AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA SOBRECARGA DOS VEÍCULOS PESADOS NA RODOVIA BR-290/RS

Filipe Pereira dos Reis
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Natália Guterres Mensh
Mestre em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Lélio Antônio Teixeira Brito
PhD. em Engenharia Civil
University of Notthingham
Eduardo Ballejo Meirelles
Engenheiro Civil na Triunfo Concepa
Felipe Cipriani Luzzi
Engenheiro Civil na Triunfo Concepa
Mirian Ramos Quebaud
Gerente de Regulação e Outorga da Exploração de Rodovias
Agência Nacional de Transportes Terrestres
Marisa Dagmar Tiefensee
Coordenadora de Infraestrutura Rodoviária
Unidade Regional do Rio Grande do Sul da ANTT

RESUMO
As rodovias brasileiras são responsáveis por 61,1% do transporte de cargas e 95% do transporte de pessoas, demonstrando a importância do modal rodoviário para o desenvolvimento do país. O objetivo desse estudo é determinar os valores de sobrecarga existentes no trecho entre os km 96 e 112 da rodovia BR-290/RS. Foram utilizados os dados de sobrecarga média e um volume diário médio de veículos de carga do posto de pesagem veicular da praça de pedágio de Eldorado do Sul (km 110). Calculou-se através da metodologia USACE: o fator veicular, o qual foi utilizado juntamente com os dados de volume diário médio da praça de pedágio para determinar o número N; e a projeção para os próximos 20 anos. Conclui-se da pesquisa que o aumento de veículos sobrecarregados impacta na vida útil dos pavimentos. Ainda, efetuou-se a extrapolação do percentual dos veículos com a sobrecarga medida para demonstrar os possíveis efeitos.

1. INTRODUÇÃO

É inegável a importância do transporte de carga pelo modal rodoviário no cenário brasileiro, tendo em vista a grande extensão territorial do país e a necessidade de entrega de produtos essenciais ao destino final, uma vez que a inexistência de tal transporte poderia acarretar em problemas de falta de matéria-prima e materiais a serem processados em indústrias, a diminuição do comércio externo e a falta de produtos aos consumidores (Albano, 2005). Ainda, esse tipo de transporte, de acordo com Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (2017), possui a maior representatividade entre os modais existentes, integrando todos os estados brasileiros, com 61,1% dos transportes de cargas e 95% do transporte de passageiros (CNT, 2016).

Um dos problemas advindos da sobrecarga de veículos é a degradação prematura dos pavimentos flexíveis, com o desgaste superficial e aumento dos esforços de tração, o que acarreta na aceleração do surgimento de trincas (Brito e Bock, 2013). Mesmo o pavimento tendo como função principal suportar grandes cargas e qualquer ação externa, o pavimento não é dimensionado para absorver o impacto gerado pela sobrecarga dos veículos. A Figura 1 mostra uma estimativa de Pinto e Preussler (2002) para queda de serventia do pavimento em função da

sobrecarga por eixo. Pode-se observar que se trata de uma curva logarítmica e que, portanto, com pequenas porcentagens de sobrecarga a serventia cai drasticamente.

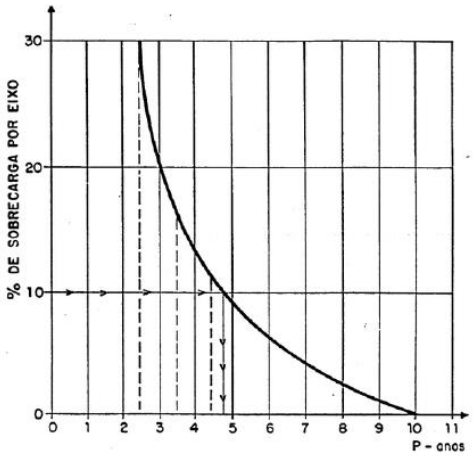


Figura 1 - Curva de sobrecarga por eixo versus a redução da vida útil de pavimentos
FONTE: Pinto e Preussler, 2002

A condição do pavimento descreve genericamente várias funções e condições estruturais de uma seção de pavimento, levando em conta a sua capacidade de transportar as cargas veiculares (Yu et al., 2007). De acordo com Archilla (2006), os dados utilizados para estimar parâmetros de modelos de deterioração do pavimento geralmente consistem de indicadores com medições frequentes ao longo do tempo em várias seções de pavimento.

Alguns modelos de previsão de deterioração do pavimento utilizados mundialmente demonstram que o volume diário médio anual do tráfego, o eixo padrão rodoviário, a idade do pavimento e o número de repetições do eixo padrão (número N) são os principais fatores utilizados na análise da deterioração do pavimento (Santos e Ferreira, 2013; Archilla, 2006; Yu *et al*., 2007; Sathaye *et al.,* 2010). Nesse contexto, de modo a avaliar a importância transporte de carga pelo modal rodoviário com a prevenção da degradação do pavimento, utiliza-se de mecanismos de controle que limitam o peso da carga dos veículos, prezando pela qualidade e durabilidade dos pavimentos. Mensch e Brito (2015) dissertam sobre o efeito da sobrecarga no dimensionamento de pavimentos para a BR-290/RS para as porcentagens de 7,5%, 14,7% e 20% sobre o eixo. Os autores concluíram que a vida útil do pavimento reduz consideravelmente, variando de 25% a 64%, o que significa uma redução da vida útil de aproximadamente 5 a 13 anos do período de projeto.

A rodovia objeto de estudo foi a BR-290/RS ao longo do ano de 2016, para o segmento localizado entre os km 96 e 112 da rodovia BR-290/RS. A mesma detém grande representatividade comercial, visto que o trecho é o principal responsável por fazer a conexão das regiões sul e sudoeste com a região metropolitana do estado do Rio Grande do Sul, tendo como objetivo determinar a influência da sobrecarga dos veículos na diminuição da vida útil dos pavimentos.

2. DADOS COLETADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

A balança utilizada para o estudo está localizado no km 110 da rodovia BR-290/RS, próxima a praça de pedágio de Eldorado do Sul da Concepa, empresa do grupo Triunfo responsável pela

administração do trecho entre Osório e Guaíba. A Figura 2 apresenta o mapa de localização da balança objeto de estudo.



Figura 2: Mapa de localização da balança
Fonte: Adaptado de Google Maps.

Para a elaboração do estudo da influência da sobrecarga, foram utilizados os dados recolhidos ao longo do ano de 2016 no Posto de Pesagem Veicular (PPV) do km 110 da rodovia, apresentados resumidamente na Tabela 1, assim como os dados de volume diário médio anual de veículos pesados (VDMa), coletados a partir da praça de pedágio localizada junto ao PPV.

Tabela 1: Resumo de veículos pesados em 2016

Mês	Pesados	Autuados PBT	% aut. PBT
Janeiro	0	0	0,00%
Fevereiro	10824	149	1,38%
Março	5272	59	1,12%
Abril	9673	83	0,86%
Maio	9788	75	0,77%
Junho	8758	39	0,45%
Julho	2754	11	0,40%
Agosto	7031	74	1,05%
Setembro	9454	103	1,09%
Outubro	5639	83	1,47%
Novembro	493	16	3,25%
Dezembro	6211	101	1,63%
Total	75897	793	1,04%

Fonte: Dados do PPV no ano de 2016.

A partir dos dados coletados, foram selecionados os veículos autuados pelo excesso de peso bruto total (PBT) e classificados de acordo com o Quadro de Fabricantes de Veículos (DNIT, 2012), o qual define as limitações de PBT para cada classe veicular. Com a categorização dos veículos, realizou-se uma contagem para a determinação do percentual de classe na frota (PC) da rodovia BR-290/RS em relação ao total de veículos autuados. Por fim, calculou-se o VDM por veículo através da multiplicação do VDMa total pelo percentual de classe na frota.

Através dos veículos autuados pelo excesso de PBT foi possível determinar o percentual de sobrecarga média, calculado pela divisão do excesso de PBT pelo PBT limite da classe do veículo. Salienta-se que os veículos dentro da tolerância de sobrecarga de 5%, estipulado na resolução nº 526 do CONTRAN (2015), foram considerados pela pesquisa como não sobrecarregados, uma vez que o PBT dos veículos são catalogados pelo PPV apenas no caso de autuação dos mesmos.

Para a determinação do número N, utilizou-se a metodologia da *United States Army Corps of Engineers* (USACE), que, conforme Balbo (2007), foi de onde foram baseadas as curvas de correlação para a determinação do fator veicular (FV), contidas no manual de pavimentação do DNIT (2006). Optou-se pela metodologia proposta pela USACE para garantir uma maior precisão nos resultados obtidos. A Tabela 2 apresenta as equações utilizadas para o cálculo do fator veicular.

Tabela 2: Formulação para o fator veicular (USACE)

Tipo de Eixo	Código	Faixa de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro Simples e Traseiro Simples	ES / ED	< 8	$FV = 2{,}0782 \times 10^{-4} \times P^{4{,}0175}$
		≥ 8	$FV = 1{,}8320 \times 10^{-6} \times P^{6{,}2542}$
Tandem Duplo	ETD	< 11	$FV = 1{,}592 \times 10^{-4} \times P^{3{,}472}$
		≥ 11	$FV = 1{,}528 \times 10^{-6} \times P^{5{,}484}$
Tandem Triplo	ETT	< 18	$FV = 8{,}0359 \times 10^{-5} \times P^{3{,}3549}$
		≥ 18	$FV = 1{,}3229 \times 10^{-7} \times P^{5{,}5789}$

Fonte: Adaptado de IPR 723 (2006).

A partir da determinação do fator veicular (FV), dos dados do percentual de classe na frota (PC) e do VDM - obtido pela extrapolação dos dados veículos autuados em função do VDMa medido na praça de pedágio de Eldorado do Sul -, foi possível obter o número N_{ano}, através do somatório dos números N_{frota}, determinados para cada classe de caminhão, por meio da seguinte equação:

$$N_{frota} = FV * PC * VDM * 365$$

Onde: N_{frota} = Número de repetições do eixo padrão
FV = Fator Veicular
PC = Percentual de veículos na frota (%)
VDM = Volume Diário Médio

Estipulou-se um crescimento do VDM médio de 2,21%, obtido por meio do cálculo das taxas de crescimento do VDM da praça de pedágio de Eldorado do Sul, analisando os anos de 1999 a 2016. Tal taxa de crescimento será utilizada para realizar a projeção do número N para os próximos 20 anos.

Finalmente, com o objetivo de determinar a variação da vida útil do pavimento com a evolução do número N ao longo dos anos, estipulou-se uma relação do número N sem sobrecarga com o número N para as demais curvas calculadas para esta rodovia.

3. RESULTADOS

A partir dos dados coletados referentes a contagem de veículos por classe, foi possível determinar o percentual da classe na frota e, por conseguinte, o VDM do trecho do km 96 ao 112 da rodovia BR-290/RS, conforme indicado pela Tabela 3.

Tabela 3: VDM por classe de veículo

Nome	Classe	Contagem por classe	Percentual da classe na frota (%)	VDM
Caminhão	2C	335	42,24%	2331
Ônibus	2CB	46	5,80%	320
Caminhão	2CC	84	10,59%	584
Caminhão Trator + Semi-Reboque	2S1	1	0,13%	7
Caminhão Trator + Semi-Reboque	2S2	9	1,13%	63
Caminhão Trator + Semi-Reboque	2S3	28	3,53%	195
Ônibus Trucado Misto	3BB	1	0,13%	7
Ônibus Trucado	3BC	5	0,63%	35
Caminhão Trucado	3C	169	21,31%	1176
Caminhão Trucado + Reboque	3C3	2	0,25%	14
Ônibus Trucado Misto	3CB	2	0,25%	14
Caminhão Trator Trucado + Semi-Reboque	3D3	9	1,13%	63
Caminhão Trucado + Reboque	3D4	1	0,13%	7
Caminhão Trator Trucado + Semi-Reboque	3I2	1	0,13%	7
Caminhão Trator Trucado + Dois Semi-Reboque	3M6	1	0,13%	7
Caminhão Trator Trucado + Semi-Reboque	3S2	2	0,25%	14
Caminhão Trator Trucado + Semi-Reboque	3S3	61	7,69%	424
Bi Trem Articulado	3T4	4	0,50%	28
Rodotrem	3T6	3	0,38%	21
Caminhão Duplo Direcional Trucado	4CD	29	3,66%	202
Total		793	100%	5518

Ainda, a partir dos dados dos veículos autuados pelo excesso de PBT, podemos estimar a sobrecarga média da amostra encontrada para o ano de 2016 na rodovia BR-290/RS. Esse resultado se dá em 13,16% de sobrecarga no total dos veículos autuados, demonstrando que, ainda que poucos veículos tenham sido autuados, o nível de sobrecarga está elevado, acima do dos 5% permitidos.

Com o intuito de demostrar a evolução número N ao longo de vinte anos, a Tabela 4 evidencia o N acumulado sem sobre carga e o N acumulado com 1,04% de veículos sobrecarregados (VS), valor esse resultante do percentual de veículos autuados por excesso do PBT, conforme apresentado anteriormente na Tabela 1.

Tabela 4: Evolução do número N

Ano	N acum. sem sobrecarga	N acum. com 1,04% VS
1	2,50E+06	2,57E+06
2	5,12E+06	5,25E+06
3	7,85E+06	8,05E+06
4	1,07E+07	1,10E+07
5	1,36E+07	1,40E+07
6	1,67E+07	1,71E+07
7	1,99E+07	2,04E+07
8	2,31E+07	2,37E+07
9	2,65E+07	2,72E+07
10	3,00E+07	3,08E+07
11	3,36E+07	3,45E+07
12	3,74E+07	3,83E+07
13	4,12E+07	4,22E+07
14	4,51E+07	4,63E+07
15	4,92E+07	5,04E+07
16	5,33E+07	5,47E+07
17	5,76E+07	5,91E+07
18	6,20E+07	6,36E+07
19	6,65E+07	6,82E+07
20	7,11E+07	7,29E+07

Tendo como objetivo elucidar de forma clara a evolução do número N ao longo dos anos e a sua relação com o número N sem sobrecarga para esta rodovia, foi elaborada a Figura 2. Ainda, no presente gráfico constam as duas curvas oriundas da extrapolação do percentual de veículos sobrecarregados de 5% e 10%.

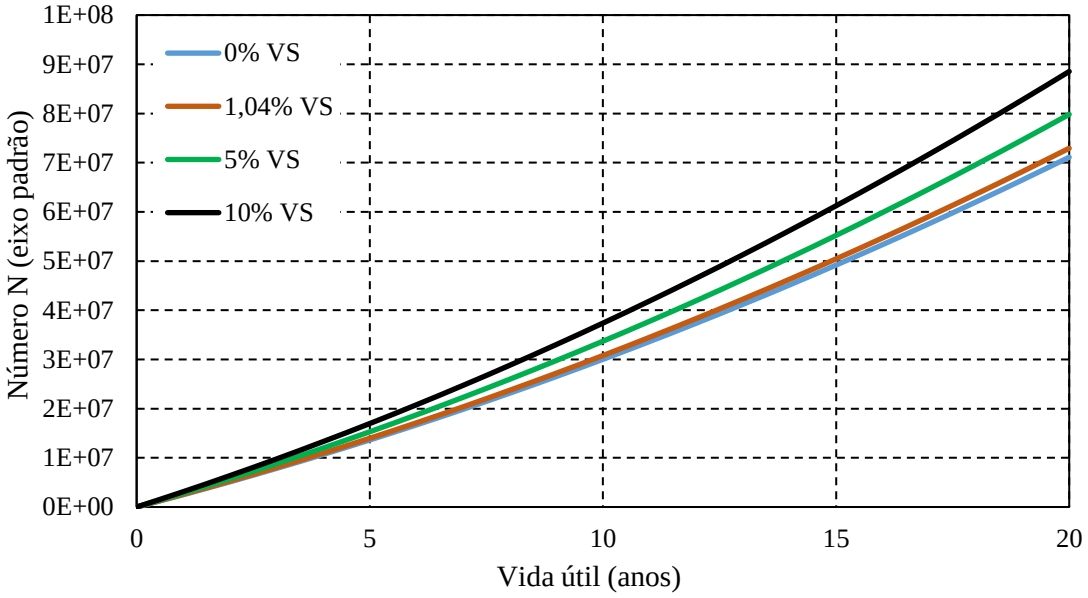


Figura 2: Evolução do número N ao longo da vida útil.

4. CONCLUSÃO

O estudo realizado teve como objetivo determinar o percentual de sobrecarga existente na rodovia e analisar o seu efeito na vida útil do pavimento, através da sua comparação ao número N encontrado sem sobrecarga. Destaca-se o fato de que apenas 1,04% dos veículos aferidos foram autuados pelo excesso de carga. Estudos prévios realizados em outro trecho da BR-290 com uso de tecnologia *Weigh-in-Motion* (WIM) e monitoração 24hs, demonstram um número de veículos com excesso de sobrecarga consideravelmente superior a este, sendo de 9,63%. Esta variação pode ser explicada pelo fato de que, aproximadamente, apenas 3,77% da frota do local foi aferida, de acordo com a comparação do VDM e do número total de veículos registrados no PPV. Cabe ressaltar que os veículos que possuíam sobrecarga, mas que se encontravam dentro do limite dos 5% estabelecidos pela resolução n° 526 do CONTRAN (2015), não foram incluídos no estudo, uma vez que não estavam dentro dos dados fornecidos pelo posto de pesagem veicular do km 110 da BR-290/RS.

Considerando os percentuais de veículos sobrecarregados de 1,04%, 5% e 10%, obtivemos uma redução na vida útil do pavimento, inicialmente projetada para 20 anos, para 19,5, 18,1 e 16,85 anos, respectivamente. Assim, podemos concluir que, para os dados adquiridos pelo estudo realizado, e considerando que a rodovia tenha sido projetada para um N igual ao encontrado para veículos sem sobrecarga, o pavimento sofrerá uma redução na sua vida útil de 2,50% para o percentual encontrado de veículos sobrecarregados e uma redução de 9,51% e 15,75%, considerando 5% e 10% da frota que possuem a sobrecarga medida de 13,16%. Esta diminuição da vida útil do pavimento é evidenciada pela degradação prematura do pavimento e impactada de maneira mais significativas com o aumento de veículos sobrecarregados, sendo necessário a realização de manutenções mais frequentes.

Como forma de aperfeiçoamento do controle da sobrecarga na rodovia, sugere-se a utilização de pesagens em movimento, conforme estudo realizado por Brito e Bock (2013), pois desta forma as pesagens seriam realizadas em todos os veículos, a qualquer tempo, não correndo o risco de obter amostras que não sejam significativas a população.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PETER (Programa Especial de Treinamento em Engenharia Rodoviária) ao LAPAV (Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), à Triunfo Concepa (Concessionária Da Rodovia Osório – Porto Alegre) e à ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres), pelo apoio à pesquisa e pelos recursos financeiros disponibilizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, J. F. (2005). *Efeitos do excesso de carga sobre a durabilidade dos pavimentos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS, Porto Alegre.

ARCHILLA, A.E. (2006). Repeated Measurement Data Analysis in Pavement Deterioration Modeling. *Journal of Infrastructure Systems*, v. 12, n.3, p. 163–173.

BALBO, J. T. (2007). *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Oficina de Textos. SP, São Paulo;

BRITO, L. A.; BOCK, A. (2013). *Estudo do Espectro de Cargas dos Veículos Comerciais rodantes na BR- 290/RS, Freeway, através do uso da técnica do Weigh-in-Motion (WIM)*. Concessionária Da Rodovia Osório – Porto Alegre. RS, Porto Alegre

CNT (2016). *Pesquisa CNT de rodovias 2016: relatório gerencial.* Confederação Nacional Dos Transportes; Sest, Senat. DF, Brasília

CONTRAN (2015). *Resolução nº 526 de 29 de abril de 2015*. Conselho Nacional De Transito. DF, Brasília

DNIT (2006). *Manual de Estudo de Tráfego.* Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR Publ., 723). RJ, Rio de Janeiro

DNIT (2006). *Manual de pavimentação*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR. Publ., 719). RJ, Rio de Janeiro

DNIT (2012). *Quadro de fabricantes de veículos.* Diretoria de Infraestrutura Rodoviária. RJ, Rio de Janeiro

MENSCH, N. G.; BRITO, L. A. (2015). *Efeito da sobrecarga em pavimentos flexíveis – uma análise simplificada das cargas rodantes na BR-290/RS*. VII Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul – GEORS. RS, São Leopoldo.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL (2017). *Transporte Rodoviário*.

PINTO, S.; PREUSSLER E. (2002). *Pavimentação rodoviária – conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis*. Copiarte. RJ, Rio de Janeiro.

SANTOS, J.; FERREIRA, A. (2013). Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level. *International Journal of Pavement Engineering*, v. 14, n. 1, p. 71–84.

SATHAYE, N.; HORVATH, A.; MADANAT, S. (2010). *Unintended impacts of increased truck loads on pavement supply-chain emissions*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 44, n. 1, p.1 – 15.

YU, J.; CHOU, E.Y.J.; LUO, Z. (2007). Development of Linear Mixed Effects Models for Predicting Individual Pavement Conditions. *Journal of Transportation Engineering*, v.133, n.6, p. 347–354.

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DA RODOVIA BR-290/RS COM A IMPLEMENTAÇÃO DA QUARTA FAIXA

Douglas Cardoso Engelke
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Douglas Martins Mocelin
Mestrando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Lélio Antônio Teixeira Brito
PhD. em Engenharia Civil
University of Notthingham
Keli Mallmann
Mestranda em Engenharia Civil
University of Southampton
Rafael Sacardo
Engenheiro Civil na Triunfo Concepa
Mirian Ramos Quebaud
Gerente de Regulação e Outorga da Exploração de Rodovias
Agência Nacional de Transportes Terrestres
Marisa Dagmar Tiefensee
Coordenadora de Infraestrutura Rodoviária
Unidade Regional do Rio Grande do Sul da ANTT

RESUMO
A capacidade suportada por uma rodovia é um parâmetro fundamental na avaliação das condições de tráfego. A implementação de novas faixas em qualquer rodovia permite que um maior número de veículos utilize a via ao mesmo tempo, aumentando a capacidade suportada. Nesse contexto, a quarta faixa da BR-290/RS, corredor logístico do estado e ligação importante da região metropolitana ao centro de Porto Alegre, é relevante devido à construção de um acesso a uma estrada nova, a BR-448/RS, uma rodovia com alto volume de tráfego. A análise feita por esse trabalho é de grande relevância para constatar a importância na mobilidade que a implantação da nova faixa trouxe a um dos trechos mais críticos da BR-290/RS. A construção de uma nova faixa mostrou-se eficiente, uma vez que um maior número de veículos consegue chegar a Porto Alegre ao mesmo tempo, apesar das condições de acesso das vias urbanas.

