontos de conflito remanescentes. Esta restrição pode ser realizada através da indicação de rotas alternativas e laços de quadra (WRI, 2015). O controle semafórico dos movimentos permitidos pode contribuir de forma significativa para organizar o tráfego nas interseções.

A significância da variável relativa à presença de motocicletas na ocorrência de acidentes no ambiente estudado pode estar relacionada à menor visibilidade que os demais veículos têm das motocicletas. Ao trafegar na via, as motocicletas podem entrar no ponto cego dos veículos, principalmente dos veículos de grande porte, como os ônibus.

Esse problema é agravado pelas manobras muitas vezes repentinas dos motociclistas. A circulação entre os demais veículos é uma prática muito comum pelos usuários de motocicleta e agrava as condições de segurança para motociclistas (Vasconcellos, 2013). As possíveis soluções para mitigar esse problema são complexas, pois podem envolver o desincentivo ao uso da motocicleta e aumento da visibilidade do veículo pelos outros condutores. Isso pode ser feito através da oferta de modos de transporte atrativos e mais seguros, como um sistema de transporte coletivo de alta qualidade.



A estimação do modelo de regressão Binomial Negativo para os dados de frequência de atropelamentos destacou como significativas as variáveis *Onibus*, *Moto* e *IDiv*. Todas as variáveis foram significativas em um nível de confiança de 95%, à exceção de *IDiv*, que foi mantida no estudo pela sua relevância ao tema. O efeito marginal da variação no uso do solo, representado aqui por *IDiv*, indica um impacto dessa variável em atropelamentos muito maior do que as demais variáveis significativas para atropelamentos.

A significância da presença de ônibus na estimativa da frequência de atropelamentos, representada pela variável *Onibus*, reflete o pressuposto de que sistemas de transporte coletivo afetam diretamente na segurança de pedestres. Um dos possíveis motivos pode estar relacionado à barreira de visibilidade que ônibus criam entre os demais usuários da via.

Pedestres atravessando a via podem ser encobertos por ônibus trafegando e não serem vistos por automóveis ou motocicletas, ou ainda por outros ônibus, aumentando o risco de atropelamentos. Sistemas prioritários para ônibus em canteiro central também impactam a segurança de pedestres ao demandar a travessia dos passageiros para acesso ao sistema independentemente do lado da via do qual estes são provenientes. Isso aumenta a exposição dos pedestres e os conflitos com o tráfego motorizado (WRI, 2015).

As melhorias de segurança associadas a essa variável concentram-se em oferecer oportunidades seguras de travessia para os pedestres acessarem os sistemas prioritários para ônibus em canteiro central, foco deste estudo, e em outros sistemas de transporte coletivo. É importante também avaliar a localização dos pontos de parada de ônibus considerando os principais pontos de atração de pessoas, como instituições de ensino e saúde, serviços públicos ou densas áreas residenciais ou comerciais, reduzindo a exposição dos passageiros para acessar o sistema.

Em relação à significância da variável que retrata o envolvimento de motocicletas nos acidentes (*Moto*), é possível que muitas dessas ocorrências estejam relacionadas ao tráfego de motocicletas entre as filas formadas pelos demais veículos. Essa prática é muito comum nos centros urbanos, quando há acúmulo de veículos na via em situações de congestionamento ou próximo a pontos com controle semafórico. Em condições de congestionamento, quando o tráfego para por longos períodos de tempo em segmentos viários, muitos pedestres consideram seguro realizar a travessia da via entre os veículos parados e fora das faixas de travessia de pedestres sinalizadas.