1. INTRODUÇÃO

A capacidade de uma rodovia impacta diretamente nas condições de trafegabilidade. Dessa forma, existem alternativas na infraestrutura rodoviária que podem ser implementadas para melhorar a capacidade suportada por uma rodovia. A implantação da quarta faixa de tráfego do km 75 ao km 96,5 da BR-290/RS é um exemplo de alternativa viável para a melhora das condições de tráfego.

O trecho que abrange a quarta faixa é de extrema relevância no contexto de mobilidade. Esse trecho é responsável pelo acesso da região metropolitana de Porto Alegre à capital gaúcha. Diariamente, ocorre o movimento pendular, principalmente de trabalhadores, em direção à Porto Alegre, gerando um acúmulo de viagens em direção à capital pela parte da manhã e em direção contrária ao final da tarde (ANTT, 2015). Dessa forma, a principal via de acesso, a BR-290/RS, também conhecida popularmente como “Freeway”, recebe uma grande demanda e, por vezes, pode ter a sua capacidade atingida.

Através de dados de tráfego fornecidos pela Triunfo Concepa, concessionária responsável pela administração da rodovia entre Guaíba e Osório, foram avaliadas as condições de tráfego em

dois pontos, cujo volume médio diário de tráfego está entre os maiores da rodovia. Este trabalho apresenta as análises dos dados obtidos de cada veículo que utilizou a rodovia durante o período estudado e as suas implicações na capacidade suportada pela Freeway, além de demonstrar o impacto positivo das obras de implementação da quarta faixa em um dos trechos mais críticos.

2. DADOS COLETADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

Os dados utilizados para o estudo são provenientes de dois contadores de tráfego instalados na rodovia. Um dos contadores foi instalado no sentido litoral-capital no km 96 da BR-290/RS e o outro no sentido contrário no km 95.

Os dados coletados são do mês de maio, porém de anos distintos. A primeira coleta é de 2013, antes do início da execução das obras de ampliação de faixas e, antes também, do término das obras da rodovia BR-448/RS. A BR-448/RS, conhecida como Rodovia do Parque, é uma alternativa a BR-116/RS para acessar a BR-290/RS. Com a obra da quarta faixa finalizada e a utilização da BR-448/RS em sua plena capacidade, foram coletados, novamente, dados de tráfego de maio de 2016.

Estes pontos foram escolhidos, visto que representam um trecho com volume médio diário anual (VMDa) de tráfego elevado. O VMDa corresponde ao número total de veículos que trafegam em uma rodovia durante um ano dividindo por 365 (DNIT, 2006).

Tabela 1: VMDa do trecho de concessão da Triunfo Concepa (Adaptado de TRIUNFO CONCEPA, 2013 e 2016)

Subtrechos da Concessão			**VMDa TOTAL**	
PONTOS	**BR**	**Km**	**2013**	**2016**
A	290	19	30.785	30.374
B	290	30	31.340	30.920
C	290	65	31.872	31.446
D	290	70	33.484	32.123
E	290	77	42.665	40.925
F	290	84	42.665	40.925
G	290	88	109.033	104.588
H	***290***	***95***	***109.033***	***104.588***
I	290	98	37.779	36.548
J	290	110	29.936	28.961
K	116	293	24.556	23.756
L	116	298	24.556	23.756

Importante destacar que os únicos pontos de acesso à rodovia localizavam-se no km 91,8 e no km 96,8. A partir do final de 2013, com a inauguração da Rodovia do Parque, um novo acesso no km 94 (Figura 1) da BR-290/RS nos dois sentidos de tráfego passou a ser utilizado. Outro detalhe importante é que a partir do km 96,8 a rodovia segue em direção a cidade de Guaíba, sentido diferente a entrada da capital.

O volume mais intenso de veículos que utilizam os acessos entre a BR-448/RS e a BR-290/RS ocorre em dois momentos: no acesso à capital gaúcha pela parte da manhã e na saída de Porto Alegre pelas alças de acesso existentes na Freeway pela parte da tarde. Assim, o contador de

tráfego do km 96 abrange todos os veículos que acessam Porto Alegre pelas duas rodovias e o equipamento do km 95 abrange todos os veículos que saem da capital pelas duas rodovias.

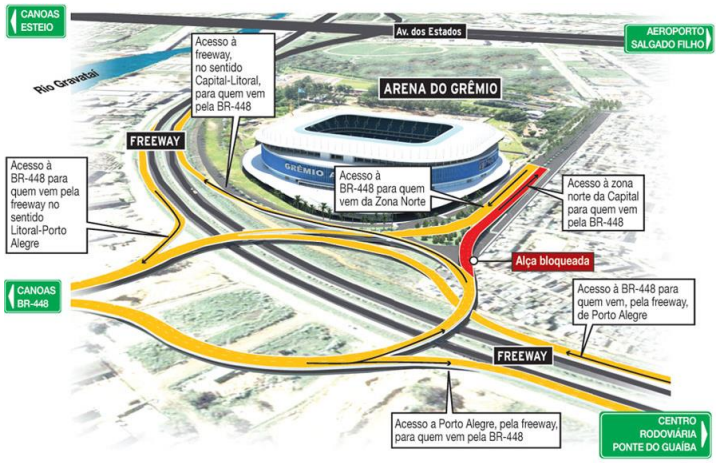


Figura 1: Configuração de acesso da BR-448/RS (Zero Hora, 2013)

Os dados analisados do km 96 foram coletados nos dias 6 (segunda-feira), 7 (terça-feira), 8 (quarta-feira), 16 (quinta-feira) e 17 (sexta-feira) de maio de 2013 e nos dias 9 (segunda-feira), 10 (terça-feira), 11 (quarta-feira), 12 (quinta-feira) e 13 (sexta-feira) de maio de 2016. Os dados analisados do km 95 foram coletados nos dias 2 (quinta-feira), 3 (sexta-feira), 6 (segunda-feira) de maio de 2013 e nos dias 2 (segunda-feira), 3 (terça-feira), 4 (quarta-feira), 5 (quinta-feira) e 6 (sexta-feira) de maio de 2016.

Visto que a rodovia, no sentido capital-litoral, apresenta um menor volume de veículos, comprovado pelos dados de VMD de 2016, e por questões de disponibilidade de dados do ano de 2013 foram utilizados apenas três dias de informações do km 95.

Tabela 2: VMD na saída de Porto Alegre

KM 95 - Sentido Capital-Litoral					
DIA	2/5/2016	3/5/2016	4/5/2016	5/5/2016	6/5/2016
VMD	47.617	34.490	38.176	49.574	47.171
SOMA					217.028
VMD					43.406

Tabela 3: VMD na entrada de Porto Alegre

KM 96 - Sentido Litoral-Capital					
DIA	9/5/2016	10/5/2016	11/5/2016	12/5/2016	13/5/2016
VMM	54.089	53.488	56.867	58.750	58.114
SOMA					281.308
VMD					56.262

Os contadores de tráfego utilizados fornecem diversas informações de cada veículo que passa no ponto em que o equipamento está instalado. É identificado a velocidade, o comprimento, o número de eixos de cada veículo, entre outras informações. Pelo método utilizado neste trabalho para a análise da capacidade da rodovia, é necessário estar de posse dos dados de quantidade de veículos (volume), e da velocidade.

A análise baseia-se na teoria do fluxo de tráfego que tem como objetivo demonstrar o comportamento do tráfego em um sistema viário. Essa análise é feita através da teoria macroscópica de fluxo, considerando um fluxo contínuo de veículos, que relaciona o fluxo, o volume, a velocidade média e a densidade dos veículos em uma rodovia. Essa relação é chamada de relação fundamental do tráfego, cuja equação é a seguinte:

$$q = v \times k \quad (1)$$

em que: q: fluxo (veículos/h)
v: velocidade média no espaço (km/h)
k: densidade (veículos/km)

Essas variáveis relacionam-se comumente por pares. Desta forma, será feita a análise do fluxo com a velocidade. O ponto de fluxo máximo representa a capacidade da rodovia. É o número máximo de veículos que uma rodovia é capaz de suportar sem que exista um congestionamento (Setti, 2009). Para os dois pontos da rodovia escolhidos para avaliação da capacidade, são apresentados a relação fluxo-velocidade.

Em estudo feito por Cybis e Caleffi (2016) na avaliação de capacidade do uso do acostamento da rodovia BR-290/RS, foi usado a quantidade de veículos e suas respectivas velocidades. Dessa forma, a apresentação dos dados dos contadores desse trabalho é feita de maneira equivalente, além de agrupar as informações em períodos de uma hora.

3. RESULTADOS

Compilando os resultados da análise dos km 96 e km 95, foi possível apresentar uma relação fluxo-velocidade através de gráficos (Figuras 2, 3, 4 e 5). Importante destacar que a estimativa de capacidade é avaliada através da análise visual e, portanto, pode apresentar alguma imprecisão. Entretanto, esse tipo de análise mostra-se efetiva para o objetivo desse trabalho.

Na Figura 2, referente ao km 96, é possível verificar que a capacidade da rodovia antes da obra de implementação da quarta faixa era aproximadamente 4.800 veículos por hora. Após as obras e com o acesso a BR-448/RS em funcionamento, a capacidade do trecho aumentou para um volume próximo de 6000 veículos por hora. Esta mudança, com a nova configuração da rodovia, pode ser observada na Figura 3.

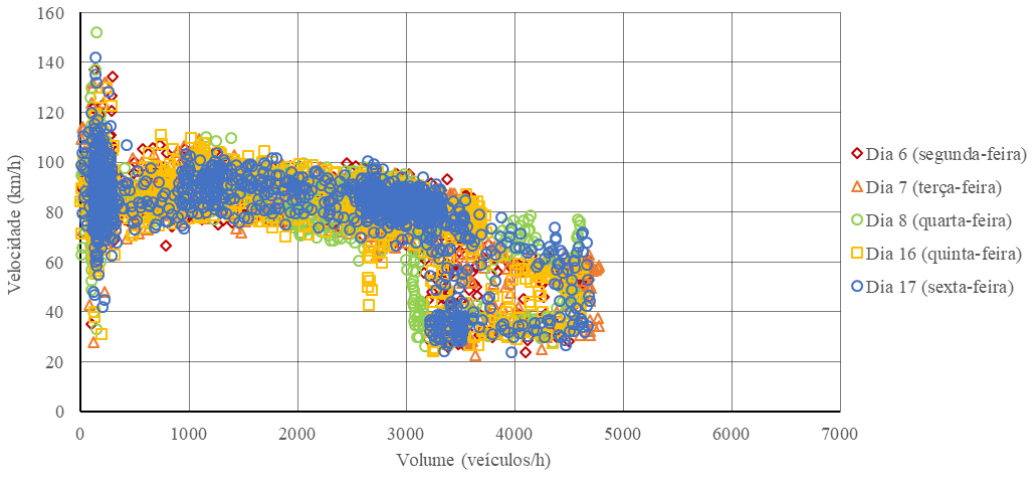


Figura 2: Relação fluxo-velocidade do km 96 de maio de 2013 (sentido litoral-capital)

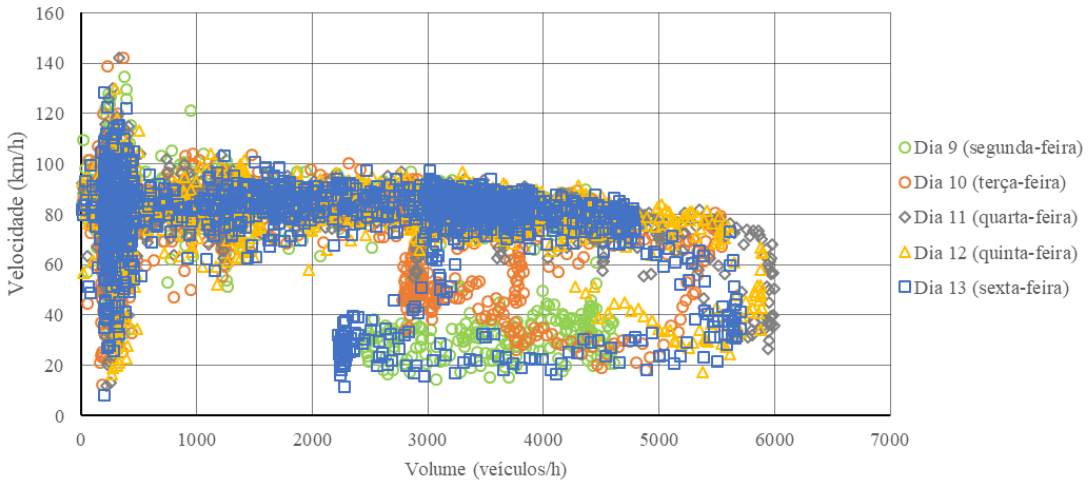


Figura 3: Relação fluxo-velocidade do km 96 de maio de 2016 (sentido litoral-capital)

Além do aumento da capacidade, a velocidade média em determinados instantes alcançou níveis menores após a implantação da quarta faixa e o VMD dos dados analisados em 2013 é menor do que o VMD de 2016, conforme Tabela 4.

Tabela 4: VMD do km 96 (sentido litoral-capital)

VMD - km 96	
2013	47.000
2016	56.262

Ressalta-se que não houve qualquer tipo de registro de incidentes na BR-290/RS que pudessem caracterizar uma discrepância nos volumes de tráfego apresentados nos dias analisados. Os dados do km 95 apresentam resultados diferentes do km 96, como mostram as Figuras 4 e 5. Para a análise de resultados, foram considerados os mesmos dias da semana nos dois anos.

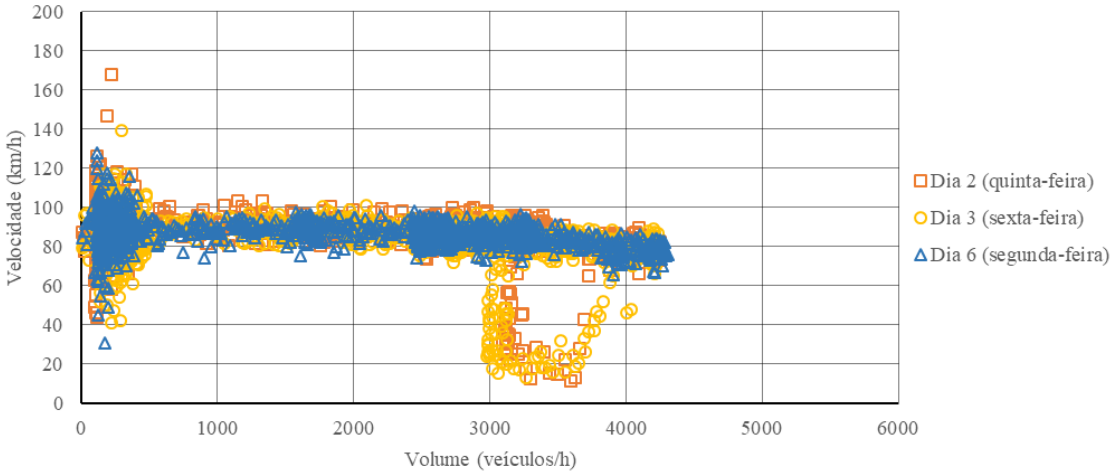


Figura 4: Relação fluxo-velocidade do km 95 de maio de 2013 (sentido capital-litoral)

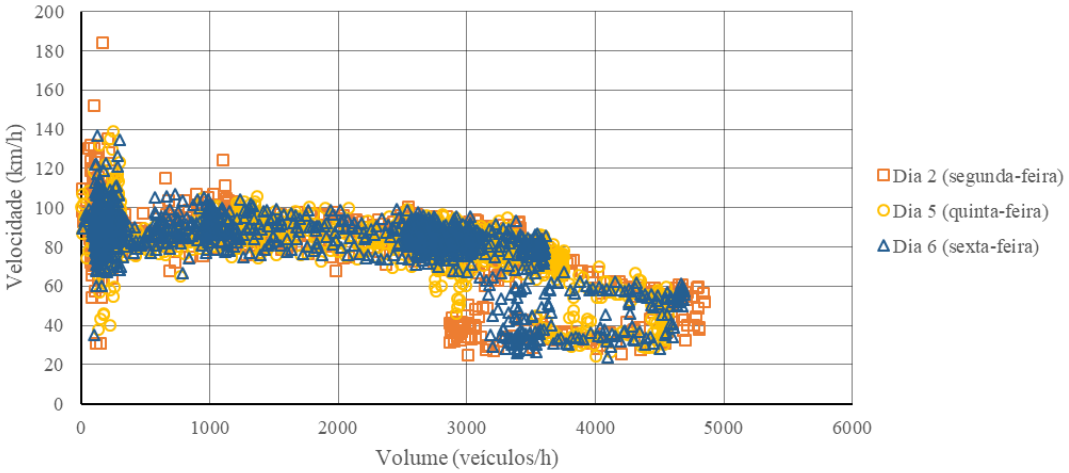


Figura 5: Relação fluxo-velocidade do km 95 de maio de 2016 (sentido capital-litoral)

Não é possível verificar, através dessa amostragem, a capacidade da rodovia para o km 95 em 2013, pois ocorre um colapso de fluxo (*breakdown*) na rodovia nos dias 2 e 3. O *breakdown* é caracterizado quando há a combinação do aumento da densidade, uma queda na velocidade e um fluxo de veículos menor (Cybis e Caleffi, 2016).

Como não houveram registros de nenhum tipo de incidente no trecho de estudo nos dias de coleta de dados, algum outro motivo externo pode ter prejudicado o tráfego nesses dias. Uma possibilidade é a existência de incidentes nas rodovias que estão interligadas a BR-290/RS nas proximidades do trecho estudado ou nas ruas das cidades da região metropolitana de Porto Alegre.

Os dados levantados na rodovia no km 95 de 2016 também não são conclusivos quanto à capacidade. Nos três dias avaliados, houveram incidentes que interferiram no tráfego da rodovia. Nos dias 2 e 6, ocorreram colisões traseiras nas proximidades do trecho que afetaram o fluxo de veículos. No dia 3, houve um engavetamento na alça de acesso à BR-448/RS. No comparativo do VMD do km 95, foram analisados somente os dados dos dias da semana em comum aos dois anos. O VMD do km 95 nos dias usados para análise nos dois anos foi muito parecido.

Tabela 5: VMD do km 95 (sentido capital-litoral)

VMD - km 95	
2013	49.136
2016	48.121

Importante destacar que a velocidade média se manteve parecida nos instantes em que não há existência de fatores externos. Mesmo que não houvesse a ocorrência de incidentes que afetam a análise dos resultados, seria improvável que a real capacidade do km 95 fosse alcançada, uma vez que a demanda não é elevada o suficiente.

4. CONCLUSÃO

O aumento da capacidade da rodovia já era esperado, visto que houve uma ampliação de faixa. Destaca-se que houve um aumento de VMD na direção litoral-capital, provavelmente causado

pela BR-448/RS. Desta forma, caso não houvesse um aumento de VMD, a rodovia poderia ter períodos menores de congestionamento.

Outro ponto que se deve destacar é o afunilamento existente na transição da BR-290/RS para a Avenida da Legalidade na chegada a Porto Alegre. A Avenida da Legalidade, cujo número de faixas é menor do que a da BR-290/RS, é a ligação entre a rodovia e o centro da capital gaúcha. Portanto, o afunilamento acarreta em uma diminuição de velocidade para que o fluxo de veículos se adapte a nova formatação de tráfego, causando um efeito cascata no restante da rodovia. Além do afunilamento, o volume intenso de tráfego existente no centro da cidade nos horários de pico também colabora com a piora da situação.

O afunilamento explica também a diminuição da velocidade média em períodos de alta demanda de tráfego. A necessidade de adaptação do fluxo para um novo cenário (transição entre BR-290/RS e Avenida da Legalidade) acarreta na necessidade de troca de faixa de alguns veículos e, consequentemente, diminuição de velocidade.

Apesar da existência de períodos de lentidão no sentido capital-litoral, o VMD menor existente ressalta que não há um problema de capacidade da rodovia nesse sentido, mas a existência de outros fatores que influenciam no tráfego. A possibilidade de ocorrência de acidentes é um desses fatores que podem influir no fluxo dos veículos. Além de que nesse sentido não acontece o afunilamento, pelo contrário, há uma expansão na transição da Avenida da Legalidade para a BR-290/RS.

Fica evidente que a ampliação de faixas foi uma medida eficiente e alcançou os objetivos para o trecho da BR-290/RS, todavia as obras da quarta faixa não deixaram de causar congestionamentos pelo fato de que não houveram melhorias nas condições de chegada ao centro de Porto Alegre. Para que os efeitos positivos da obra tivessem uma maior expressão, haveria necessidade de uma readequação das vias urbanas na chegada à capital.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao Programa Especial de Treinamento em Engenharia Rodoviária, ao Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, à Triunfo Concepa e à ANTT pelo apoio no desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTT (2015) *Estudo de viabilidade técnico-econômica-ambiental ruas laterais à rodovia BR-290/RS – km 60 ao km 96.* Agência Nacional de Transportes Terrestres. Novembro de 2015.

CYBIS, H. B. B.; CALEFFI, F. (2016) *Avaliação das condições operacionais da Freeway considerando o atendimento do fluxo sazonal de verão e identificação de alternativas para atender as condições de uso futuro da rodovia.* Relatório final de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico – ANTT. Porto Alegre, RS.

DNIT (2006) *Manual de Estudo de Tráfego.* Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.

DA SILVA, P. C. M. (2007) *Engenharia de Tráfego Apostila: Teoria do Fluxo de Tráfego.* Universidade de Brasília. DF, Brasília.

DEMARCHI, S. H.; SETTI, J. R. A. (s. d.) *Análise de capacidade e nível de serviço de rodovias.* Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR.

DEMARCHI, S. H.; SETTI, J. R. A. (s. d.) *Análise de capacidade e nível de serviço de rodovias do tipo pista dupla expressa (freeway).* Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR.

SETTI, J. R. (2009) *Highway capacity manual ou um manual de capacidade rodoviária brasileiro?* Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

TRB (2000) *Highway Capacity Manual. Special Report 209*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, EUA, 4ª ed. revisada.