Nessas condições, os pedestres que atravessarem a via para acessar a parada no corredor de ônibus podem ser atingidos por motocicletas trafegando entre os veículos, já que mesmo em condições de congestionamento a maior parte das motocicletas segue em movimento. Os motociclistas são surpreendidos pelos pedestres e muitas vezes podem não conseguir parar a tempo de evitar um atropelamento. A pressa dos pedestres em acessar o sistema de transporte coletivo, ao verem um veículo se aproximando da parada, por exemplo, potencializa esse conflito. A solução para o conflito com pedestres envolve estudos de acessibilidade, fornecimento de oportunidades seguras de travessia nos pontos mais demandados e maior frequência dos sistemas de transporte, reduzindo o tempo de espera caso o pedestre veja um ônibus se aproximando da parada e não consiga embarcar a tempo.

O índice de diversidade (*IDiv*), representando a diversidade de uso do solo, está relacionado à atratividade da região e o incentivo que proporciona à adoção de modos não motorizados de



deslocamento e foi a variável com maior impacto na frequência de atropelamentos. Essa variável foi proposta por Torres (2016) como uma analogia à entropia do uso do solo, indicador proposto por Cervero e Kockelman (1997) diante da ausência de informações referentes à área de ocupação de cada tipo de uso do solo. A variável $IDiv$ considerou o número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias identificadas dentro de cada *buffer*.

Uma área com uso misto e presença de pontos de atração afeta diretamente a caminhabilidade da região: áreas que possibilitem maior conectividade têm maior probabilidade de movimentação de pedestres a pé (Larrañaga *et al.*, 2016). Áreas com uso de solo misto resultam em mais deslocamentos a pé, enquanto áreas com pouca diversidade incentivam o uso de transporte motorizado. Portanto, há uma exposição maior de pedestres em áreas com uso do solo mais diversificados.

A presença maior de pedestres decorre não apenas dos movimentos com origem na área, mas também de pedestres que chegam até essas áreas através de modos motorizados, como o transporte coletivo. Dessa forma, essas movimentações devem ser levadas em consideração na definição da localização de pontos de parada próximos a áreas com uso misto de solo, mitigando o maior risco de atropelamentos dessa característica urbana.

Áreas com maior caminhabilidade incentivam atividade física, o que contribui para a saúde dos pedestres e a segurança pública da região (Paydar *et al.*, 2017). Áreas propícias a deslocamentos a pé também reduzem a quilometragem percorrida em veículos motorizados, o que contribui para a segurança viária. Ainda que o impacto da diversidade na frequência de atropelamentos próximo a paradas de ônibus seja negativo e significativo, é importante atuar de forma a tornar estes ambientes seguros, e não de forma a reduzir a diversidade dessas áreas.

O risco de ocorrência de atropelamentos pode ser reduzido através da oferta de elementos de proteção aos pedestres, como calçadas de qualidade e oportunidades frequentes e seguras de travessia da via. As velocidades de tráfego devem também ser compatíveis com um ambiente urbano onde há presença de usuários vulneráveis. A Organização Mundial da Saúde recomenda limites de até 50 km/h em áreas urbanas, e até 30 km/h em áreas que concentrem volumes significativos de pedestres (WHO, 2015).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou identificar a prevalência de fatores associados à ocorrência de acidentes de trânsito no entorno de pontos de parada de ônibus. Para isso, foram estimados modelos de regressão Binomial Negativa para o conjunto de acidentes totais e de acidentes do tipo atropelamentos no entorno desses sistemas, considerando variáveis relativas aos acidentes, variáveis socioeconômicas e variáveis de ambiente construído.

Entre as 30 variáveis candidatas ao modelo, apenas duas foram associadas significativamente aos acidentes totais - presença de moto e presença de interseções - ocorridos no entorno de paradas de corredores prioritários de ônibus. Em relação aos atropelamentos nessa mesma área de estudo, foram identificadas três variáveis significativas: presença de ônibus, presença de moto e índice de diversidade - que avalia uso do solo. As variáveis obtidas são documentadas na literatura como elementos relevantes aos conflitos de tráfego e, por consequência, à segurança no trânsito.