TRIUNFO CONCEPA (2013) *Relatório Técnico Operacional Físico Financeiro.* Dezembro de 2013.
TRIUNFO CONCEPA (2016) *Relatório Técnico Operacional Físico Financeiro.* Dezembro de 2016.
ZERO HORA (2013) *Veja um guia de como acessar a Rodovia do Parque.* Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2013/12/veja-um-guia-de-como-acessar-a-rodovia-do-parque-4370298.html>. Acesso em: 5 de julho de 2017.

ANÁLISE DA ACIDENTALIDADE DA RODOVIA BR-290/RS COM A IMPLEMENTAÇÃO DA QUARTA FAIXA

Gustavo Coelho Fermino
Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Marlova Grazziotin Johnston
Doutora em Engenharia Civil
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Lélio Antônio Teixeira Brito
PhD. em Engenharia Civil
University of Notthingham
Rafael Cornelius
Engenheiro Civil na Triunfo Concepa
Leandro Conterato
Engenheiro Civil na Triunfo Concepa
Mirian Ramos Quebaud
Gerente de Regulação e Outorga da Exploração de Rodovias
Agência Nacional de Transportes Terrestres
Marisa Dagmar Tiefensee
Coordenadora da Infraestrutura Rodoviária
Unidade Regional do Rio Grande do Sul da ANTT

RESUMO
O trânsito consiste em um sistema ligado a quatro fatores: via, homem, veículo e meio-ambiente. Qualquer disfunção em algum destes fatores possibilita a ocorrência de acidentes no trânsito. Buscando uma análise do fator via, este estudo objetiva analisar um caso específico da implementação de uma faixa adicional de tráfego na BR-290/RS e sua influência sobre os acidentes em tal trecho. A partir dos dados, foi possível a realização de um comparativo para períodos similares antes do início das obras e após o encerramento da ampliação. Realizaram-se comparativos: entre os quantitativos de acidentes; entre os índices de severidade e de acidentalidade calculados; e entre os custos de acidentes. Concluiu-se que após a implementação da quarta faixa, em prol das diversas implementações decorrentes da obra, houve uma redução da taxa de acidentalidade e da taxa de severidade, assim como de gastos anuais da sociedade e governo com acidentes do trecho em estudo.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2015), através da publicação do "*Global Status Report on Road Safety 2015*", cerca de 1,25 milhões de pessoas morrem anualmente devido a acidentes no trânsito com base em dados coletados de 180 países, sem citar o número de feridos. Caracterizando os acidentes rodoviários como a principal causa de fatalidades entre pessoas de 15 a 29 anos.

Diante de tal realidade decorrente de anos passados, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu, em 2010, a década de 2011 a 2020 como a Década de Ação para Segurança Viária. Com isto, foi estabelecido no Brasil o Plano Nacional de Redução de Acidentes e Segurança Viária para Década de 2011-2020. Contando com ações de curto, médio e longo prazo, o Plano contempla medidas fundamentadas sobre cinco pilares – fiscalização, infraestrutura, saúde, educação e segurança veicular – visando a redução das taxas de mortalidades e lesões por acidentes de trânsito.

Óbitos, incapacitações permanentes e temporárias, que afetam indivíduos e comunidades são consequências diretas que os acidentes de trânsito contemplam. Entretanto, vale ressaltar também, os enormes custos acarretados para o governo, como gastos com socorro das vítimas,

ocupação de leitos, congestionamentos, perdas de produtividade e de prosperidade para a nação.

Em vista ao contexto atual, e contemplando os diversos prejuízos acarretados pelos acidentes viários, este trabalho objetiva analisar a influência da adição de uma faixa de tráfego a uma rodovia federal sobre a taxa de acidentalidade desta rodovia, comparando a variação em quantidade de acidentes e em custos estimados para a sociedade. Para isto, o objeto de estudo escolhido para esta pesquisa foi o trecho presente entre o km 75+000 e o km 94+300 da BR-290/RS, conhecida como Freeway, e administrada pela Triunfo Concepa, fazendo parte do 1˚ Lote de Concessões das Rodovias Federais.

2. DADOS COLETADOS E MÉTODOS DE ANÁLISE

O trecho estudado contempla a 2ª etapa de alargamento de três para quatro faixas de rodagem da rodovia BR-290/RS, ilustrado na Figura 1 como “Parte 2”. A obra desta etapa foi realizada no período de 14/04/2014 a 30/11/2015, contemplando os 19,3 km presentes entre o km 75+000 e o km 94+300 da rodovia. O trecho de estudo se situa na região metropolitana da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Para a análise da acidentalidade antes e após a construção da quarta faixa, foram coletados dados de acidentes ocorridos neste trecho durante dois períodos iguais com duração de um ano. O primeiro período, anterior à obra, contempla o período de 01/12/2012 a 30/11/2013; enquanto o segundo período, posterior à obra, contempla o período de 01/12/2015 a 20/11/2016. Estas datas foram escolhidas devido ao primeiro dia do período 2016 ser o dia posterior ao término da ampliação de faixas.



Figura 1: Localização do Trecho de Estudo
Fonte: Triunfo Concepa – Adaptado de Google Maps.

Os dados utilizados são procedentes dos registros da concessionária Triunfo Concepa em conjunto com a Polícia Rodoviária Federal (PRF) e são apresentados na Figura 2.

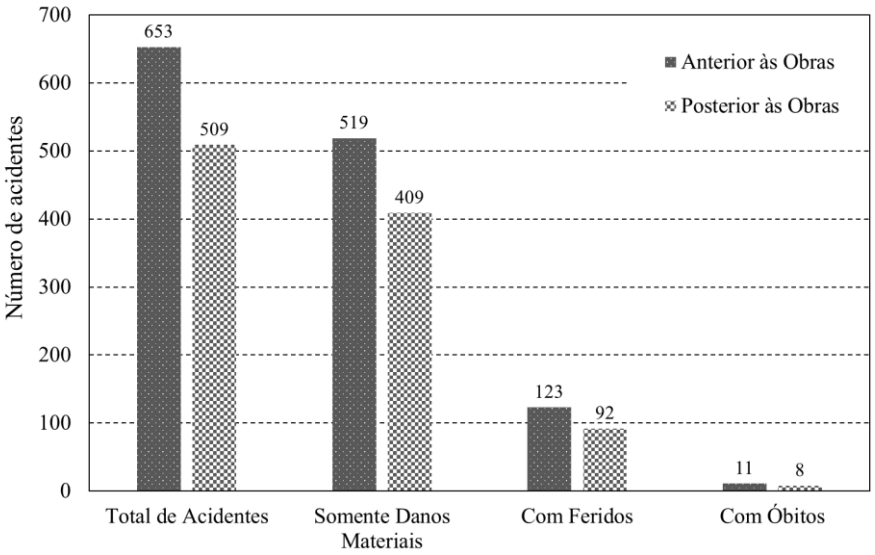


Figura 2: Classificação dos acidentes nos períodos anterior e posterior às obras

Foram obtidos dados referentes aos Volumes Médios Diários anuais (VMDa) do trecho para realização de uma análise mais detalhada de índices de acidentalidade e gravidade da rodovia. Contudo, os dados adquiridos foram os VMDa's relativos a três segmentos homogêneos da rodovia contidos dentro do trecho estudado. Para isto, fora realizada uma ponderação dos VMDa's em função das extensões dos segmentos homogêneos, resultando nos dados da Tabela 1.

Tabela 1: VMDa de cada período para o trecho estudado.

Períodos		**VMDa (km 75+000 - km 94+300)**
Anterior às Obras	01/12/2012 - 30/11/2013	62.280
Posterior às Obras	01/12/2015 - 30/11/2016	60.263

A partir dos dados obtidos, realizou-se o cálculo do índice de severidade ou gravidade (Ig) e do índice de acidentalidade (Ia), baseados nos métodos estipulados pelo DENATRAN (1982) e pelo DNER (1986). Ambos os índices consistem em um parâmetro mais adequado para a análise, do que somente a comparação direta entre números de acidentes, visto que estes índices levam em consideração o VMDa do trecho em análise, que também varia entre os períodos.

Os índices Ig e Ia são calculados de maneiras análogas, a diferença está na ponderação dos acidentes conforme sua classificação para o índice de severidade (ou gravidade). Para o cálculo deste (Ig), é feita a ponderação conforme Equação 1.

$$UPS = A.S.V. + 5 * A.C.V. + 13 * A.C.O. \qquad (1)$$

em que *UPS*: Unidade Padrão de Severidade;
A.S.V.: Número de Acidentes Sem Vítimas;
A.C.V.: Número de Acidentes Com Vítimas;
A.C.O.: Número de Acidentes Com Óbitos.

Com o valor da Unidade Padrão de Severidade, realiza-se o cálculo do Índice de Severidade (ou Gravidade), por meio da Equação 2.

$$Ig = \frac{UPS * 10^6}{VMDa * P * E_j} \qquad (2)$$

em que *Ig*: Índice de Gravidade (ou Severidade);
UPS: Unidade Padrão de Severidade;
VMDa: Volume Médio Diário anual para o trecho (veic./dia);
P: Período de estudo (dia);
E_j: Extensão do trecho em estudo (km).

De maneira análoga, como comentado anteriormente, o Índice de Acidentalidade (Ia) é obtido pelo uso da Equação 3.

$$Ia = \frac{N_j * 10^6}{VMDa * P * E_j} \qquad (3)$$

em que *Ia*: Índice de Acidentalidade;
N_j: Número de acidentes ocorridos no trecho e período de estudo;
VMDa: Volume Médio Diário anual para o trecho (veic./dia);
P: Período de estudo (dia);
E_j: Extensão do trecho em estudo (km).

De posse dos resultados de Ig e Ia, é possível a comparação direta e avaliação da diferença percentual dos índices entre os períodos analisados, 2013 e 2016, bem como avaliar o impacto desta variação nos custos associados.

Para uma análise complementar, foram comparados os dados de quantidades de acidentes multiplicados pelos custos estimados com base nos estudos do Ipea, DENATRAN e ANTP (2006) em parceria com a PRF, atualizados em 2014. Tais custos são estimados conforme a gravidade do acidente, levando em consideração fatores como: custo de remoção veicular; custo no socorro às vítimas; custos pré-hospitalares, hospitalares e pós-hospitalares; perdas de produção associadas às vítimas; entre outros fatores que são consequências dos acidentes. Os custos estimados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Custo Médio dos acidentes por gravidade.

Classificação dos Acidentes	Custo Médio (R$ de Dez/2014)
Somente Danos Materiais	R$ 23.498,77
Com Feridos	R$ 96.747,79
Com Óbitos	R$ 664.821,46

Fonte: Ipea, Denatran e ANTP (2006), com atualização da base de acidentes da PRF (2014).

3. RESULTADOS

A partir dos dados coletados referentes aos acidentes ocorridos antes e após a quarta faixa, foi realizada uma comparação direta dos quantitativos de acidentes classificados pela sua gravidade. Esta comparação direta, por mais que desconsidere a variação relativa ao VMDa

da rodovia, já mostrou consideráveis reduções nos acidentes com a implementação da quarta faixa de tráfego, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Variação na quantidade de acidentes, anterior e posterior às obras.

Classificação dos Acidentes	Anterior às Obras	Posterior às Obras	Variação (%)
Somente Danos Materiais	519	409	-21,19%
Com Feridos	123	92	-25,20%
Com Óbitos	11	8	-27,27%
Total de Acidentes	**653**	**509**	**-22,05%**

Utilizando os métodos de cálculo estipulados pelo DENATRAN (1982) e pelo DNER (1986), explicitados anteriormente pelas Equações 1, 2 e 3, obtiveram-se os índices apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Índices de Gravidade e de Acidentalidade para o objeto de estudo.

Índices:	Anterior às Obras	Posterior às Obras	Variação (%)
Índice de Acidentalidade (Ia)	1,488	1,199	-19,44%
Índice de Gravidade (Ig)	2,911	2,292	-21,26%

Observa-se uma redução nos dois índices após a implementação da quarta faixa, caracterizando uma melhora da segurança da via. Naturalmente, reduções nos VMDa's (apresentados na Tabela 2) tem como consequência reduções nas taxas de acidentalidade. Entretanto, vale ressaltar a utilização dos VMDa's dos diferentes períodos de estudo para o cálculo dos índices apresentados acima (Tabela 4) tornando possível uma comparação direta entre estes valores. Assim, justifica-se também a leve redução entre a variação dos quantitativos de acidentes e a variação dos índices entre 2013 e 2016.

Os resultados já apresentados são representativos do objetivo deste estudo, entretanto, procurou-se demonstrá-los de uma perspectiva diferente. Para isto, utilizaram-se os dados adquiridos e ilustrados na Tabela 4, em uma comparação de custos estimados poupados com a redução da acidentalidade devido a ampliação de faixas. Os gastos possivelmente evitados estimados por este estudo são apresentados na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5: Custo Médio com acidentes conforme sua gravidade.

Classificação dos Acidentes	Anterior às Obras		Posterior às Obras		Diferença de Custos (R$)	Variação do Custo (%)
	Quant.	Custo Médio (R$)	Quant.	Custo Médio (R$)		
Somente Danos Materiais	519	R$12.195.861,63	409	R$9.610.996,93	-R$2.584.864,70	-21,19%
Com Feridos	123	R$11.899.978,17	92	R$8.900.796,68	-$2.999.181,49	-25,20%
Com Óbitos	11	R$7.313.036,06	8	R$5.318.571,68	-$1.994.464,38	-27,27%
Total de Acidentes	**653**	**R$31.408.875,86**	**509**	**R$23.830.365,29**	**-$7.578.510,57**	**-24,13%**

4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo demonstrar a redução de acidentes gerado devido à implementação de uma faixa de tráfego extra para cada sentido da rodovia BR-290/RS. Como visto, os resultados apontam para uma redução de 22,05% na quantidade total de acidentes, junto à queda de 19,44% no Índice de Acidentalidade e de 21,26% do Índice de Severidade dos acidentes devido à obra da quarta faixa.

Sabe-se que o principal motivo da ampliação da rodovia com a quarta faixa foi o atendimento dos níveis de serviços adequados ao trecho, assim como uma melhora no fluxo da rodovia. Porém, o fator principal não deve ocultar a importância que a ampliação de faixas tem sobre a segurança viária. O alargamento das pistas, a iluminação do canteiro central, a rediagramação das interseções e dos acessos são algumas das readequações do fator via, resultantes das obras da quarta faixa. Tais readequações que, como colocado por Nodari (2003), reduzem os riscos associados à via, visando uma redução na exigência das habilidades necessárias pelos motoristas ao dirigir devido a um melhor ambiente viário, resultando em uma menor participação do fator humano na taxa de ocorrência de acidentes.

Considerando os valores estimados de custos sobre acidentes em rodovias federais, foi comprovada uma redução de 24,13% de gastos da sociedade com acidentes neste trecho de estudo. Pondo em valores monetários com data base em 2014, nota-se uma redução de gastos governamentais e sociais estimada em R$ 7.578.510,57 devido a diminuição dos acidentes de trânsito, comprovando novamente a eficácia da ampliação de pistas para a segurança viária.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Especial de Treinamento em Engenharia Rodoviária (PETER) pelo apoio financeiro aos bolsistas através dos recursos RDT financiados pela Triunfo|Concepa e ANTT, bem como a equipe do Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LAPAV/UFRGS).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP (2011) *Década de Ação pela Segurança no Trânsito - Resolução nº.2, de 2009 – Proposta para o Brasil para redução de acidentes e segurança viária.*

DNER (1986) *Um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de uma Rede de Rodovias.*

DNIT (2009) *Elaboração de Ações Preventivas e Corretivas de Segurança Rodoviária, por meio de Identificação e Mapeamento dos Segmentos Críticos da Malha Viária do DNIT – Fase 1: Metodologia para Identificação de Segmentos Críticos.*

IPEA (2015) *Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras – Caracterização, Tendências e Custos para a Sociedade.* Brasília – DF.

IPEA (2015) *Estimativa dos Custos dos Acidentes de Trânsito no Brasil com Base na Atualização Simplificada das Pesquisas Anteriores do IPEA.* Brasília – DF

Nodari, C. T. (2003) *Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples.* Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

Peña, C. C.; Goldner, L. G. (2012) *Caracterização e Análise dos Acidentes em Interseções: Estudo de Caso em Rodovias de Santa Catarina, no Brasil.* PANAM 2012.

Souza, P. M.; Sorratini, J. A. (2015) *Influência das Características de Infraestrutura na Segurança Viária*. XXIX ANPET. Ouro Preto, MG.

WHO – World Health Organization (2015) *Global Status Report on Road Safety 2015.*

PROPOSTA DE FERRAMENTA DE INSPEÇÃO QUALITATIVA MULTICRITÉRIO PARA SINALIZAÇÃO VIÁRIA EM RODOVIAS

Raquel Cristina Ferreira Silva
Samuel Augusto Mota
Samuel Baesso Müller
Tânia Batistela Torres
Lucas Delongui
Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul - Laboratório de Mobilidade e Logística

RESUMO
A evolução da frota veicular, aliada à falta de investimentos em infraestrutura rodoviária, torna a sinalização viária um fator de extrema importância para a garantia do conforto e da segurança dos usuários. A sinalização concilia as funções de regulamentação, advertência, orientação, indicação, serviços auxiliares e educação de forma clara ao usuário. Com esses preceitos, este estudo propõe uma ferramenta de inspeção para sinalização viária a partir da adaptação da Matriz de Leopold, objetivando determinar os locais prioritários em melhorias de sinalização, assim como indicar quais são os aspectos e elementos mais deficientes. A ferramenta foi aplicada à avaliação da sinalização de três interseções rodoviárias da BR-153 em Cachoeira do Sul-RS, permitindo atribuir os valores médios gerais de 7,72 ao Acesso Norte; 7,42 ao Acesso Central e 8,55 ao Acesso Sul. A experiência permitiu identificar que o Acesso Central, ainda que disponha de mais sinalização vertical, é prioritário em melhorias.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de trânsito tem papel fundamental tanto social quanto econômico no mundo atual, principalmente nas grandes cidades e nos grandes eixos viários, onde é realizada a movimentação de passageiros e mercadorias a fim de satisfazer as necessidades do ser humano (Wang *et al*., 2013). Portanto, a interação dos usuários do transporte rodoviário com a infraestrutura é constante, assim como entre os outros elementos que formam o tráfego.

Nesse sentido, os problemas de segurança viária implicam custos monetários e sociais. Acidentes de trânsito são a 9ª maior causa de óbitos no mundo e no Brasil também representam uma das principais causas de morte (De Campos *et al.*, 2013), situação agravada pelo constante crescimento da frota brasileira, aumento que foi ainda mais expressivo nos últimos anos (CNI, 2017). Além disso, a expansão da malha rodoviária pavimentada brasileira não tem acompanhado o ritmo de crescimento da frota de veículos que circulam pelo país. Nos últimos 10 anos, a frota de veículos no Brasil cresceu 110,4%, enquanto que a extensão das rodovias federais pavimentadas cresceu somente 11,7% (CNT, 2016).

A partir de 2013, o cenário econômico nacional sofreu uma mudança brusca, de forma que, desde então, a economia brasileira encontra-se formalmente em recessão (Barbosa, 2017). Nesse contexto, os investimentos em infraestruturas, tanto a construção de novas vias e facilidades como a manutenção das existentes, ficaram comprometidos em relação com outras necessidades elencadas como prioritárias pelas autoridades públicas. A falta de conservação das infraestruturas de transportes, sobretudo depois do grande esforço de construção dos últimos anos, prejudica o cumprimento dos objetivos pretendidos com os fundos públicos investidos em novas vias, situação que fica agravada pelo aumento de volume de veículos trafegando por elas (CNT, 2016).

As iniciativas que em potencial melhoram os índices de segurança nas rodovias são procedentes e, entre elas, destaca-se o aprimoramento da infraestrutura, visando a correta e

contínua manutenção das rodovias (Madeira e Borges, 2016). Nessa situação macroeconômica, é especialmente interessante considerar a aplicação de medidas de engenharia de baixo custo, de modo a resolver ou mitigar os problemas mais urgentes relacionados à manutenção das infraestruturas de transporte. O Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (DNIT) afirma que as medidas de baixo custo são caracterizadas pela implantação de projetos simples nos segmentos considerados como pontos críticos (DNER, 1998a), cuja identificação é fundamental para melhorar o desempenho de uma rede viária (Cheng e Washington, 2008). Teoricamente, pontos críticos são definidos como locais nos quais são esperados um maior número de acidentes, em comparação com locais semelhantes, devido à presença de fatores de risco (Elvik, 2007).

Até agora, as soluções de baixo custo não têm recebido a merecida atenção devido ao fato de serem vistas, erroneamente, como um paliativo. No entanto, essas medidas podem representar uma excelente resposta, principalmente para os países em desenvolvimento ou na situação de restrições orçamentárias atual (DNER, 1998a). Entre essas medidas de baixo custo está a melhoria da sinalização, considerada como um dos principais elementos que influenciam na segurança viária e que podem contribuir para o melhor desempenho dos usuários das rodovias (Holgado-Barco *et al*., 2014; CNT, 2016).

As informações fornecidas pela sinalização regulamentam o trânsito, advertem os usuários das vias, indicam serviços, sentidos e distâncias, sendo classificadas em sinalização vertical, sinalização horizontal, dispositivos de sinalização auxiliar, sinalização semafórica, sinais sonoros e gestos (CONTRAN, 2014). Dessa forma, com uma sinalização de trânsito bem implantada, espera-se que as suas informações contribuam para a melhoria na qualidade de vida da sociedade, já que respeitá-la contribui com um trânsito organizado, confortável e seguro para os condutores e pedestres (Lima *et al.*, 2015).

Sendo assim, a sinalização viária deve transmitir aos usuários, através do conjunto dos seus elementos, uma imagem correta e facilmente compreensível da sua natureza, do seu tipo de utilização, dos movimentos prováveis dos outros utilizadores e do comportamento mais apropriado a adotar quando se circula nas vias (Dominguez *et al*., 2016). Para a sinalização ser efetiva, devem ser considerados os seguintes fatores: posicionamento dentro do campo visual do usuário; legibilidade das informações; mensagens simples e claras; precisão e confiabilidade; e padronização, além da necessária manutenção (DNER, 1998b).

Por apresentarem elevado grau de interação entre usuário, veículo e via, são as interseções as que concentram a maior parte dos acidentes (Braga, 2017; Cunto *et al.*, 2012), sendo que 23% desses resultam em fatalidades, ainda que representem uma pequena parcela da extensão da malha rodoviária (Preston e Coackley, 2008). Dessa forma, as interseções são consideradas locais interessantes de serem analisados e caracterizados em função do volume de tráfego da via principal, do tamanho, da categoria da via, da localização geográfica e do seu entorno.

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) determina que a sinalização de trânsito é responsabilidade do órgão ou entidade com circunscrição sobre a via, e este responde pela falta, insuficiência ou incorreta colocação dos sinais (Brasil, 2001). Nesse sentido, atualmente destacam-se no Brasil programas de atuações focados na manutenção e melhora da sinalização viária (como o Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária do DNIT - Programa BR Legal), que permite aos gestores de redes rodoviárias a identificação de necessidades de ação em relação com estes aspectos (DNIT, 2015). Porém, esses

procedimentos não definem as prioridades ou critérios de escolha dessas atuações, e em situações de restrição orçamentária, como a atual, essas decisões tornam-se, especialmente difíceis. Dessa forma, considera-se extremamente útil para o órgão responsável pela via dispor de dados atualizados completos da situação da infraestrutura, mas também metodologia de análise que permita estabelecer prioridades de atuação perante as crescentes necessidades da rede e como justificativa ante aos cidadãos em relação com o uso dado aos investimentos públicos (Fredriksson, 2017).

Baseado nos preceitos apresentados, este trabalho tem o objetivo de elaborar um método de inspeção da sinalização viária como ferramenta prática de identificação das interseções, como locais prioritários de ação, bem como conjugar esses resultados com uma metodologia de análise multicritério qualitativa, de modo a ajudar na tomada de decisões e a priorizar as ações necessárias.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento da ferramenta proposta dividido em três principais etapas. Inicialmente, foi necessário obter-se uma fundamentação técnico–teórica a partir da revisão da literatura dedicada ao tema, incluindo manuais dos gestores da rede no Brasil, como o DNIT. A partir dessa fundamentação, elencaram-se os aspectos a serem verificados e os parâmetros de análise dos elementos de sinalização. A terceira etapa foi a construção da ferramenta propriamente dita.

Tratando-se, portanto, de vários aspectos que influenciam de forma simultânea e com graus de importância diferentes, faz-se indispensável a utilização de metodologias de análise multicritérios que considerem essas circunstâncias (Filippo *et al*., 2007). Tendo se que alguns dos aspectos avaliados são de natureza qualitativa, o uso de métodos de análise deste tipo torna-se especialmente interessante. Entre elas, encontra-se o método da Matriz de Leopold (Leopold *et al.*, 1971), uma das metodologias baseadas na utilização de matrizes de interação mais difundidas nacional e internacionalmente, criada com o objetivo de avaliar os impactos associados à implantação de projetos de engenharia (Oliveira e Moura, 2009). Ao longo dos anos, a matriz original sofreu alterações que variam de acordo com a necessidade de cada avaliação de impactos (Amaral, 2015).

O método organiza as informações em uma tabela (Figura 1), na qual as atividades do projeto se apresentam em um eixo e as características ambientais em outro eixo (Silva e Moraes, 2012; Sobczyk *et al*., 2017). O princípio básico do modelo consiste em, primeiramente, assinalar todas as possíveis interações entre as ações e os fatores, para em seguida estabelecer em uma escala que varia de 1 a 10, da magnitude (ou quantificação) e a importância (ou peso) de cada impacto, que são colocadas em cada célula (Leopold *et al.* 1971; Oliveira e Moura, 2009). A seguir, o método realiza a soma dos produtos dos valores de cada célula, dando assim uma avaliação ponderada de cada aspecto para cada ação. Finalmente, é possível realizar uma análise das somas por linhas, que oferecerão os resultados de cada ação (considerando todos seus impactos), e por colunas, que mostrarão as avaliações de cada impacto (considerando todas as ações conjuntamente), assim como um valor total da tabela (somando todas as linhas ou todas as colunas), que caracterizará o impacto completo do projeto.

Na adaptação proposta para a ferramenta, as características e fatores avaliados (dispostos em colunas) foram assimilados aos diferentes aspectos regulamentados no desenho, fabricação e

implantação dos elementos de sinalização viária, definidos no Manual Brasileiro de Sinalização Rodoviária (DNER, 1998b). Por exemplo, no caso das placas de sinalização de indicação, essas são compostas por legendas, setas, pictogramas, símbolos, diagramas, orlas e tarjas. Em relação às atividades, nas linhas da matriz, essas foram assimiladas aos diferentes elementos de sinalização existentes nas interseções (placas de regulamentação, advertência ou de indicação, marcas horizontais no pavimento, elementos auxiliares como tachões, balizadores, delimitadores e de proteção, etc.).

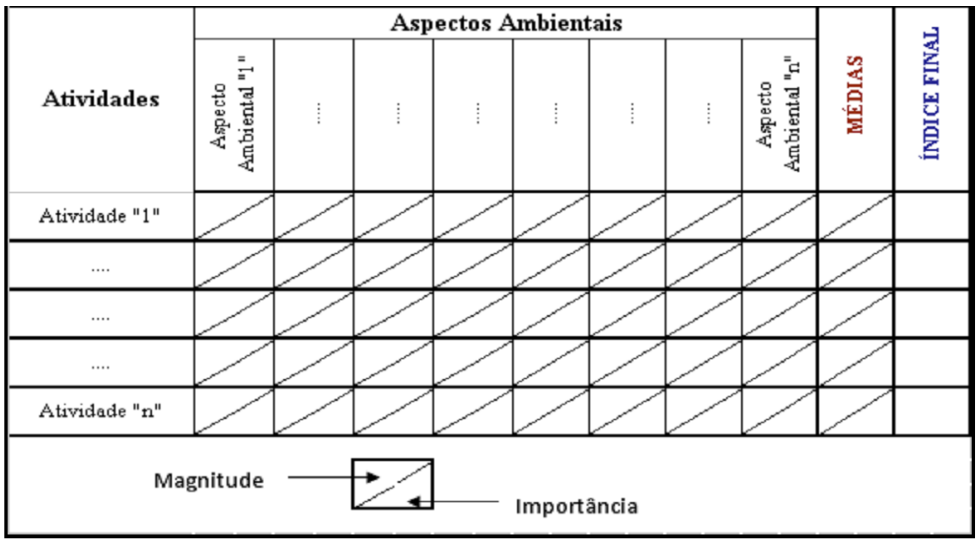


Figura 1: Matriz de Leopold original. Adaptada de Silva e Moraes (2012)

Porém, a principal crítica a essas técnicas qualitativas é o elevado grau de subjetividade dado às avaliações e ponderações dos critérios. Dessa forma, a ferramenta apresentada propõe a adaptação do método da Matriz de Leopold com dados baseados em opiniões de especialistas na matéria reunidos em um painel de avaliação, técnica comumente utilizada também no âmbito de análise de impactos procedentes de infraestruturas de transporte (Egilmez *et al.*, 2015; Ruiz-Padillo *et al*., 2016).

3. RESULTADOS

Após o estudo bibliográfico, o conjunto de atributos identificados para cada elemento de sinalização foi apresentado aos 12 especialistas selecionados (vinculados à pesquisas na área de transportes e segurança viária no âmbito do Rio Grande do Sul) e obteve-se a média aritmética das suas avaliações (na escala de 1 a 10) para determinar o grau de importância de cada aspecto na função exigida para estes elementos. Estes valores foram incorporados nos campos correspondentes aos pesos ou importâncias na matriz.

Para determinar a magnitude foi utilizada uma escala pré-definida de cinco níveis segundo a condição dos aspectos, sendo 1 *ruim*, 2 *razoável*, 3 *bom*, 4 *muito bom* e 5 *excelente*. Para os aspectos que não são avaliados para determinado tipo de elemento é assinalada na ferramenta a condição de *Não se aplica* (*"NA"*), de forma que este atributo não seja contabilizado no cálculo final da condição da interseção.

Na avaliação das interseções não devem ser considerados apenas os elementos de sinalização existentes, pois percebeu-se que avaliar apenas esses poderia oferecer um resultado irreal, como uma interseção com número insuficiente de placas alcançar uma avaliação melhor que

uma interseção com maior número de placas, porém mais deterioradas. Avaliando o tipo de interseção, foi estabelecida de acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização (CONTRAN, 2014) como seria a sinalização ideal, diagnosticando, dessa forma, quais elementos estão ausentes, além daqueles inadequados ou contraditórios. Quando aplicadas na ferramenta elaborada, esses elementos inexistentes recebem como magnitude em todos seus aspectos o valor 0, influenciando diretamente no valor da avaliação da interseção. Na Figura 2 é mostrado um recorte de um modelo da Matriz de Leopold adaptada para a presente ferramenta, especificamente para placas de sinalização vertical.

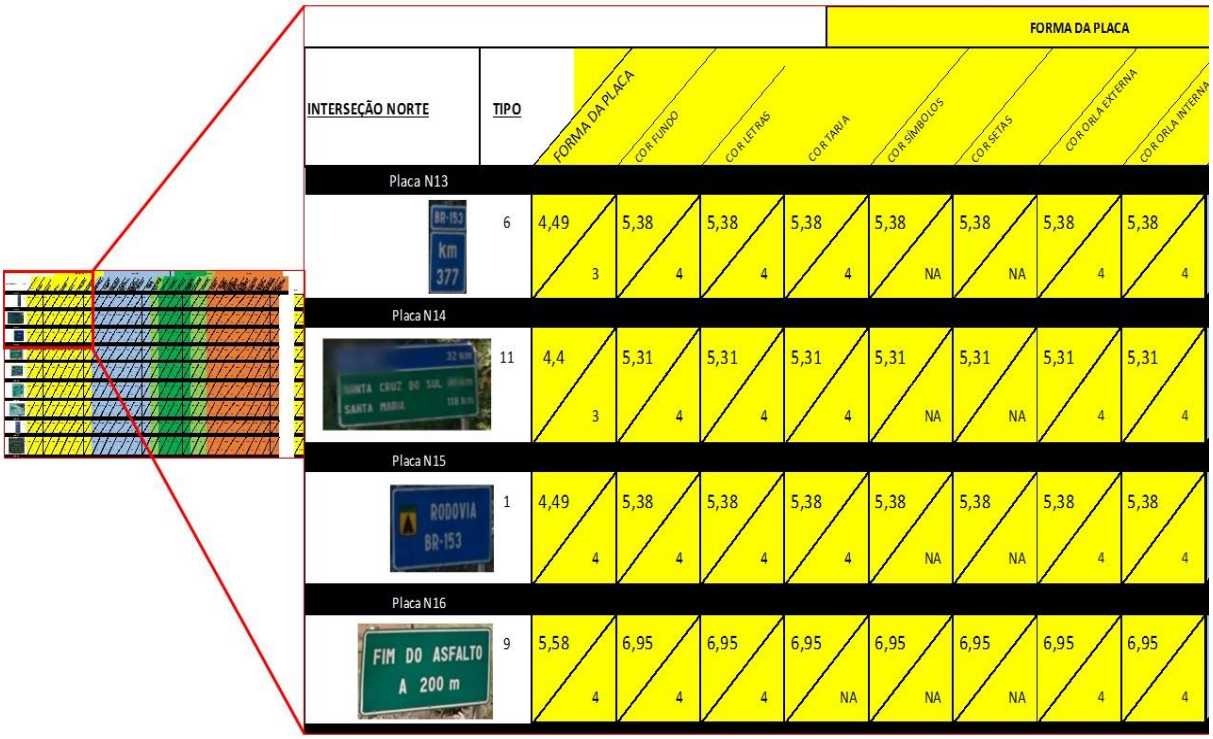
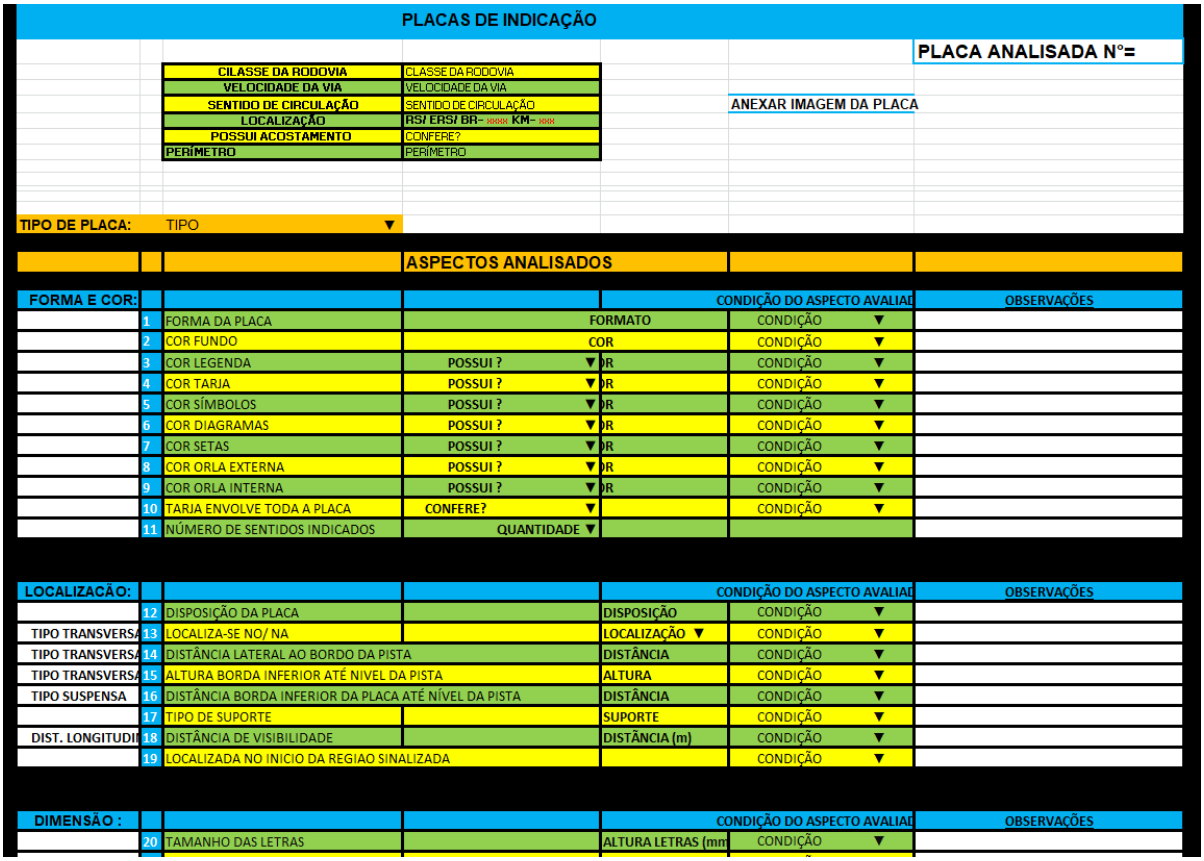


Figura 2: Recorte de modelo da Matriz de Leopold adaptada proposta na ferramenta

Em relação à determinação das magnitudes para a Matriz, a ferramenta conta adicionalmente com uma planilha de inspeção de campo onde encontram-se todos os tipos de elementos de sinalização possíveis com seus respectivos parâmetros de análise. A planilha possui campos para informações adicionais para que seja possível, ao analisar os parâmetros, avaliar o aspecto da maneira mais correta possível, além de permitir a inserção de uma imagem que ajude na identificação posterior de forma mais simples e ágil. Essa planilha foi desenvolvida para poder ser preenchida diretamente em meio digital ou também de forma manual, a modo de *checklist* cujos dados deverão ser trasladados à planilha digital. Na Figura 3 pode observar-se um exemplo da planilha de inspeção desenvolvida, nesse caso para placas de indicação, que foi o tipo testado posteriormente no caso de estudo.

Além da caracterização objetiva de cada elemento e de alguns de seus aspectos específicos, os inspetores de campo devem preencher campos denominados *Condição do Aspecto Avaliado*, os quais dispõem dos cinco níveis de adequação pré-definidos. Com o objetivo de evitar dubiedades na obtenção dos valores dessas avaliações qualitativas, foi definida uma padronização a partir dos dados considerados corretos pelos manuais de sinalização de trânsito. O procedimento adotado é similar a uma infração de trânsito, onde verifica-se, de acordo com o impacto no quesito avaliado, uma penalização aplicada sobre uma condição

excelente (entre 1 e 4, sendo 1 leve e 4 muito grave). Esses valores são incorporados, a seguir, nos campos de quantificação da Matriz de Leopold adaptada.



PLACAS DE INDICAÇÃO

PLACA ANALISADA N°=

CLASSE DA RODOVIA	CLASSE DA RODOVIA
VELOCIDADE DA VIA	VELOCIDADE DA VIA
SENTIDO DE CIRCULAÇÃO	SENTIDO DE CIRCULAÇÃO
LOCALIZAÇÃO	RS/ ERS/ BR- xxxx KM- xxx
POSSUI ACOSTAMENTO	CONFERE?
PERÍMETRO	PERÍMETRO

ANEXAR IMAGEM DA PLACA

TIPO DE PLACA: TIPO

ASPECTOS ANALISADOS

FORMA E COR:				CONDIÇÃO DO ASPECTO AVALIAD		OBSERVAÇÕES
	1	FORMA DA PLACA		FORMATO	CONDIÇÃO	
	2	COR FUNDO		COR	CONDIÇÃO	
	3	COR LEGENDA	POSSUI ?	OR	CONDIÇÃO	
	4	COR TARJA	POSSUI ?	OR	CONDIÇÃO	
	5	COR SÍMBOLOS	POSSUI ?	OR	CONDIÇÃO	
	6	COR DIAGRAMAS	POSSUI ?	OR	CONDIÇÃO	
	7	COR SETAS	POSSUI ?	OR	CONDIÇÃO	
	8	COR ORLA EXTERNA	POSSUI ?	OR	CONDIÇÃO	
	9	COR ORLA INTERNA	POSSUI ?	OR	CONDIÇÃO	
	10	TARJA ENVOLVE TODA A PLACA	CONFERE?		CONDIÇÃO	
	11	NÚMERO DE SENTIDOS INDICADOS	QUANTIDADE			

LOCALIZAÇÃO:				CONDIÇÃO DO ASPECTO AVALIAD		OBSERVAÇÕES
	12	DISPOSIÇÃO DA PLACA		DISPOSIÇÃO	CONDIÇÃO	
TIPO TRANSVERSA	13	LOCALIZA-SE NO/ NA		LOCALIZAÇÃO	CONDIÇÃO	
TIPO TRANSVERSA	14	DISTÂNCIA LATERAL AO BORDO DA PISTA		DISTÂNCIA	CONDIÇÃO	
TIPO TRANSVERSA	15	ALTURA BORDA INFERIOR ATÉ NIVEL DA PISTA		ALTURA	CONDIÇÃO	
TIPO SUSPENSA	16	DISTÂNCIA BORDA INFERIOR DA PLACA ATÉ NÍVEL DA PISTA		DISTÂNCIA	CONDIÇÃO	
	17	TIPO DE SUPORTE		SUPORTE	CONDIÇÃO	
DIST. LONGITUDI	18	DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE		DISTÂNCIA (m)	CONDIÇÃO	
	19	LOCALIZADA NO INICIO DA REGIAO SINALIZADA			CONDIÇÃO	

DIMENSÃO :				CONDIÇÃO DO ASPECTO AVALIAD		OBSERVAÇÕES
	20	TAMANHO DAS LETRAS		ALTURA LETRAS (mm	CONDIÇÃO	

Figura 3: Modelo de planilha de inspeção de campo

A análise dos resultados da Matriz permite apresentar uma avaliação ponderada, completa e pormenorizada, da situação da sinalização viária e estabelecer prioridades de atuação, por elemento e por aspecto, assim como a comparação entre várias interseções (a partir do valor médio final).

4. ESTUDO DE CASO

A aplicabilidade da ferramenta proposta foi testada na avaliação da sinalização de indicação de três interseções da rodovia BR-153 no trecho que transpassa a cidade de Cachoeira do Sul - RS, distante 196 km da capital do estado – Porto Alegre. A escolha da sinalização de indicação foi proposital, visto que estas placas abrangem um grande número de aspectos e são de vários tipos diferentes. Por outro lado, com o objetivo de permitir uma comparação entre os pontos estudados, buscou-se um mínimo de semelhança entre eles, descartando os acessos secundários no trecho urbano da rodovia, que são de tipo semaforizado. Dessa forma, o estudo de caso avaliou as três interseções principais de acesso à cidade desde a citada BR-153, que apresentam disposições construtivas diferentes: o Acesso Norte, com configuração de interseção em “T”; o Acesso Centro, que é de tipo rotatória; e o Acesso Sul, configurado como uma interconexão de tipo trevo parcial. Na Figura 4 é possível observar a localização das interseções do estudo de caso.

Para cada uma das interseções foi feita uma análise prévia onde foi realizada uma estimativa do número de placas em cada interseção e as particularidades de cada uma delas. Após uma

análise prévia de cada uma das interseções, foram preparadas as planilhas necessárias e então foi feita a visitação a campo para o preenchimento das planilhas de inspeção. Depois, foi realizado o processamento dos dados, correspondentes a 18 placas no Acesso Norte, 20 no Acesso Centro e 40 no Acesso Sul.

A avaliação final da sinalização vertical de indicação de cada uma das interseções mediante a ferramenta proposta ofereceu os seguintes valores médios gerais: Acesso Norte: 7,72; Acesso Central: 7,42; e Acesso Sul: 8,55. Percebe-se que, de acordo com a ferramenta, o Acesso Sul está em melhores condições que os demais, mesmo com maior número de placas, sendo o Acesso Central a intersecção que necessita de maior atenção com relação à sinalização viária. Porém, o estado geral de todas elas é bastante precário, levando em conta que uma interseção *ideal* segundo a Matriz de Leopold adaptada para a sinalização de indicação poderia alcançar um valor total de 30 pontos (uma vez que a importância total dos elementos avaliados é de 6). Além disso, destacam as condições deficientes das placas em relação a muitos dos aspectos, assim como a ausência de muitas das placas definidas segundo o Manual de Sinalização Viária como necessárias para o tipo de interseção.