As ações para aumentar a segurança no trânsito, com base nesse estudo, envolvem adotar elementos de gerenciamento de tráfego que mitiguem os conflitos e garantir diversidade de usos do solo. Em relação às motocicletas, presentes em ambos os modelos, é necessário adotar elementos de ambiente construído que contribuam com a estabilidade física das motocicletas e garantam a visibilidade destas em meio ao tráfego. Recomenda-se também oferecer alternativas de mobilidade que sejam atrativas e competitivas em relação a custos e vantagens com as motocicletas.

Possivelmente devido a restrições nos dados disponíveis para este estudo, não foi possível identificar de forma abrangente todos os fatores relacionados à ocorrência de acidentes próximo a paradas de ônibus. Como recomendação futura, sugere-se uma modelagem comparativa dos acidentes ocorridos em vias com sistemas prioritários para ônibus e vias com contexto semelhante, mas sem esses sistemas. Isso possibilitaria explorar em maior profundidade o impacto relativo das paradas de ônibus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTP (2015) *Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - Relatório Geral 2014*. Associação Nacional de Transportes Públicos, São Paulo.
- Cafiso, S.; A. Di Graziano e G. Pappalardo (2013) Road safety issues for bus transport management. *Accident Analysis and Prevention*, v. 60, p. 324–333.
- Cardoso, G. e L. Goldner (2004) Um estudo do risco de atropelamentos em vias com corredores exclusivos para ônibus em Porto Alegre – RS. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Florianópolis*.
- Cervero, R. e K. Kockelman (1997) Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v. 2, n. 3, p. 199–219.
- Chen, P. e J. Zhou (2016) Effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency and risk. *Journal of Transport & Health*, v. 3, n. 4, p. 448–456.
- Chimba, D.; T. Sando e V. Kwigizile. (2010) Effect of bus size and operation to crash occurrences. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, n. 6, p. 2063–2067.
- DATASUS (2017) *Estatísticas vitais*. Ministério da Saúde, Informações de saúde (TABNET), Brasil. Disponível em <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>>. Acessado em 19 fevereiro 2017.
- DENATRAN (2016) *Estatística: Frota de veículos*. Departamento Nacional de Trânsito. Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acessado em 31 maio 2016.
- Duduta, N.; C. Adiazola; D. Hidalgo; L. A. Lindau e R. Jaffe (2012) Understanding Road Safety Impact of High-Performance Bus Rapid Transit and Busway Design Features. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2317, p. 8–14.
- Dumbaugh, E.; W. Li e K. Joh (2013) The built environment and the incidence of pedestrian and cyclist crashes. *Urban Design International*, v. 18, n. 3, p. 217–228.
- Dumbaugh, E. e R. Rae (2009) 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.
- Elvik, R.; T. Vaa; A. Høy e M. Sørensen (2009) *The Handbook of Road Safety Measures*. Emerald Group.
- EMBARQ (2013). *Saving lives with sustainable transport*. World Resources Institute, Washington, EUA.
- Ewing, R. e E. Dumbaugh (2009) The Built Environment and Traffic Safety A Review of Empirical Evidence. *Journal of Planning Literature*, v. 23, n. 4, p. 347–367.
- Garber, N. J. e L. A. Hoel (2014) *Traffic and Highway Engineering*. Cengage Learning, 5th Edition, 1248 p.
- Goh, K.; G. Currie; M. Sarvi e D. Logan (2013a) Experimental microsimulation modeling of road safety impacts of bus priority. *Transportation Research Record*, v. 50, n. 2402, p. 9–18.
- Goh, K.; G. Currie; M. Sarvi. e D. Logan (2013b) Understanding the Road Safety Implications of Bus Priority Measures in Melbourne. *13th World Conference on Transport Research*. World Conference on Transport Research, Rio de Janeiro.
- Goh, K.; G. Currie; M. Sarvi. e D. Logan (2014) Bus accident analysis of routes with/without bus priority. *Accident Analysis and Prevention*, v. 65, p. 18–27.
- Greene, W. (2010) Testing hypotheses about interaction terms in nonlinear models. *Economics Letters*, v. 107, p. 291–296.