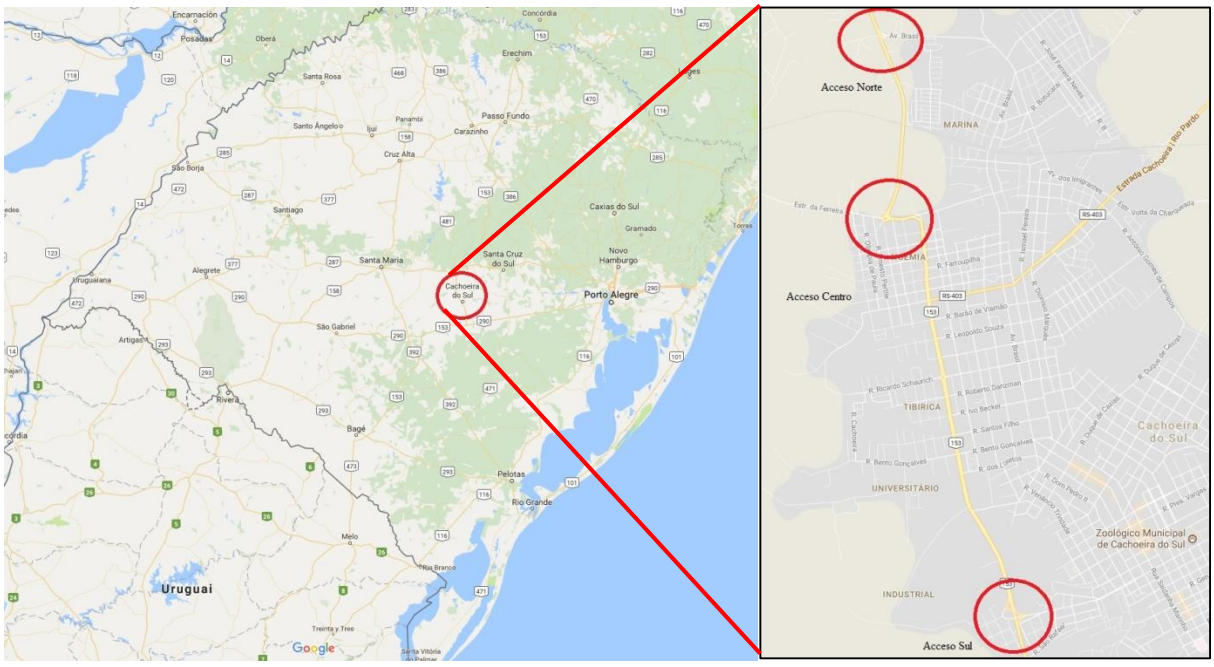


Figura 4: Localização das interseções avaliadas no estudo de caso

5. CONCLUSÃO

A inspeção de sinalização viária é um procedimento utilizado para identificar, através do auxílio de listas de verificação (tipo *checklist*), as deficiências de sinalização de uma via que possam vir a causar acidentes. Existem diversos procedimentos de inspeção relatados na literatura, como o utilizado no Programa BR-LEGAL do DNIT, que permitem obter um estado geral dos elementos de sinalização avaliados e, desse modo, projetar atuações sobre eles. Porém, a maioria destes métodos não fornece ao decisor ou responsável técnico da infraestrutura argumentos objetivos na priorização dessas ações, nem consideram as importâncias relativas dos diferentes aspectos avaliados.

Nesse contexto, o presente trabalho propôs uma ferramenta de inspeção e avaliação da sinalização viária aplicada a interseções de rodovias mediante uma adaptação do método da

Matriz de Leopold. Constatou-se, pelos resultados apresentados, que a ferramenta proposta é funcional e, portanto, pode ser empregada para auxiliar no diagnóstico de locais prioritários e orientar a alocação de recursos necessários para executar as correções necessárias tanto na manutenção preventiva quanto manutenção corretiva, bem como no acréscimo de sinalização ausente.

A ferramenta foi testada para a avaliação da sinalização vertical de indicação de três interseções de acesso à cidade de Cachoeira do Sul – RS desde a rodovia BR-153, verificando sua aplicabilidade e potencial de contribuir com uma melhoria significativa para todo o desempenho das interseções e da rodovia em geral, reduzindo os riscos de acidentes e agregando segurança e conforto na utilização por parte dos usuários.

Agradecimentos
Raquel Cristina Ferreira Silva, Samuel Augusto Mota e Samuel Baesso Müller agradecem às bolsas FIEX e PIVEX da UFSM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, I. B. C; H. de A. N. Lucena e A. B. dos Reis (2015) Procedimentos para utilização da matriz de análise de sistemas tecnológicos de drenagem pluvial baseada na Matriz de Leopold: poços de infiltração, trincheiras e reservatórios. *Educação e Tecnologia*, v. 20, n. 2, p. 22-34.

Barbosa, F. de H. F. (2017) A crise econômica de 2014/2017. *Estudos Avançados*, v. 31 n.89, p. 51-60.

Braga, M. G. de C. (2017) Percepção de Motoristas e Engenheiros de Tráfego Sobre a Segurança em Cruzamentos Urbanos. *Revista Transportes*, v. 25, n.1, p. 38-49.

BRASIL (2001). *Código de Trânsito Brasileiro: instituído pela Lei nº 9.503, de 23-9-97. Com as alterações na Lei nº 9.792, de 22-01-1998 e 9.792, de 14-04-1999*. DENATRAN Brasília.

Cheng, W. e S. Washington (2008) New Criteria for Evaluating Methods of Identifying Hot Spots. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2083, p. 76-85.

CNI (2017) *O financiamento do investimento em infraestrutura no Brasil: uma agenda para sua expansão sustentada*. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, DF.

CNT (2016) *Pesquisa CNT de rodovias 2016: relatório gerencial (20ª ed.)*. Confederação Nacional dos Transportes: SEST/SENAT, Brasília, DF.

CONTRAN (2014) *Manual Brasileiro de Sinalização volume III, Sinalização Vertical de Indicação*. Ministério das Cidades. Departamento Nacional de Transito, Brasília.

Cunto, F. J. C.; M. M. De C. Neto e D. S. Barreira (2012) Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. *Revista Transportes*. v. 20, n. 2, p. 55–62.

De Campos, C. I.; T. F. Feltrin; N. G. Da Silva e A. A. Raia (2013) O panorama do Brasil anterior à Década de Ação pela Segurança Viária 2011-2020. *XIX Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*, Brasília, DF.

DNER (1998a) *Guia de Redução de Acidentes Com Base em Medidas de Engenharia de Baixo Custo*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER (1998b) *Manual de Sinalização Rodoviária (2ª ed.)*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT (2015) *Guia Prático Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária - BR-LEGAL. Versão 1.0*. Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes. Ministério dos Transportes. Brasília.

Dominguez, F. S.; J. A. García e N. Balula (2016) Inspeção Dinâmica da Sinalização Horizontal e Vertical. *Anais do VII Congresso Rodoviário Português*. Lisboa, Portugal.

Egilmez, G.; S. Gumus e M. Kucukvar (2015) Environmental sustainability benchmarking of the U.S. and Canada metropoles: An expert judgment-based multi-criteria decision making approach. *Cities*, v. 42, p. 31–41.

Elvik, R. (2007) *State-of-the-Art Approaches to Road Accident Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks*. Report 883. Institute of Transport Economics, Oslo, Norway.

Fredriksson, A. (2017) Location-allocation of public services - Citizen access, transparency and measurement. A method and evidence from Brazil and Sweden. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 59, p. 1-12.

Holgado-Barco, A.; González-Aguilera, D.; Arias-Sánchez, P. e J. Martínez-Sánchez (2014) An automated approach to vertical road characterization using mobile LiDAR systems: Longitudinal profiles and cross-sections. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 96, p. 28–37.

Leopold B. L.; F. E. Clarke; B. B. Hanshaw e J. R. Balsky (1971) A procedure for evaluating environmental impact. *Geological Survey* n. 345, Washington, DC.

Lima, S. C. R. de; M. A. A. Santos e E. V. Alves (2015) A relação entre a sinalização viária e os acidentes de trânsito em um trecho da BR-251. *Anais do XX Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito.* Santos, SP.

Madeira, J. S. e L. F. Borges (2016) Gestão da Sinalização na Segurança Rodoviária Sistema de Gestão e Inventário de Sinalização Rodoviária. *Anais do VIII Congresso Rodoviário Português,* Lisboa, Portugal.

Oliveira, F. C. de e H. J. T. de Moura (2009) Uso das Metodologias de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará. *Pretexto*, v.10, n. 4, p. 79-98.

Preston H. D. e R. C Coakley (2008) Emerging Trends in Intersection Safety. ITE Journal, v. 78, n. 12. p. 24-28.

Ruiz-Padillo, A.; D. P. Ruiz; A. Torija e A. Ramos-Ridao (2016) Selection of suitable alternatives to reduce the environmental impact of road traffic noise using a fuzzy multi-criteria decision model. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 61, p. 8-18.

Silva, A. L. E e J. A. R. Moraes (2012) Proposta de uma Matriz para Avaliação de Impactos Ambientais em uma Indústria Plástica. *Anais do XXXII Encontro nacional de Engenharia de Produção*. Bento Gonçalves-RS

Sobczyk, E. J.; J. Kicki; W. Sobczyk e M. Szuwarzyński (2017) Support of mining investment choice decisions with the use of multi-criteria method. *Resources Policy*, v. 51, p. 94–99.

Wang, C.; Quddus, M. A. e Ison, S. G. (2013) The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction. *Safety Science*, 57, 264–275.

Raquel Cristina Ferreira Silva (r.crisfer1991@gmail.com)
Samuel Augusto Mota (saugusto.mota@gmail.com)
Samuel Baesso Müller (samuel.muller.baesso@gmail.com)
Tânia Batistela Torres (tania.torres@ufsm.br)
Lucas Delongui (lucas.delongui@ufsm.br)
Laboratório de Mobilidade e Logística, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul
Rua Ernesto Barros, 1345 – Cachoeira do Sul, RS, Brasil

ESTIMATION OF CRASH SEVERITY ON FREEWAY AND MULTILANE HIGHWAY SEGMENTS WITH ORDERED RESPONSE CHOICE MODELS

Gustavo Riente de Andrade[1,3]
Karla Cristina Rodrigues Silva[2]
Antônio Clóvis P. Ferraz[1]
Siva Srinivasan[3]

1. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos
2. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
3. University of Florida, Department of Civil and Coastal Engineering

RESUMO
Neste trabalho foi analisado o impacto de múltiplas variáveis sobre a severidade de acidente em rodovias de pista dupla e autoestradas rurais e suburbanas paulistas. Para isso, foram desenvolvidos três modelos com o uso de escolha discreta ordenada: (1) Colisões com um Veículo (SV), (2) Colisões com Múltiplos Veículos (MV) e (3) Pedestres & Bicicletas (PB). A partir da análise dos resultados, notou-se que os fatores que contribuem para explicar a gravidade dos acidentes são distintos para cada modelo. Os tipos de acidentes mais graves foram: saída de pista (SV), colisão transversal e frontal (MV). A presença de motocicletas se mostrou um fator significativo para os modelos SV e MV. Quanto às más condição de visibilidade, devido à chuva e no período noturno, não se confirmou uma forte relação com a severidade, exceto para pedestres. Por fim, as informações disponíveis no banco de dados permitiram a investigação dos benefícios proporcionado pelo uso de defensas e outras barreiras, que foram capazes de melhorar significativamente a segurança para o modelo SV.

ABSTRACT
This paper analysed the impact of multiple variables on crash severity on São Paulo state rural and suburban freeways and multilane highways. In that analysis, the ordered response choice model was selected. Three different models were developed: single-vehicle (SV), multiple-vehicle (MV) and pedestrians & bicycles (PB). The found results indicated that the factors that contribute to explain the severity of crashes vary widely in each model. Runoffs (SV), angle and head-on (MV) were considered the gravest types of crashes. The presence of motorcycles was considered a significant factor for both SV and MV models. Lower visibility conditions, nighttime and rain had little influence on overall crash severity, except for pedestrians. Finally, the available information in the database allowed for the investigation of the benefits of guardrail and other barriers, which were found to significantly improve safety conditions for SV crashes.

1. INTRODUCTION

The identification of the factors that affect crash severity is not a trivial task, and necessarily comprises the use of multivariate statistics to account for the several variables that might play a role in the gravity of a road crash. While early studies focused on human characteristics as the main cause of crashes (Quddus, 2015), more recent research recognize the interactions between more factors, including policy sensitive vehicle and environmental aspects that can be accounted for when designing safety countermeasures.

This work was motivated by the availability of a detailed crash database comprising over 17,000 data points along three rural freeways and multilane highways in São Paulo state. Even carrying less traffic than urban roads, more deaths occur on rural roads worldwide (ROSPA, 2017). In addition to 12 explanatory variables, the information whether a vehicle hit a guardrail or barrier was available in the database, allowing for the comparison to similar crashes without these devices. Although they play a minor role in terms of reducing the number of crashes (AASHTO, 2010), their main objective is to reduce the severity of crashes. However, this effect is still not quantified in reference safety manuals, such as the Highway Safety Manual, the Green Book or

official Brazilian guidelines and regulations.

In this context, the objective of this paper is the application of an ordered discrete response model to investigate the influence of several explanatory variables in the severity of crashes on Brazilian suburban and rural freeways and multilane highways. A modeling framework adequate for Brazilian particularities is proposed, and the used database allowed for the investigation of the benefit of guardrails and other types of physical barriers in terms of crash severity, which is normally not feasible in studies of this nature.

2. CRASH SEVERITY STUDIES

Several types of approaches were used to investigate crash severity. Because of the discrete nature of the severity output and the need to include several explanatory variables, more studies have used discrete response models to address this topic, as discussed in the next subsections.

2.1. Studies on modeling crash severity with discrete choice models

The ordered probit and logit models, already common in Econometric applications, have been used in severity analysis since early studies (O'Donnell & Connor, 1996). Ordered probit model was also used to investigate the factors that affect driver injury severity, using data from roadway segments, intersections and toll plazas (Abdel-Aty, 2003). In general, crashes were more serious for older drivers, males, speeding drivers and passengers without seat-belt or involved in angle crashes. For the case of road segments, sharp curves and poor lighting were found to contribute to more severe crashes. Although the speed of the drivers was unknown, the authors suggested that the fact that more serious crashes occurred in rural areas may be due to the higher speeds.

Other studies incorporated the concept of the use of random variables to account for unobserved effects caused by these factors (Milton, Shankar & Mannering, 2008). A mixed logit model was used to investigate the impact of road characteristics, environmental factors and driver behavior on a database collected on highway segments. Parameters considered relevant included the number of curves and pavement friction. Daily traffic per lane, average daily truck traffic, truck percentage, interchanges per mile and weather were best modeled as random variables.

The assumption that high speeds increase crash severity frequently influences the study of several explanatory variables. For instance, crash and traffic data from London orbital freeway were used in an ordered response model to investigate the effect of congestion on road safety (Quddus, Wang & Ison, 2010). The results suggested that, while congestion does not have a straightforward statistically significant impact on the overall number of crashes, higher volumes were associated to less severe crashes, probably due to the lower speeds associated to this condition. Other variables found to be statistically significant included curve radius, number of lanes, day of the week, lightning, road surface condition, number of vehicles involved and year.

Modeling comparison was the focus of several studies. For rural single-vehicle crashes in Florida, the latent class logit (LCL) was compared to a traditional multinomial logit as a benchmark (Xie, Zhao & Huynh, 2012). Both modeling alternatives were able to capture the impact of each significant explanatory variable, being simpler models preferred over more complex ones. From the 53 variables tested, 31 showed to be statistically significant at 95% confidence. Other studies (Yasmin & Eluru, 2013; Çelik & Oktay, 2017) tested several ordered

response frameworks to the classical unordered response framework such as the multinomial logit. Comparison of results indicated that the ordered model outperforms the multinomial logit. Similarly, Ye & Lord (2014) concluded that the unordered logit requires larger sample sizes to produce statistically reliable results, while the ordered, the less.

The definition of categories used for adjusting models is also a key point. As in Quddus, Wang & Ison (2010), that proposed a model for single-vehicle crashes only, Wu et al. (2014) conducted separate analysis for single vehicle crashes (SV) and multiple vehicle crashes (MV) on rural two lane highways in New Mexico, using a mixed logit model. It was concluded that the way the explanatory variables affected each model varies significantly for single or multi-vehicle crashes. Eleven variables were found to significantly affect driver injury severities, albeit only seven of them could be related to the SV crash model.

2.2. Studies in Brazil

Although studies on crash severity concentrate in developed countries, the majority of deaths occur in low and middle income countries (Çelik & Oktay, 2017). Although numerous studies address this topic internationally, in the Brazil context, there have been few attempts to use discrete choice models to evaluate crash severity on highway segments. Malveira et al. (2015) recognize the that discrete models have been used successfully in road safety modelling. However, the researchers did not apply this models for Brazilian context.

For motorcycles, Coutinho, Cunto & Ferreira (2015) used both the ordered probit and logit models to identify crash severity related factors for an urban environment, using data from the city of Fortaleza, CE. The results indicated that to drive motorcycle during day time reduces the exposure to serious injury.

It is evident that crash severity modelling on highways with the use of discrete choice models, although common worldwide, is still incipient in Brazil. In many cases. There is a need to account for the particularities of Brazilian highways with the support of an reliable database, containing a number of explanatory variables that allow for an adequate analysis.

2.3. Conclusion

From the literature, it couldn't be verified a definite superiority of any specific discrete choice method over the others, being the results dependent on the data used in each study. The ordered response model was therefore chosen for this work for its simplicity and for naturally following the logic of crash severity, described by increasing categories, ranked from property damage only to fatal crashes.

Many variables were tested as explanatory variables in previews studies. The following list describes the most commonly studied variables, ranked according the frequency that they were considered statistically significant by the consulted literature:

- Age: crashes were more severe to older drivers;
- Visibility: affected by the time of the day, some weather conditions and the presence or public illumination. Darker roads were related to more severe crashes;
- Seat Belt Usage;
- Speeding and higher speed limits: linked to more serious crashes;
- Traffic composition and vehicle characteristics: the presence of trucks, motorcycles and older vehicles was related to more serious crashes;

- Geometry: expressed in terms of number of curves per mile, radius in the crash local or by isolating tangent segments, sharper geometry reflected higher risk for drivers;
- Gender: crashes involving female drivers tended to be more severe;
- Alcohol and drug influence;
- Surface condition, represented by variables such as “wet” or “loose material”, which are conditions that impose extra hazards to drivers;
- Road Class: more severe crashes happened in rural roads, probably due to higher speeds;
- Day of the Week or Time of the Day; more severe accidents were normally observed for weekends and peak periods; and
- Weather: some weather conditions, such as heavy snow, that impairs both visibility and surface friction) or moderate rain, which doesn’t induce reduction in speeds while rendering the pavement wet, have shown to increase crash severity.

A difference between the severities of single-vehicle versus multiple-vehicle crashes was identified in many studies. While some treated this characteristic as an additional variable, other advocate that separate models should be adjusted for each case, given the distinct nature and possible causes for both types of crashes.

Finally, it was noted a lack of studies on crash severity using discrete models on Brazilian highways. Also, two specific research needs for the Brazilian context can be highlighted:

- The impact of guardrails and barriers with discrete choice models. Known as a countermeasure designed to reduce severity rather than the number of crashes itself, it becomes relevant for design and planning purposes to quantify the impact of the guardrails and other physical barriers on the severity of crashes; and
- Models for pedestrian and bicycle crash severity on freeways and multilane highways, since most studies were undertaken in developed countries, where freeways are completely segregated from non-motorized traffic. In developing countries such as Brazil, on the other hand, some freeways and multilane highways that traverse suburban areas are also used by pedestrians and cyclists, especially in low income neighborhoods.

3. DATA DESCRIPTION

The available database was provided by the toll highway administrator Grupo CCR. It was initially comprised by 17,013 crashes that happened between 2006 and 2011 along three toll freeways in the metropolitan region of São Paulo: SP-021 (RodoAnel Mario Covas), km 0 to 29; SP-280 (Rodovia Castelo Branco), km 13.5 to 79; SP-270 (Rodovia Raposo Tavares), km 34 to 115; and SP-348 (Rodovia dos Bandeirantes), km 12.9 to 56. From those crashes, 15,166 took place along the mainline freeway, while the others were associated to access points or intersection components, being discarded from this study. The used segments meet conditions necessary to warrant uninterrupted flow, such as the existence of a physical median, no traffic signals and no ramps at least 2 miles away from the site. According to the Highway Capacity Manual (TRB, 2010), all sites in the sample could be classified either as freeways (expressways with controlled access) or as divided multilane highways (expressways without controlled access). Lane width (3.5 m) and left and right shoulder widths (respectively 0.6 m and 2.5 m) were constant across all segments, with three or more lanes in each direction.

Figure 1 (a) shows the distribution of severity among the five levels considered in this study, classified as: O – Property-damage only, C – light injury, B – moderate injury, A – grave injury,

and K – fatal. It can be noticed the high proportion of injury crashes, which almost equal the property-damage only ones. Fatal crashes correspond to 1.9% of the total. Figure 1 (b) shows the same relationship separately for crashes involving pedestrian, single-vehicle crashes and multi-vehicle. There are no property-damage only for pedestrians, and fatalities are as high as 30%. In a preliminary analysis, single-vehicle crashes appear to be slightly more severe than multiple-vehicle crashes.

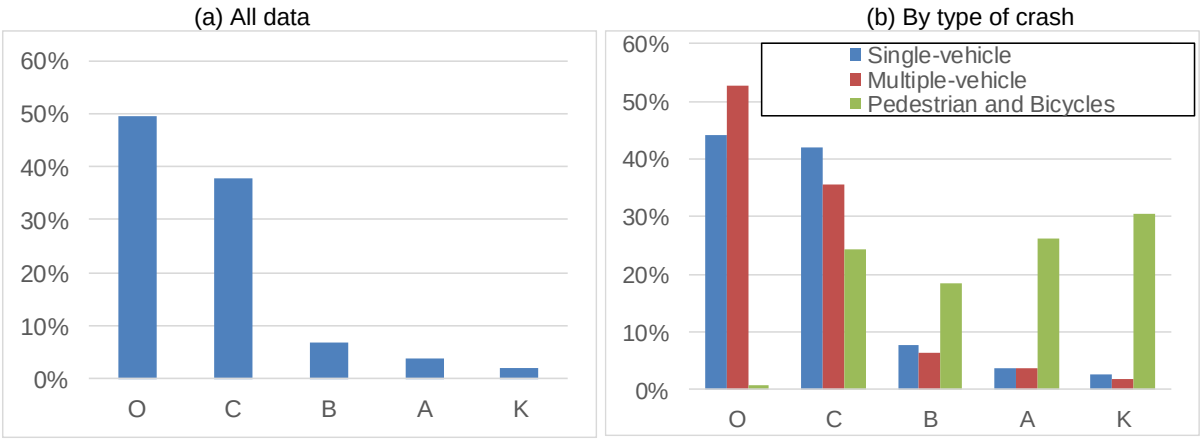


Figure 1: Percentage of each severity level in the studied database

Regarding guardrails and barriers, Table 1 shows a crosstabulation of the distribution of the severity of crashes in the cases in which a guardrail was present against when it was not. Although crashes that hit guardrails accounted for only around 10% of total crashes, the severity distribution for those crashes was halved. Fatal events summed up to 1.1% of the total, versus 2.2% of the rest of the database, while crashes with injuries dropped from 50.4% to 26.6%.

Table 1: Number and percentage of crashes with and without guardrails, by severity level

Severity level	Guardrail present			Guardrail present	
	yes	no	Total	no	yes
K	305	16	321	2.2%	1.2%
A	534	26	560	3.9%	1.9%
B	976	47	1023	7.1%	3.4%
C	5445	293	5738	39.5%	21.3%
O	6532	992	7524	47.4%	72.2%
Total	13792	1374	15166	100.0%	100.0%

Other variables of the database are shown in Table 2. For variables with multiple categories, the category labeled as “1” was set as the benchmark, while the others were transformed in new binary variables.

Table 2: Variables included in the database

Code	Variable	Categories	Frequency	
			Total	Relative
1	Type	Other	3290	19.3%
2		Collision with object	735	4.3%
3		Run-off	4021	23.6%
4		Head-on	226	1.3%
5		Sideswipe	2798	16.4%
6		Angle	435	2.6%
7		Rear-end	5508	32.4%
0	Weekend	No	12449	73.2%
1		Yes	4564	26.8%
0	Nighttime	No	11227	66.0%
1		Yes	5786	34.0%
0	Bridge	No	16967	99.7%
1		Yes	46	0.3%
0	Tunnel	No	16856	99.1%
1		Yes	157	0.9%
1	Vehicle Types	Automobile	10853	63.8%
2		Truck	4177	24.6%
3		Bus	347	2.0%
4		Bicycle	203	1.2%
5		Motorcycle	4731	27.8%
1	Visibility	Good	12039	70.8%
2		Average	4897	28.8%
3		Poor	77	0.5%
1	Weather Condition	Good	14838	87.2%
2		Rain	1738	10.2%
3		Fog	43	0.3%
4		Drizzle	394	2.3%
1	Horizontal Alignment	Tangent	13452	79.1%
2		Smooth Curve	1838	10.8%
3		Sharp Curve	1723	10.1%
1	Vertical Alignment	Level	13141	77.2%
2		Upgrade	1867	11.0%
3		Downgrade	2005	11.8%
1	Surface condition	Dry	14941	87.8%
2		Wet	2029	11.9%
3		Oil	43	0.3%
0	Road works	No works	16747	98.5%
1		Yes, with Advanced Warning	260	1.5%
			Mean	Std Dev.
		# of vehicles	1.81	0.96

Note that, as a limitation of this work when compared to other studies in the literature, driver characteristics are not available, such as substance abuse, age or gender. Also, the speed at the

time of the accident was not indicated on the database. Those factors are therefore reflected in the error term of the modeling.

4. METHOD

In this work, the Ordered Multinomial Probit Model is used to investigate the relationship between the severity of crashes and the explanatory variables available in the database. As seen in the literature, this model is most commonly applied to the problem in which the outcome is discrete and ordered in a specific sequence, in the case, from fatal crashes (K), to grave injury (A), moderate injury (B), light injury (C), and property-damage only (O).

In the approach, the usual concept of utility used for other types of choice models is replaced by an index function of "propensity". Given a set of ordered outcome alternatives c_q, it is defined a set of thresholds μ_n equal to the number of alternatives k minus 1:

$$c_q = \{0,1,2,\dots,k-1\} \quad (1)$$

The thresholds in this case are such that:

$$-\infty < \mu_K \leq \mu_B \leq \mu_O < \infty \quad (2)$$

The probability that an injury crash happens is given by:

$$P_q(B) = \Lambda(\mu_K - V_q) - \Lambda(\mu_O - V_q), \quad (3)$$

where V_q is the propensity function given the attributes q.

To define the propensity functions, the software NLogit, version 5, was used. In the first stage of the method, the database was cleaned, checked for consistency and divided in three subsets:

- Single-vehicle crashes;
- Multi-vehicle crashes; and
- Crashes with pedestrians and bicycles.

After a preliminary analysis with the use of the SPSS software, the database was then reorganized to a format that readable by the NLogit. This was done by building a spreadsheet, being the first row dedicated to the variables' names and the remaining to the data.

Only variables that could be possibly associated to each type of crash (single-vehicle, multiple-vehicle or pedestrians and bicycles) were used. For example, crash types head-on, sideswipe, angle or rear-end are only possible for events involving more than one motorized vehicle and are therefore discarded from the analysis of single-vehicle crashes and accidents with pedestrians and cyclists.

The analysis in NLogit itself was comprised by two steps. In the first one, all the explanatory variables were considered in order to eliminate those of insignificant statistical relevance. At this stage, some variables considered insignificant were transformed to ensure that their definite removal was in fact the best approach. For example, the curve variable was found statistically insignificant in many cases. A test was then made by defining two binary variables (tangent versus curved segments) instead of the original values. The new variables were still not statistically significant and ultimately removed from the database.

In the second step of the method, the software was used to build models for the three types of crashes, which were analyzed separately. Finally, the specific impact of each used variable is investigated. A 95% confidence was used to determine the statistically significant variables (t

stat > 1.96).

5. RESULTS AND DISCUSSION

Table 3 shows the results of the statistical analysis, for each of the three models. The table lists all variables considered statistically significant for at least one of the cases. The coefficients and statistics are described only for the variables that remained in the final models, for each type of crash. The table also shows the resulting Log-likelihood of the models. The five severity categories are divided by four μ values, three of the as shown in the table plus $\mu(0)$ equal to zero. In the following subsections, each variable is discussed, being the three models compared.

5.1. Crash Type

As mentioned before, different crash types were associated to single-vehicle or multiple-vehicle crashes. In no model collisions with objects in the road were considered to be statistically different from any other type of crash. This may be due to the varied nature of objects that can be possibly hit, from large animals to stationary road work equipment. Runoffs, on the other hand, proved to be a more severe type of crash, especially for single-vehicle crashes. For multiple-vehicle crashes, angle and head-on crashes were considered more severe than other accidents, at 95% confidence. Although head-on accidents in multilane highways are not common, they are a possibility when there is no physical barrier on the median, and significantly more severe than the average, according to the analysis. Finally, sideswipe and rear-end accidents could not be considered any different than other types of crashes.

5.2. Time Variables

In this subgroup, it was analyzed the impact of the time of the day (weekday versus weekend) and day versus nighttime. For single-vehicle crashes, only weekend was considered statistically significant, slightly increasing the probability of more severe accidents. Although the cause of this is unclear, it might be indirectly related to substance abuse or speeding.

Night was considered a relevant factor in the multiple-vehicle and pedestrian models, increasing the severity of crashes at 95% confidence level. This may be due to the poorer visibility conditions, especially for the case of pedestrians and cyclists.

Table 3: Final results and significant variables for each model

Variable	Single-vehicle crashes				Multiple-vehicle crashes				Pedestrian and bicycles			
	B	**Std Err**	**t stat**	**p**	**B**	**Std Err**	**t stat**	**p**	**B**	**Std Err**	**t stat**	**p**
Crash Type												
Runoff	.487	.067	7.280	.000	.318	.046	6.866	.000				
Head-on					1.450	.085	17.127	.000				
Angle					.191	.064	2.971	.003				
Time												
Weekend	.091	.046	1.981	.048								
Night					.181	.031	5.901	.000	.519	.102	5.096	.000
Vehicles												
Total number					.031	.015	2.096	.036				
Truck	-.429	.059	-7.273	.000	.148	.027	5.464	.000				
Bus	-.783	.291	-2.688	.007					.497	.230	2.159	.031
Bicycle									-.942	.096	-9.823	.000
Motorcycle	.907	.041	22.316	.000	1.023	.028	36.539	.000	-.312	.109	-2.863	.004
Weather												
Partial visibility					.100	.034	2.919	.004	.225	.105	2.134	.033
Poor visibility	-.559	.259	-2.154	.031								
Rain	-.314	.051	-6.116	.000	-.159	.051	-3.124	.002				
Geometry												
Upgrade					.079	.040	1.998	.046				
Downgrade	.156	.048	3.235	.001								
Guardrails	-.406	.046	-8.875	.000	-.230	.110	-2.090	.037				
μ (1)	1.609	0.028	58.515	0.000	1.284	0.018	70.915	0.000	2.002	0.058	34.565	0.000
μ (2)	2.171	0.036	60.595	0.000	1.737	0.023	76.253	0.000	2.601	0.054	48.043	0.000
μ (3)	2.621	0.053	49.458	0.000	2.284	0.035	66.020	0.000	3.305	0.068	48.932	0.000
Constant	-0.512	0.067	-7.706	0.000	-0.681	0.044	-15.51	0	2.261	0.079	28.74	0
n	5042.000				9377.000				661.000			
Log-likelihood at convergence	-4483.338				-8967.062				-843.827			
Log-likelihood at equal shares	-5150.929				-9854.536				-934.938			
McFadden Pseudo R-squared	.1296											

5.3. Vehicles Involved

Regarding the impact of the different kind of vehicles involved in a crash, the results varied widely across the models. For the single-vehicle crashes, the observed trend is that the larger the vehicle, the less severe was the crash, being buses the safer mode and motorcycles, the less safe, when compared to automobiles.

For multiple-vehicle crashes, the presence of trucks and/or bicycles were found to increase the probability of more severe accidents with 95% confidence. The difference in terms of vehicle sizes seems to be the key point in this matter. The total number of vehicles involved was also found to be statistically significant, being that the higher the number of vehicles, the more severe the event tend to be.

Finally, the pedestrian model was able to capture a higher probability of severe accidents for events with buses and the opposite when pedestrians were hit by bicycles or motorcycles, when compared to automobiles.

5.4. Weather

Regarding weather conditions, based on available sample, only rain could be considered a statistically significant variable. For all events involving vehicles, the presence of rain was associated to less severe crashes. This may be due to the lower speeds that are possible under rainy weather. The same relationship was found for poor visibility conditions in the single-vehicle model.

For the multiple-vehicle and pedestrian models, however, the partial visibility conditions were found to somewhat increase the probability of more severe crashes, while poorer conditions didn't increase this probability any further, at 95% confidence.

5.5. Geometry

With respect to geometry, it was not possible to affirm that curves affect the severity of accidents with statistical confidence. On the other sides, downgrades were associated to slightly higher probabilities of injuries for single-vehicle crashes, with upgrades playing a similar role for multiple-vehicle accidents.

In the first case, it can be due to higher speeds that are possible on downgrades, with a higher probability of loss-of-control and subsequent runoffs. For the second case, crashes might happen due to the difference of speed between vehicles and overtaking maneuvers in upgrades.

5.6. Guardrails

As suggested by the database, the guardrails were found to consistently reduce the probability of severe accidents, especially for single-vehicle accidents, as indicated by the B value of -0.406 and t stat of -8.875, superior to the reference of 1.96 for a 95% confidence interval. This finding reinforce the role of guardrails and other types of physical barriers as a countermeasure of single-vehicle, runoff accidents. Although unable to avoid a crash, a well-designed device may potentially reduce the consequences of the accident, from fatal to injury and injury to property damage only.

5.7 Other insignificant variables

Other variables that were analyzed, but found to be statistically insignificant in all models were the presence of tunnels, bridges and road works. For the case of tunnels and bridges, this may be due to two factors: (a) there are not enough crash data in this segments to draw statistically significant conclusions, as tunnel and bridge segments are relatively short as compared to the total sample analyzed; (b) the freeways studied have a high standard of design, such that those segments provide the users practically the same level of safety and comfort as the remaining of the freeways.

As for the works zones, the lack of difference in terms of crash severity from other sites can be related to efforts in terms of advanced warning zones and other safety measures for workers, which is a practice in tollways in São Paulo state.

6. CONCLUSIONS

This work analyzed the impact of a series of variables in the crash severity, using the ordered response choice model. The framework that better fit Brazilian conditions led to the development of three different models: single-vehicle crashes, multiple-vehicle crashes and pedestrians and bicycles. The analysis of the results showed that the factors that contribute to explain the severity of crashes varies widely between these models, as the causes are different in nature.

Figure 2 shows a comparison of the magnitude of the coefficient *B* obtained for each statistically significant variable and model. Runoffs (SV), angle and head-on (MV) were considered the most severe types of crashes. The presence of motorcycles was considered significant factor for both SV and MV models. Trucks and buses are usually safer for their drivers (SV) but caused more serious accidents when other vehicles and pedestrians are involved. Lower visibility conditions, nighttime and rain had little influence on crash severity for automobiles, probably due to associated lower speeds, albeit increasing gravity for pedestrians. As for the geometry, upgrades were found to increase risks for multiple-vehicle crashes, while downgrades have a similar effect for single-vehicle crashes. Finally, guardrails were found to significantly improve safety conditions for single-vehicle crashes, in which runoffs are the gravest type of crash.

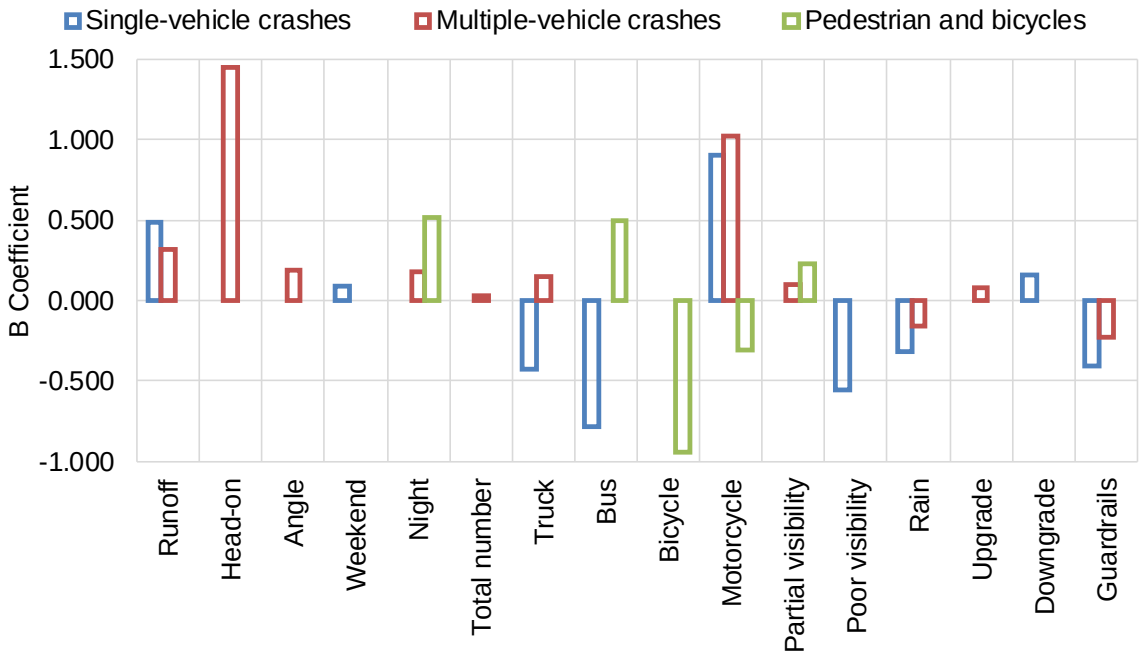


Figure 2: Percentage of each severity in the studied database, by type

For future work, it is recommended that traffic characteristics such as speed and flow are incorporated to the analysis. That would, however, create additional challenges regarding data collection, since while traffic data is normally collected at specific locations, crashes happen along the highway. Also, data related to the vehicle model and year could help add the vehicle safety component to the overall analysis.

Acknowledgements
The authors recognize the support from ARTESP, CCR RodoAnel, CCR ViaOeste and CCR AutoBan, which kindly provided traffic data. The author Gustavo Riente de Andrade also ackowledges the support from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

REFERENCES

AASHTO (2010). *Highway safety manual. 1st Edition*. American Association of State and Highway Transportation Officials, Washington, D.C.

Abdel-Aty, M. (2003) Analysis of driver injury severity levels at multiple locations using ordered probit models. *Journal of Safety Research*, v. 34, p. 597-603.

Çelik, A. K.; Oktay, E. (2017) A comparison of ordered and unordered response models for analyzing road traffic injury severities in the North-Eastern Turkey. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, v. 45, n. 3, p. 119-132.

Coutinho, C. H. L.; Cunto, F. J. C.; Ferreira, S. (2015) Análise da severidade dos acidentes com motocicletas utilizando modelos probit e logit ordenados. *Transportes*, v. 23, p. 60-66.

Malveira, D. M.; de Sousa, D. L.; Ribeiro, P. C. M.; Leite, A. C. S. (2015) Contribuição metodológica para análise dos benefícios na segurança do transito devido a modificações viárias. In. *XIII Rio de Transportes*. Rio de Janeiro.

Milton, J. C.; Shankar, V. N.; Mannering, F. L. (2008) Highway crash severities and the mixed logit model: An exploratory empirical analysis. *Crash Analysis and Prevention*, v. 40, p. 260-266.

O'Donnell, C. J.; Connor, D. H. (1996) Predicting the severity of motor vehicle accident injuries using models of ordered multiple choice. *Accident Analysis and Prevention*, v. 28, n. 6, p. 739-753.

Quddus, M. A.; Wang, C.; Ison, S. G. (2010) Road traffic congestion and crash severity: Econometric analysis using ordered response models. *Journal of Transportation Engineering*, v. 136, n. 5, p. 424-435.

Quddus, M. (2015) Effects of geodemographic profiles of drivers on injury severity from traffic crashes using multilevel mixed-effects ordered logit model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2514, p. 149–157.

ROSPA (2017) *Rural Road Safety*. The Royal Society for the Prevention of Accidents. Available at: https://www.rospa.com/road-safety/advice/road-users/rural/, Accessed on July, 7th 2017.

TRB (2010) *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board, The National Academies, Washington, D.C.

Xie, Y.; Zhao, K.; Huynh, N. (2012) Analysis of driver injury severity in rural single-vehicle crashes. *Crash Analysis and Prevention*, v. 47, p. 36-44.

Yasmin, S.; Eluru, N. (2013) Evaluating alternate discrete outcome frameworks for modeling crash injury severity. *Crash Analysis and Prevention*, v. 59, p. 506-521.

Ye, F.; Lord, D. (2014) 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, p. 72-85.

Wu, Q.; Chen, F.; Zhang, G.; Liu, X. C.; Wang, H.; Bogus, S. M. (2014) Mixed logit model-based driver injury severity investigations in single and multi-vehicle crashes on rural two-lane highways. *Crash Analysis and Prevention*, v. 72, p. 105-115.

Gustavo Riente de Andrade (guriente@usp.br)
Antônio Clóvis P. Ferraz (coca@sc.usp.br)
Endereço: Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, USP
Av. Trabalhador São-Carlense, 400 – São Carlos, SP, Brasil

Karla Cristin Rodrigues Silva (karlacrs@deii.cefetmg.br)
Endereço: Departamento de Engenharia de Transportes
Av. Amazonas, 5.253, Nova Suiça, Belo Horizonte, MG, Brasil. CEP: 30.421-169

Siva Srinivasan (siva@ce.ufl.edu)
Endereço: Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida
365 Weil Hall, Gainesville, FL 32611

ANÁLISE DE ACIDENTES EM RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Philippe Barbosa Silva
Instituto Federal Goiano/Rio Verde; Universidade de Brasília
Michelle Andrade
Universidade de Brasília – Programa de Pós-Graduação em Transportes
Li Weigang
Universidade de Brasília – Programa de Pós-Graduação em Informática

RESUMO
O cenário de acidentalidade viária é preocupante tanto em âmbito mundial como no Brasil, o que tem motivado ações de promoção da segurança viária. Assim, o presente trabalho objetivou analisar os acidentes em rodovias federais brasileiras ocorridos em 2015, por meio de redes neurais artificiais (RNA). Os dados de acidentes foram classificados inicialmente por Árvores de Decisão e, em seguida foram desenvolvidos modelos de RNA para classificação dos acidentes por severidade, sendo as classes da variável de saída: Sem vítima, Com vítimas feridas, Com vítimas fatais. O modelo de maior qualidade foi o com menor número de variáveis explanatórias incorporadas. Fez-se a variação de alguns parâmetros da RNA buscando otimizar os resultados, o que viabilizou alcançar uma taxa de acerto de 65,68%. Os resultados, embora não tão acurados, são razoáveis quando comparados a estudos anteriores da literatura, indicando a possibilidade de exploração do uso dessa técnica na modelagem da segurança viária.

ABSTRACT
The scenario related to road accidents is disturbing in Brazil and worldwide, and has been the object of actions to promote road safety. Therefore, this study aimed at the analysis of accidents in Brazilian federal highways occurred in 2015, through artificial neural networking (ANN). Initially, the data of accidents were classified by means of Decision Trees, and afterward, ANN models were developed to classify the accidents according to their severity, with the following output variable classes: without victim, with injured victims, with fatal victims. The model with the greatest quality was the one with the least number of explanatory variables incorporated. Some parameters of the ANN were modified in order to optimize the results, reaching the highest level of accuracy at 65.68%. Although the results were not so high, they are reasonable when compared to previous literature studies, indicating that it is possible to explore this technique in the modeling of road safety.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento dos sistemas de transporte, especialmente o rodoviário, tem trazido consigo relevante incremento de acidentes de trânsito. A segurança dos usuários do sistema (condutores, passageiros e pedestres) cada vez mais se constitui um dos objetivos principais do planejamento e operação desta modalidade de transporte (Sinay e Tamayo, 2005).

Neste contexto, é imprescindível a perspectiva da segurança viária, a qual está fundamentalmente associada à redução da acidentalidade e sua severidade. Nodari (2003) acredita que a forma mais eficiente de tratar a problemática da segurança viária, sem desperdiçar os escassos recursos disponíveis, se dá por meio de um programa abrangente de gerenciamento da segurança viária.