- Hair, J. F.; W. C. Black; B. J. Babin; R. E. Anderson e R. L. Tatham (2009) *Análise multivariada de dados*. Bookman Editora.
- Hedelin, A.; O. Bunketorp e U. Björnstig (2002) Public transport in metropolitan areas - A danger for unprotected road users. *Safety Science*, v. 40, n. 5, p. 467–477.
- IBM (2010) *IBM SPSS Statistics 19 Brief Guide*.
- Lee, J. e F. Mannering (2002) Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. *Accident Analysis and Prevention*. v. 34, p. 149–161.
- Litman, T. (2017) *Evaluating Public Transit Benefits and Costs: Best Practices Guidebook*. Victoria Transport Policy Institute. Canadá.
- Lord, D. (2006) Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter. *Accident Analysis and Prevention*, v.38, n.4, p.751-766.
- Lord, D. e F. Mannering (2010) 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.
- Lovegrove, G. e T. Sayed (2006) Using Macrolevel Collision Prediction Models in Road Safety Planning Applications. *Transportation Research Record*, v. 1950, n. 1, p. 73–82.
- Mannering, F. L. e C. R. Bhat (2014) *Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions*. Analytic Methods in Accident Research.
- Marshall, W. E. e N. W. Garrick (2011) Does street network design affect traffic safety? *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, n. 3, p. 769–781.
- Mothafer, G. I. M. A.; T. Yamamoto e V. N. Shankar (2016) Evaluating crash type covariances and roadway geometric marginal effects using the multivariate Poisson gamma mixture model. *Analytic Methods in Accident Research*, v. 9, p. 16–26.
- Nelder, J. A. e R. W. M. Wedderburn (1972) Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, v. 135, n. 3, p. 370–384.
- PMPA (2016) - *Transporte em Números: Indicadores Anuais de Mobilidade Urbana*. Empresa Pública de Transporte e Circulação, Porto Alegre, Brasil.
- QGIS (2017) *QGIS User Guide: Release testing*.
- Torres, T. B. (2016) *Prevalência de fatores associados a acidentes viários no entorno de escolas*. 119 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- United Nations (2016) *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York, 2015. 517 p. Disponível em: <esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>. Acessado em 31 maio 2016.
- Vasconcellos, E. A. (2013) *Risco no trânsito, omissão e calamidade: impactos do incentivo à motocicleta no Brasil*. 1ª edição. Instituto Movimento, São Paulo.
- Vecino-Ortiz, A. I. e A. A. Hyder (2015) Road Safety Effects of Bus Rapid Transit (BRT) Systems: a Call for Evidence. *Journal of Urban Health*, v. 92, n. 5, p. 940–946.
- Verzosa, N. e R. Miles (2016) Severity of road crashes involving pedestrians in Metro Manila, Philippines. *Accident Analysis and Prevention*, v. 94, p. 216–226.
- Walton, D.; J. Buchanan e S. J. Murray (2013) Exploring factors distinguishing car-versus-car from car-versus-motorcycle in intersection crashes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 17, p. 145–153.
- Washington, S. P.; M. G. Karlaftis e F. Mannering (2003) *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*, 1st edition. Chapman and Hall/CRC.
- WHO (2016) *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization, Switzerland. Disponível em: <http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/>. Acessado em 01 junho 2016.
- WRI (2015) *Segurança viária em sistemas prioritários para ônibus*. World Resources Institute, Brasil.
- Zahabi, S.; J. Strauss; K. Manaugh e L. Miranda-Moreno (2011) Estimating Potential Effect of Speed Limits, Built Environment, and Other Factors on Severity of Pedestrian and Cyclist Injuries in Crashes: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2247, n. 1, p. 81–90.
- Zhang, Y.; J. Bigham; D. Ragland e X. Chen (2015) Investigating the associations between road network structure and non-motorist accidents. *Journal of Transport Geography*, v. 42, p. 34–47.