Em geral, as ações da engenharia de segurança viária concentram-se na redução de acidentes e de sua severidade por meio da adoção de medidas reativas em pontos com grande concentração de acidentes (pontos críticos). Entretanto, no cenário recente, tem tido destaque e maior importância o tratamento da segurança viária de forma preventiva (Nodari e Lindau, 2001). Tamayo (2010) enfatiza que, a adoção de estratégias preventivas resulta em diversas benesses, que incluem desde a diminuição de custos decorrentes de acidentes evitados - ou cuja

severidade é menor pelo efeito da ação preventiva –, até a redução de gastos relativos a obras de correção, já desnecessárias.

Dentre as estratégias proativas é válido destacar a importância da Modelagem da Segurança Viária (MSV) como recurso para o gerenciamento da segurança viária (GSV) de forma preventiva. Em se tratando do GSV, é fundamental conhecer o que motiva os acidentes, o que impacta significativamente na ocorrência dos acidentes de trânsito e qual o resultado pode ser alcançado através de determinadas medidas ou mudanças a serem adotadas, nesse sentido, os modelos dão grande contribuição (Cardoso, 2006).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Modelagem da Segurança Viária

A modelagem da segurança viária se propõe a ajustar um modelo à dados de acidentes, características geométricas e operacionais de uma via (ou trecho dela) e condições ambientais. Portanto, os modelos representam, de forma simplificada, a realidade, incorporando fatores tidos como importantes para sua descrição (Hauer, 2004; Chang, 2005).

Desta forma, as técnicas de modelagem são o meio de obtenção de modelos que reproduzam de forma mais fidedigna a realidade, sendo bastante importante o emprego de técnicas adequadas à natureza dos dados a serem tratados (Costa, 2013).

A modelagem da segurança viária surgiu em resposta à inexistência ou escassez de dados detalhados da condução de veículos (aceleração, frenagem, informações de direção, resposta do motorista à estímulos) e dados detalhados sobre acidentes, os quais permitiriam mais acurada identificação dos fatores associados à ocorrência de acidentes. Os modelos de previsão de acidentes, se colocaram então, como abordagens sintéticas do estudo dos fatores que influenciam no número de acidentes ocorridos em algum espaço físico geográfico (em geral, um segmento ou interseção) ao longo de um período de tempo especificado (semana, mês, ano(s)), lidando com elementos espaciais e temporais associados a falhas (Lord e Mannering, 2010).

Tradicionalmente têm sido empregadas técnicas de modelagem estatística para previsão de acidentes, valendo-se de modelos que são adequados às especificidades dos dados (Chang, 2005). Lord e Mannering (2010) apresentam em seu trabalho a evolução da modelagem estatística ao longo dos anos, destacando-se o desenvolvimento de modelos com ajuste estatístico superior e melhores capacidades de predição. Ainda assim, no entanto, são reconhecidas as limitações neste tipo de abordagem, uma vez que cada modelo estatístico tem pressupostos próprios e relação pré-definida entre variáveis dependentes e independentes (Zeng *et al*., 2016).

Chang (2005) destaca que a violação a pressupostos dos modelos estatísticos, pode conduzir a estimativa equivocada da frequência (e fatores contribuintes) de acidentes. O autor evidenciou que o uso de redes neurais não requer este tipo de relação pré-definida entre as variáveis e que, em seu trabalho, apresentaram desempenho superior à modelagem tradicional. Trabalhos anteriores, como de Mussone *et al*. (1996), Mussone *et al*. (1999), Sohn e Lee (2003) e Abdel-Aty e Pande (2005) também indicavam aderência do uso de redes neurais para a análise de acidentes de trânsito.

Embora escassos, os estudos de redes neurais aplicados à análise de acidentes em rodovias se mostram promissores frente à modelagem estatística, merecendo destaque os estudos de Huang *et al*. (2016), Zeng e Huang (2014) e Zeng *et al*. (2016). Assim, o presente estudo pretende tratar o problema de classificação de acidentes de trânsito por severidade em rodovias federais brasileiras utilizando redes neurais artificiais (RNA).

2.2. Redes Neurais Artificiais (RNA)

Técnicas de inteligência artificial são úteis em diversas áreas do conhecimento. Uma das mais conhecidas e empregadas são as redes neurais artificiais (RNA).

Morais (2010) afirma que Redes Neurais Artificiais (RNA) são sistemas paralelos e distribuídos compostos por unidades de processamento simples (nodos ou neurônios ou ainda, unidades) que calculam determinadas funções matemáticas (normalmente não-lineares). Tais unidades são dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por um grande número de conexões, geralmente unidirecionais. Na maioria dos modelos estas conexões estão associadas a pesos, os quais armazenam o conhecimento representado no modelo e servem para ponderar a entrada recebida por cada neurônio da rede.

No neurônio artificial, os dendritos são substituídos por entradas, cujas ligações com o corpo celular artificial são realizadas através de elementos chamados de peso (simulando as sinapses neuronais). Os estímulos são captados pelas entradas e processados pela função de soma e *bias*. Um neurônio biológico dispara quando a soma dos impulsos que ele recebe ultrapassa o seu limiar de excitação (*threshold*). O corpo do neurônio, por sua vez, é estimulado por um mecanismo simples que faz a soma dos valores *xiwi* recebidos pelo neurônio (soma ponderada) e decide se o neurônio deve ou não disparar (saída igual a 1 ou a 0) comparando a soma obtida ao limiar do neurônio. No modelo artificial, a ativação do neurônio é obtida através da aplicação de uma "função de ativação", que ativa ou não a saída, dependendo do valor da soma ponderada das suas entradas (Guyon, 1991; Chua e Yang, 1988).

A capacidade de aprender através de exemplos e de generalizar a informação aprendida é o atrativo principal da solução de problemas através de RNA. A generalização, que está associada à capacidade da rede aprender através de um conjunto de exemplos e posteriormente dar respostas coerentes para dados não conhecidos, é uma demonstração de que a capacidade das RNA vai muito além do que simplesmente mapear relações de entrada e saída. As RNA são capazes de extrair informações não-apresentadas de forma explícita através dos exemplos (Morais, 2010).

Na aprendizagem supervisionada, como a utilizada para RNA neste estudo, um supervisor externo fornece os dados de entrada e saída desejada, sendo ele responsável por indicar explicitamente um comportamento bom ou ruim para a rede, visando direcionar o processo de treinamento. A rede tem a sua saída calculada comparada com a saída desejada, recebendo informações do supervisor sobre o erro da resposta atual, objetivando ajustar os pesos das conexões para minimizar o erro. A minimização da diferença é incremental, uma vez que pequenos ajustes são feitos nos pesos a cada etapa de treinamento, de tal forma que estes caminhem, se houver solução possível, para uma solução.

No presente trabalho se utilizará RNA tipo *Multilayer Perceptron* (MLP) com aprendizagem supervisionada. Essa rede é constituída por um conjunto de nós fonte, os quais formam a camada de entrada da rede, uma ou mais camadas ocultas de nós computacionais e uma camada de saída, também de nós computacionais. Com exceção da camada de entrada, todas as outras camadas realizam processamento. O processamento também depende da taxa de aprendizado, que corresponde a velocidade de aprendizado e interfere na convergência do processo. Apresenta-se na Figura 1 a representação deste tipo de rede.

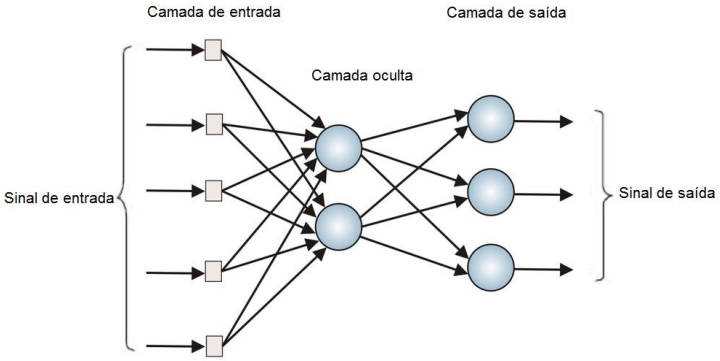


Figura 1: Representação da rede MLP

As camadas se comunicam sucessivamente até atingir a última camada. E são as camadas ocultas que proporcionam complexidade e a possibilidade de resolver problemas não linearmente separáveis. Sendo esta uma das principais características de uma rede MLP, e para isso, é necessário que a função de ativação dos neurônios pertencentes às camadas ocultas seja não-linear. Em geral, a função de ativação é *sigmoide*, também utilizada neste trabalho.

A MLP tem sido aplicada com sucesso na solução de diversos problemas difíceis, através do treinamento supervisionado com o algoritmo *backpropagation*. Basicamente, o treinamento por retropropagação do erro consiste de dois passos, um passo para frente e um passo para trás, respectivamente a propagação da entrada da rede às camadas posteriores e a retropropagação do erro que ocorre em sentido contrário da camada de saída às camadas ocultas. Neste processo é realizado o ajuste nos pesos sinápticos, a fim de minimizar o erro entre a saída produzida pela rede em relação a respectiva saída desejada (Haykin, 2001).

3. MÉTODO

Busca-se a avaliação dos dados de acidentes viários em rodovias federais brasileiras por gravidade, objetivando produzir um instrumento para previsão destes eventos. Em termos metodológicos, como já justificado, optou-se pela utilização de redes neurais para a modelagem. Para o procedimento de análise dos dados fez-se uso do software WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*), amplamente utilizado na mineração de dados em âmbito acadêmico e de licença livre.

O uso de Árvores de Decisão (AD) é bastante útil nas tarefas de classificação. Na construção de AD é utilizado um conjunto de treinamento formado pelas entradas e saídas, estas últimas são as classes. A estrutura de uma AD contém nó raiz (que inicia a árvore), nós de decisão (que dividem um determinado atributo e geram as ramificações) e folhas (que contém as informações de classificação). Cada nó indica o teste de um atributo, sendo a utilidade do atributo para a classificação, utilizada como critério de ramificação. Dessa forma, o atributo

escolhido, que será um nó da árvore, é aquele que gera maior ganho de informação (entropia), ou seja, melhor qualidade de classificação. Assim, a partir da árvore gerada é possível identificar quais os atributos que melhor conduzem à classificação dos dados, motivo pelo qual, de forma preliminar, fez-se a utilização de Árvores de Decisão (AD) para investigação das variáveis explanatórias mais relevantes a serem incorporadas nas redes neurais.

Na implementação das redes neurais, foi estabelecida como variável de saída a frequência de acidente por gravidade, possuindo três classes: Sem vítimas, Com vítimas feridas, Com vítimas fatais. Na Figura 2 está apresentada a estrutura genérica das redes neurais. Refere-se ainda que foi utilizado o tipo *multilayer perceptron* (MLP) de rede com o algoritmo *backpropagation* e função de ativação *sigmoide*.

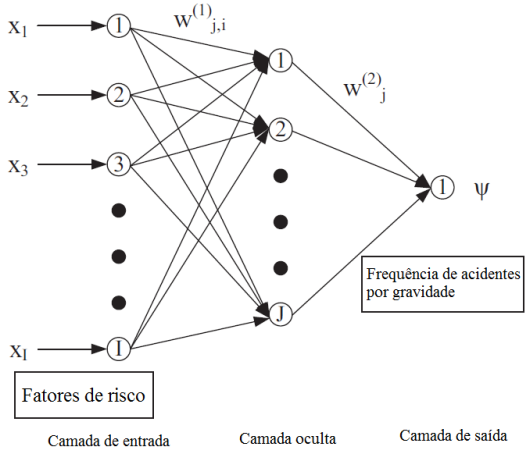


Figura 2: Estrutura genérica das RNA implementadas

4. DADOS

Com o objetivo de analisar os dados de acidentes de rodovias federais brasileiras, utilizou-se o banco de dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF) com os registros de acidentes do ano de 2015 em todas as unidades da federação. Esta base de dados forneceu 12 atributos para modelagem, conforme pode ser visto na Tabela 1. Refere-se que todos os dados utilizados são categóricos (nominais).

Tabela 1: Atributos utilizados na modelagem

Variável		Descrição
Variável resposta		
Y1	Gravidade do acidente	Com vítimas fatais; Com vítimas feridas; Sem vítimas
Variáveis explanatórias		
X1	Mês	Janeiro; Fevereiro; Março; Abril; Maio; Junho; Julho; Agosto; Setembro; Outubro; Novembro; Dezembro
X2	Dia da semana	Segunda; Terça; Quarta; Quinta; Sexta; Sábado; Domingo
X3	Unidade da federação	AC; AL; AM; AP; BA; CE; DF; ES; GO; MA; MG; MS; MT; PA; PB; PE; PI; PR; RJ; RN; RO; RR; RS; SC; SE; SP; TO
X4	Causa do acidente	Animais na pista; Defeito mecânico em veículo; Defeito na via; Desobediência à sinalização; Dormindo; Falta de atenção; Ingestão de álcool; Não guardar distância de segurança; Outras; Ultrapassagem indevida; Velocidade incompatível

X5	Tipo de acidente	Atropelamento de animal; Atropelamento de pessoa; Capotamento; Colisão com bicicleta; Colisão com objeto fixo; Colisão com objeto móvel; Colisão frontal; Colisão lateral; Colisão Transversal; Colisão traseira; Derramamento de carga; Incêndio; Queda de motociclista / bicicleta / veículo; Saída de pista; Tombamento
X6	Fase do dia	Amanhecer; Anoitecer; Plena noite; Pleno dia
X7	Sentido da via	Crescente; Decrescente
X8	Condição meteorológica	Céu claro; Chuva; Granizo; Ignorada; Neve; Nevoeiro/neblina; Nublado; Sol; Vento
X9	Tipo de pista	Dupla; Múltipla; Simples
X10	Traçado da via	Cruzamento; Curva; Reta
X11	Uso do solo	Rural; Urbano

A PRF registrou 122.162 acidentes em rodovias sob sua responsabilidade, no ano de 2015. Desde total de dados, 2.054 registros com dados incompletos foram excluídos na etapa de tratamento e limpeza da base, representando pouco mais de 1,5% da base original.

5. MODELAGEM E RESULTADOS

5.1. Árvores de Decisão (AD)

Inicialmente procedeu-se ao uso de Árvores de Decisão para classificação das variáveis mais relevantes para se constituírem por variáveis de entrada da rede neural artificial (RNA). Na implantação da árvore de decisão, utilizou-se o algoritmo J48, um dos módulos do WEKA. Utilizou-se a opção "*Using training set*" para a validação dos resultados. Ressalta-se que foram testadas as demais opções de validação (base de dados de validação, validação cruzada e divisão percentual), sendo, no entanto, os melhores resultados auferidos com o uso da base de treinamento para o teste do modelo gerado.

Foram utilizados os 12 atributos que totalizaram mais de 120.000 instâncias. O tempo de processamento da árvore foi de 0,89 segundo e 0,21 segundo para a teste do modelo gerado. Em termos gerais, 69,70% instâncias foram classificadas corretamente, conduzindo a 30,30% de dados com classificação equivocada.

Como resultado da análise de concordância Kappa, utilizada para avaliar o nível de reprodutibilidade entre dois conjuntos de dados, obteve-se o valor 0,4251, correspondente à concordância moderada, como proposto por Landis e Koch (1977). O erro médio absoluto foi de 0,2632 e a raiz do erro quadrático médio (RMSE) foi de 0,3705. Com relação à qualidade do modelo, os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Medidas de desempenho das árvores de decisão

Recall	***Precision***	***F-Measure***	**MCC**	**Classificação**
0,780	0,698	0,737	0,464	Sem Vítimas
0,666	0,697	0,681	0,412	Com Vítimas Feridas
0,143	0,653	0,234	0,292	Com Vítimas Fatais
0,697	0,695	0,687	0,432	Média ponderada

Cabe referir o conceito das medidas de desempenho apresentadas na Tabela 2. *Recall* ou sensibilidade mede a capacidade de se predizer uma classe positiva cuja predição está correta,

ou seja, ela indica quantos exemplos positivos foram previstos do total de exemplos. A medida *precision* (ou precisão) calcula a probabilidade da predição positiva estar correta em relação a todas as amostras. A medida *F-measure* é a combinação balanceada das medidas de precisão e sensibilidade. Por fim, MCC (*Matthews Correlation Coefficient*) é uma medida de qualidade de classificação, um coeficiente de correlação entre as classificações previstas e observadas.

De forma complementar, por meio da Matriz de Confusão, nota-se que a maior qualidade requerida ao modelo deve ser na classificação de acidentes com vítimas fatais, no entanto, apenas 14% destes tipos de acidentes foram adequadamente classificados. Do total de vítimas fatais, cerca de 64% foram classificados como acidentes com vítimas feridas e 22% como acidentes sem vítimas.

Ainda assim, a média ponderada da maioria das medidas de desempenho da árvore gerada foi razoável, possibilitando a depreensão quanto às variáveis mais significativas para modelagem. As variáveis mais importantes, de acordo com os valores de entropia obtidos, em ordem decrescente são: tipo do acidente; causa do acidente; UF; mês; dia da semana; condição meteorológica; fase do dia; tipo de pista; traçado da via; sentido da via; uso do solo. Este *ranking* de importância das variáveis dão um indicativo para a implementação de modelos de RNA.

5.2. Redes Neurais Artificiais

No processo inicial de modelagem com RNA foram utilizadas as 11 variáveis explanatórias sob diferentes condições. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados com a utilização destes *inputs*.

Tabela 3: Resultados da modelagem com 11 *inputs*

Rede	TA	M	NO	I	O	It	T	TAc (%)	CK	EAM	RMSE	R	TP (s)
MLP 11-8-1_500	0,4	0,3	8	11	1	500	Uts	65,13	0,3429	0,2427	0,4331	0,171	3140,52
MLP 11-8-1_500_D	0,4	0,3	8	11	1	500	Ps	41,76	0,0057	0,4457	0,4727	0,136	4146,64
MLP 11-8-1_1000	0,4	0,3	8	11	1	1000	Uts	65,68	0,3573	0,2429	0,4157	0,23	6357,31

Legenda

TA – Taxa de aprendizado **M** – momento **NO** – neurônios ocultos **I** – *inputs* **O** – *outputs* **It** – iterações **T** – teste **TAc** – taxa de acerto **CK** – coeficiente Kappa **EAM** – erro absoluto médio **RMSE** – raiz quadrado do erro quadrático médio **R** – *recall* (mortes) **TP** – tempo de processamento **Uts** – *Using training set* **Ps** – *Percentage split*

A taxa de acerto, principal parâmetro de avaliação do modelo corresponde a porcentagem de exemplos que foram classificados corretamente. Também é importante esclarecer dois conceitos de erro, obtidos no modelo: o parâmetro RMSE é utilizado para avaliar a diferença entre um estimador e o verdadeiro valor da quantidade estimada, com valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada; já o EAM mede o afastamento médio das previsões em relação aos valores observados, constituindo na média dos erros da previsão.

Os resultados demonstraram que, fixados os parâmetros e com número máximo de iterações igual a 500, a utilização do teste tipo "*Using training set*" tem melhor desempenho do que o tipo "*Percentage split*". Na primeira situação, o algoritmo utiliza os casos de treino para o teste, enquanto que no segundo, reservou-se, da amostra total, 70% de dados para treinamento e 30% para teste.

Com relação ao número de iterações, utilizando-se o limite de 1.000, o dobro do valor inicial, não se constatou grandes ganhos na taxa de acerto, nem tampouco expressiva redução dos erros, no entanto, em se tratando da correta classificação de acidentes com vítimas fatais, verificou-se a melhoria de 34,5% na estimativa. O tempo total de processamento é expresso em segundos.

O incremento de custo computacional para 1.000 iterações é bem desproporcional face aos ganhos, no entanto, tendo em conta a melhoria significativa do *recall* para acidentes com vítimas fatais, foi investigada sua influência em outros cenários. Acima da necessidade de redução da acidentalidade viária, se almeja reduzir a mortalidade em acidentes viários, desta forma o *recall* para essa classe de acidentes torna-se um parâmetro importante.

Considerando o indicativo fornecido pelo método de Árvores de Decisão, fez-se a modelagem de três cenários com exclusão sucessiva de duas variáveis explanatórias, sendo eles: i) 9 variáveis (excluindo-se "Uso do solo" e "Sentido da via"); ii) 7 variáveis (excluindo-se "Traçado da via" e "Tipo de pista); iii) 5 variáveis (excluindo-se "Fase do dia" e "Condição meteorológica"). Fez-se a opção de exclusão de variáveis duas a duas pelo fato de os valores de entropia obtidos, para as variáveis na 6ª posição em diante, serem pouco significativos, além de que, a exclusão de variável a variável careceria de seis cenários, os quais demandariam um tempo de processamento muito alto. Os resultados estão apresentados na Tabela 4. Já na Tabela 5 estão apresentados os resultados quando a limitação de iterações é 1.000.

Tabela 4: Resultados de modelos com menos *inputs* e 500 iterações

Rede	TA	M	NO	I	O	It	T	TAc (%)	CK	EAM	RMSE	R	TP (s)
MLP 9-7-1_500	0,4	0,3	7	9	1	500	Uts	64,83	0,3286	0,2521	0,4152	0,005	3455,01
MLP 7-6-1_500	0,4	0,3	6	7	1	500	Uts	63,12	0,3074	0,2704	0,4059	0,233	4652,48
MLP 5-5-1_500	0,4	0,3	5	5	1	500	Uts	61,64	0,2857	0,2964	0,389	0,302	3683,87

Legenda

TA – Taxa de aprendizado **M** – momento **NO** – neurônios ocultos **I** – *inputs* **O** – *outputs* **It** – iterações **T** – teste **TAc** – taxa de acerto **CK** – coeficiente Kappa **EAM** – erro absoluto médio **RMSE** – raiz quadrado do erro quadrático médio **R** – *recall* (mortes) **TP** – tempo de processamento **Uts** – *Using training set* **Ps** – *Percentage split*

Os resultados permitiram constatar que a redução do número de variáveis explanatórias, mesmo com 1.000 iterações, não conduziu à relevantes melhorias na Taxa de Acerto nem redução do erro. No entanto, é nítida a tendência de aumento do *recall* para acidentes com vítimas fatais, ou seja, a porcentagem de amostras positivas classificadas corretamente sobre o total de amostras positivas sempre aumenta nos modelos com apenas 5 variáveis. Como esta medida é a mais importante para o modelo, outras verificações serão realizadas com o modelo de 5 *inputs*.

Tabela 5: Resultados de modelos com menos *inputs* e 1.000 iterações

Rede	TA	M	NO	I	O	It	T	TAc (%)	CK	EAM	RMSE	R	TP (s)
MLP 9-7-1_1000	0,4	0,3	7	9	1	1000	Uts	64,61	0,3277	0,2556	0,4165	0,119	6036,17
MLP 7-6-1_1000	0,4	0,3	6	7	1	1000	Uts	63,67	0,3083	0,2664	0,396	0,100	8771,99
MLP 5-5-1_1000	0,4	0,3	5	5	1	1000	Uts	62,48	0,3022	0,2963	0,3883	0,311	3683,87

Legenda
TA – Taxa de aprendizado **M** – momento **NO** – neurônios ocultos **I** – *inputs* **O** – *outputs* **It** – iterações **T** – teste **TAc** – taxa de acerto **CK** – coeficiente Kappa **EAM** – erro absoluto médio **RMSE** – raiz quadrado do erro quadrático médio **R** – *recall* (mortes) **TP** – tempo de processamento **Uts** – *Using training set* **Ps** – *Percentage split*

Em todos os modelos gerados, utilizou-se o número de neurônios ocultos calculado pelo WEKA, que é dado pela metade da soma entre o número de atributos e o número de classes. Nesta circunstância, o modelo com 5 *inputs* teve a utilização de 5 neurônios ocultos.

Visando avaliar a influência do número de neurônios escondidos nas respostas do modelo, foram mantidos os parâmetros utilizados anteriormente, adotando, no entanto, 10 neurônios ocultos, o dobro do calculado pelo WEKA. Na Tabela 6 estão apresentados os resultados dessa simulação.

Tabela 6: Resultados de modelos com 5 *inputs* e 10 neurônios ocultos

Rede	TA	M	NO	I	O	It	T	TAc (%)	CK	EAM	RMSE	R	TP (s)
MLP 5-10-1_1000	0,4	0,3	10	5	1	1000	Uts	63,08	0,2972	0,3017	0,3898	0,001	1348,33

Legenda
TA – Taxa de aprendizado **M** – momento **NO** – neurônios ocultos **I** – *inputs* **O** – *outputs* **It** – iterações **T** – teste **TAc** – taxa de acerto **CK** – coeficiente Kappa **EAM** – erro absoluto médio **RMSE** – raiz quadrado do erro quadrático médio **R** – *recall* (mortes) **TP** – tempo de processamento **Uts** – *Using training set* **Ps** – *Percentage Split*

Em termos gerais, a utilização de 10 neurônios ocultos levou à queda no desempenho do modelo. De forma bastante acentuada, houve a queda no *recall* para acidentes com vítimas fatais, resultando num desempenho de baixa qualidade e não aceitável, uma vez que de 5645 acidentes com mortes, o modelo previu apenas 5 mortes. Tendo isto em vista, retornou-se à utilização do número de neurônios ocultos calculado pelo WEKA.

Outra avaliação que se fez foi quanto à influência da taxa de aprendizado no desempenho do modelo. Para tanto, foram implementados dois cenários: i) taxa de aprendizado de 0,3; ii) taxa de aprendizado de 0,5, retirando 10% ou adicionando 10%, respectivamente, ao valor utilizado nas implementações anteriores. Os resultados estão expressos nas Tabela 7, nas linhas correspondentes às redes MLP 5-5-1_1000_0.3 e MLP 5-5-1_1000_0.5.

Os resultados permitiram constatar que, nem uma taxa de aprendizado menor, nem uma taxa de aprendizado maior do que 0,4 conduz à ganhos no desempenho do modelo, pelo contrário,

ocorre uma piora nas medidas de desempenho, especialmente no *recall* para acidentes com fatalidades. Assim, retorna-se à utilização de taxa de aprendizado igual a 0,4.

Tabela 7: Modelos com 5 *inputs* com diferentes momentos e taxas de aprendizagem

Rede	TA	M	NO	I	O	It	T	TAc (%)	CK	EAM	RMSE	R	TP (s)
MLP 5-5-1_1000_0.3	0,3	0,3	5	5	1	1000	Uts	62,8	0,3077	0,293	0,3877	0,301	5864,85
MLP 5-5-1_1000_0.5	0,5	0,3	5	5	1	1000	Uts	62,67	0,2859	0,2937	0,3889	0,062	4581,25
MLP 5-5-1_1000_0.2	0,4	0,2	5	5	1	1000	Uts	61,82	0,2693	0,2968	0,3909	0,055	4373,01
MLP 5-5-1_1000_0.4	0,4	0,4	5	5	1	1000	Uts	62,38	0,2806	0,2964	0,3905	0,06	5513,81

Legenda
TA – Taxa de aprendizado **M** – momento **NO** – neurônios ocultos **I** – *inputs* **O** – *outputs* **It** – iterações **T** – teste **TAc** – taxa de acerto **CK** – coeficiente Kappa **EAM** – erro absoluto médio **RMSE** – raiz quadrado do erro quadrático médio **R** – *recall* (mortes) **TP** – tempo de processamento **Uts** – *Using training set* **Ps** – *Percentage Split*

A última análise se refere à sensibilidade do modelo com a variação do momento (*momentum*), que tem por objetivo aumentar a velocidade de treinamento e reduzir o perigo de instabilidade. Com vistas a permitir tal análise, foram implementados dois cenários: i) momento igual a 0,2; ii) momento igual a 0,4. Os resultados dessas implementações podem ser vistos nas linhas correspondentes às redes MLP 5-5-1_1000_0.2 e MLP 5-5-1_1000_0.4 da Tabela 7.

Tanto o aumento (0,4) quanto a diminuição (0,2) do valor do momento, geraram queda no desempenho dos modelos. Todas as medidas foram prejudicialmente afetadas, merecendo destaque o *recall* (mortes), que teve uma redução drástica de mais de 80% de acerto, em relação ao melhor desempenho anterior. Destarte, os valores iniciais de taxa de aprendizado (0,4) e momento (0,3) foram os que conduziram aos melhores resultados.

6. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho era avaliar o potencial de utilização de RNA para a classificação de acidentes viários por severidade, propósito que o trabalho cumpriu. Os resultados obtidos indicaram aderência do uso desta técnica de inteligência artificial para a análise de acidentes em rodovias federais brasileiras e ainda, apontaram para oportunidades de aperfeiçoamento. A abordagem em estudo se coloca como importante ferramenta de suporte à modelagem da segurança viária e proposição de medidas de promoção de ambiente viário mais seguro nestas rodovias brasileiras. Ademais, o estudo pode subsidiar pesquisas aplicadas a outros cenários. De forma particular, destacam-se ainda algumas conclusões:

i) Devido ao grande volume de dados e alta aleatoriedade, característica dos dados de acidentes viários, o uso de Árvore de Decisão não é muito adequado, uma vez que gera uma árvore muito ramificada e de difícil extração de informações;

ii) A utilização de menos variáveis explanatórias, conforme ordem identificada pela Árvore de Decisão, não conduziu, necessariamente à melhoria das medidas de desempenho da rede, mas, especificamente para a abordagem da pesquisa, a medida mais relevante (*recall* para acidentes com vítimas fatais) obteve melhor desempenho;

iii) Ao contrário do que se supunha, as variáveis "Uso do solo" e "Traçado da via" foram pouco relevantes na classificação de acidentes em rodovias federais brasileiras;

iv) Como é de se esperar, os melhores resultados de acerto e erros minimizados ocorrem quando são utilizados os mesmos dados de treinamento para o teste da RNA. Entretanto, quando a rede for exposta a dados desconhecidos, pode haver uma redução potencial no desempenho;

v) A implementação de redes neurais com 1.000 iterações, quando comparado à execução de 500 iterações, incorre em um custo computacional desproporcional aos ganhos de desempenho, que na maioria dos parâmetros é mínimo;

vi) Apenas o modelo de RNA com 5 *inputs* teve significativo aumento no valor de *recall* para acidentes com fatalidades;

vii) A utilização de duas vezes mais neurônios ocultos do que o calculado pelo WEKA, no modelo com 5 *inputs*, gerou queda nas medidas de desempenho do modelo, especialmente no *recall* (mortes), ainda que com um ligeiro incremento da taxa de acerto;

viii) A depender do problema de modelagem, uma medida de desempenho pode preponderar sobre as demais, requerendo do modelador conhecimento para interpretação dos resultados;

ix) A variação da taxa de aprendizado para mais (0,5) ou para menos (0,3) gerou piora no desempenho dos modelos, especialmente quanto ao *recall* (mortes). Isso reforça a recomendação da literatura para o uso de taxa de aprendizado igual a 0,4;

x) A variação de momento, tanto para mais quanto para menos, gerou queda em todas as medidas de desempenho, especialmente no *recall* (mortes) que chegou a uma redução superior à 80% quando comparado ao resultado anterior;

xi) Os parâmetros iniciais de taxa de aprendizado (0,4) e momento (0,3) foram os que conduziram aos melhores resultados;

xii) A maior taxa de acerto auferida foi 65,68% associada a um *recall* (mortes) de 0,23, enquanto que o maior *recall* (mortes) obtido foi de 0,311 associado à taxa de acerto de 62,48%, podendo ser considerado o melhor resultado. Este resultado foi para o modelo de 5 *inputs*, com 1.000 iterações, 5 neurônios ocultos, taxa de aprendizado igual a 0,4 e momento igual a 0,3;

xiii) Os resultados obtidos são razoáveis em vista dos constatados em trabalhos anteriores, tais como Sohn e Lee (2003) – taxa de acerto de 72,7%, Abdel-Aty e Abdelwahab (2004) – taxa de acerto de 73,5%, Delen *et al*. (2006) – taxa de acerto de 78,38%, Chang (2005) – taxa de acerto de 64%, Alikhani *et al*. (2013) – taxa de acerto de 77,26% e Zeng e Huang (2014) com taxa de acerto de 55,01%;

xiv) A razoabilidade dos resultados demonstra o potencial de emprego de RNA na análise de acidentes de trânsito e abre oportunidade para aprimoramentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Aty, M. A.; Abdelwahab, H. T. (2004) Predicting Injury Severity Levels in Traffic Crashes: A Modeling Comparison. *Journal of Transportation Engineering* 130, 204-210.

Abdel-Aty, M. e Pande, A. (2005) Identifying crash propensity using traffic speed conditions. *Journal of Safety Research* 36 (1), 97–108.

Alikhani, M.; Nedaie, A.; Ahmadvand, A. (2013) Presentation of clustering-classification heuristic method for improvement accuracy in classification of severity of road accidents in Iran. *Safety Science* 60, 142-150.

Cardoso, G. (2006) *Modelos para Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Arteriais Urbanas*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Chang, L. (2005) Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety Science*, 43, 541-557.

Chua, L. O.; Yang, L. (1988) Cellular neural networks: theory. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, v. 35, nº 10, p. 1257-1272.

Costa, J. O. (2013) *Desenvolvimento dum modelo de previsão de acidentes*. Tese de Doutoramento em Segurança Rodoviária, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Delen, D.; Sharda, R. e Bessonov, M. (2006) Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks. *Accident Analysis and Prevention* 38 (3), 434-444.

Guyon, I. (1991) *Neural Networks and applications tutorial*. Physics Reports, v. 17 nº 3, p. 215-259.

Hauer, E. (2004) Statistical Road Safety Modeling. *Transportation Research Record*, 1897, 81-87.

Haykin, S. (2001) *Redes Neurais: Princípios e prática*. Paulo Martins Engel (Trad.). 2ª ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman.

Huang, H.; Zeng, Q.; Pei, X.; Wong, S. C.; Xu, P. (2016) Predicting crash frequency using an optimized radial basis function neural network model. *Transportmetrica* A 12 (4), 330–345.

Landis, J. R. e Koch, G. G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, v. 33, n 1, p. 159-174.

Lord, D. e Mannering, F. (2010) The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A 44*, p. 291–305.

Morais, E. C. (2010) *RECONHECIMENTO DE PADRÕES E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS EM PREDIÇÃO DE ESTRUTURAS SECUNDÁRIAS DE PROTÉINAS*. Tese em Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Mussone, L.; Ferrari, A. e Oneta, M. (1999) An analysis of urban collisions using an artificial intelligence model. *Accident Analysis and Prevention* 31 (6), 705–718.

Mussone, L.; Rinelli, S. e Reitani, G. (1996) Estimating the accident probability of a vehicular flow by means of an artificial neural network. *Environment and Planning B* 23, 667–675.

Nodari, C. T. (2003) *Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Nodari, C. e Lindau, L. (2001) Auditorias de Segurança Viária. *Transportes*, v 9, n 2. pp 48-66.

Sinay, M. C. F. e Tamayo, A. S. (2005) Segurança Viária: Uma Visão Sistémica. *Anais do III Rio de Transportes*, Rio de Janeiro.

Sohn, S.; Lee, S. (2003) Data fusion, ensemble and clustering to improve the classification accuracy for the severity of road traffic accident in Korea. *Safety Science* 41 (1), 1–14.

Tamayo, A. S. (2010) *Procedimento para Avaliação e Análise da Segurança de Tráfego em Vias Expressas Urbanas*. Tese de doutorado em Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 219 p.

Zeng, Q.; Huang, H.; Pei, X.; Wong, S. C. (2016) Modeling nonlinear relationship between crash frequency by severity and contributing factors by neural networks. *Analytic Methods in Accident Research* 10, 12–25.

Zeng, Q.; Huang, H. (2014) A stable and optimized neural network model for crash injury severity prediction. *Accident Analysis and Prevention* 73, 351–358.

Philippe Barbosa Silva (philippe.silva@ifgoiano.edu.br)
Curso de Engenharia Civil, Campus Rio Verde, Instituto Federal Goiano
Rodovia Sul Goiana, km 01, s/ nº, Zona Rural – Rio Verde, GO, Brasil
Michelle Andrade (michelleandrade@unb.br)
Programa de Pós-Graduação em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Riberio, SG-12, Asa Norte – Brasília, DF, Brasil
Li Weigang (weigang@unb.br)
Programa de Pós-Graduação em Informática, Departamento de Ciência da Computação, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Riberio, Edifício CIC/EST, Asa Norte – Brasília, DF, Brasil

ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL DE ATROPELAMENTOS EM ZONAS DE TRÁFEGO DE FORTALEZA

Lucas Tito Pereira Sobreira
Flávio José Craveiro Cunto
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Atropelamentos representam uma considerável parcela das fatalidades no trânsito. Nos últimos anos, estudos vêm sendo realizados no Brasil e no mundo com o intuito de melhorar a compreensão da natureza dos acidentes, a fim de auxiliar o processo de planejamento de transportes. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma análise exploratória espacial entre variáveis de uso do solo, de características geométrica e operacionais de vias e de fatores socioeconômicos e atropelamentos em 271 zonas de tráfego de Fortaleza. Foram aplicadas técnicas estatísticas convencionais de correlação e ferramentas espaciais para avaliação dessa relação. Os resultados mostraram que as variáveis relacionadas ao uso do solo de comércio e serviços, à variedade de uso do solo e a medidas indicativas de fluxo de veículos e pedestres, como interseções semaforizadas e paradas de ônibus, apresentaram maior capacidade de explicar o fenômeno.

ABSTRACT
Pedestrian accidents represent a considerable portion of the fatalities in roads. In the last years, studies have been conducted in Brazil and abroad willing to improve the comprehension of the nature of accidents, in order to turn the process of transportation planning more accurate. The objective of this work is to develop an spatial exploratory analysis between variables associated to land use, geometric and operational road characteristics and socioeconomic factors and pedestrian accidents in 271 traffic zones in Fortaleza. Standard statistic techniques and spatial tools were applied to evaluate this relation. The results showed that variables related to commercial and services land use, diversity of land use and proxy indicators of vehicle and pedestrian flow, as signalized intersections and bus stops, presented a greater capacity of explaining the phenomenon of pedestrian accidents in traffic zones.

1. INTRODUÇÃO

Em sua inerente vulnerabilidade, os pedestres estão expostos a consequências mais severas dos acidentes de trânsito. Na cidade de Fortaleza, no ano de 2015, foram catalogados 119 acidentes fatais com pedestres, correspondendo a 38% de todas as fatalidades no trânsito (AMC, 2016). Comparando com outras cidades brasileiras, o Rio de Janeiro, em 2011, foram registradas 691 mortes no trânsito, sendo 33% de pedestres (IST, 2012).

A representatividade excessiva dos pedestres nos acidentes de maior severidade pode ser atribuída em parte, ao processo histórico de urbanização com foco no transporte motorizado dos últimos 50 anos. Recentemente podem ser observadas iniciativas com foco no resgate social dos modos de transporte ativos incentivadas pela Política Nacional de Desenvolvimento Urbano e na Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável (MCIDADES, 2012).

No contexto apresentado acima, o processo de planejamento do sistema de transportes tem procurado considerar as viagens a pé como protagonistas. Desta forma, a incorporação da segurança viária no processo de planejamento, principalmente a nível estratégico, vem sendo cada vez mais aperfeiçoada a partir de ferramentas de análise menos subjetivas e mais robustas (Washington *et al.*, 2006; Herbel *et al.*, 2009).

Dentre as principais ferramentas de análise do desempenho da segurança viária (DSV) ressaltam-se aquelas dedicadas ao entendimento da relação entre a frequência de acidentes para cada zona de tráfego e variáveis explicativas de exposição, de uso do solo, de

características geométricas e operacionais das vias, entre outras (Hashimoto, 2005; Siddiqui *et al.*, 2012; Ukkusuri *et al.*, 2012). Em estudos realizados em área, a incorporação do fator espacial gera resultados mais confiáveis do que análises que não consideram essa dimensão (Anselin, 1992; Gomes *et al.*, 2017). A melhor compreensão dessas relações é fundamental para a incorporação efetiva da segurança viária durante as etapas de avaliação de alternativas e tomada de decisão (Torres, 2016).

O objetivo deste trabalho é efetivar uma análise exploratória espacial ao nível de zonas de tráfego de Fortaleza de modo a permitir o levantamento de hipóteses da relação de causa e efeito entre variáveis compatíveis com o planejamento estratégico e os atropelamentos.

2. MODELAGEM DO DSV COM FOCO NO PEDESTRE

Em análises feitas com atropelamentos em interseções e segmentos, constatou-se que as variáveis mais significativas são a exposição de veículos e pedestres (Lyon e Persaud, 2002; Dolatsara, 2014). Para análises em nível de zonas de tráfego, devido à dificuldade de coleta, a estimação dos fluxos de veículos e pedestres é feita de forma indireta, com a aplicação de fatores de uso do solo e características socioeconômicas das zonas de tráfego.

Graham e Glaister (2003) desenvolveram um estudo em Londres visando investigar a variação espacial em zonas de tráfego dos acidentes com pedestres relacionada a variáveis de características socioeconômicas e de uso do solo. Os autores utilizaram a população, o número de empregos e a diversidade de uso do solo de cada zona como *proxy* para o fluxo de pedestres. A aplicação de modelos não espaciais com distribuição binomial negativa mostrou que as ocorrências são mais frequentes em zonas residenciais do que em zonas comerciais e que o aumento de densidade populacional das zonas reduz o número esperado de atropelamentos.

Hashimoto (2005) realizou uma análise exploratória espacial de atropelamentos em 732 zonas da cidade de Hillsborough-EUA. Mapas de densidade dos acidentes foram usados para análise da espacialidade e modelos de previsão de acidentes (MPA) binomiais negativos não espaciais foram aplicados para a verificação da significância estatística de cada variável. Os resultados mostraram que as variáveis de uso do solo de comércio e de serviços, uso do solo residencial e densidade de rodovias estaduais foram diretamente proporcionais à frequência de acidentes. Já as variáveis de renda média por domicílio e a porcentagem de moradores idosos foram inversamente proporcionais aos atropelamentos.

Além das variáveis relacionadas à exposição, os fatores geométricos (número de faixas e quilometro de vias) e operacionais (número de interseções semaforizadas e de paradas de ônibus) das vias de cada zona também foram considerados em estudos anteriores (Siddiqui *et al.*, 2012; Ukkusuri *et al.*, 2012). A Tabela 1 apresenta um resumo das variáveis consideradas significativas para representar atropelamentos em estudos macroscópicos.

Além das variáveis citadas acima, o índice de entropia vem se destacando como uma variável importante para a caracterização de atropelamentos e do fluxo de pedestres. O índice de entropia (Equação 1) representa o grau de diversidade de uso do solo de certa zona.

$$I_{ent} = \sum_{i=1}^{n} - p_i * \ln p_i / \ln n \quad (1)$$

Em que: I_{ent} é o índice de entropia; p_i é a área do tipo de uso do solo i; n é o total de tipos de uso do solo. Esse índice tem valores de 0 a 1, em que 0 corresponde a locais de uso do solo único e 1 é relativo a zonas de diversidade igualmente distribuída.

Tabela 1: Variáveis correlacionadas aos atropelamentos

Autores	Anos	#Zonas	Variáveis dependentes
Hashimoto, 2005	1999-2001	732	Uso do solo de comércio e de serviços, uso do solo residencial e dens. de rodovias estaduais.
Cottrill e Thakuriah, 2010	2005	870	Índice de acessib. de pedestres, fluxo de veículos, km de vias, núm. de escolas, núm. de crimes
Ukkusuri *et al, 2011*	2002-2006	180	Uso do solo comercial, número de estações de metrô, número de faixas, número de interseções com 4 ou 5 aproximações
Siddiqui *et al*,2012	2005-2006	1479	km de vias com limite de 35 mph, número de interseções, renda média por domicílio, número de empregos, população total

Estudos de geração de viagem mostram que o índice de entropia está relacionado à frequência de viagens de pedestres (Targa e Clifton, 2005; Ewing e Cervero, 2010). Ouyang e Bejleri (2014) desenvolveram um estudo sobre a ocorrência de acidentes de trânsito em zonas em que uma das variáveis foi a entropia, que apresentou proporcionalidade direta com diversos tipos de acidentes analisados: total de acidentes, atropelamentos e acidentes fatais.

Nos últimos anos, estudos de frequência de acidentes em zonas de tráfego vêm sendo realizados comparando técnicas com e sem a incorporação da espacialidade. (Hadayeghi *et al.*, 2010; Pirdavani *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2017). Hadayeghi *et al.* (2010) desenvolveram MPA para o número total de colisões em 481 zonas em Toronto-CAN. Foram desenvolvidos modelos binomiais negativos e Poisson lineares e Poisson geoponderados. A incorporação da espacialidade trouxe melhoras no ajuste dos modelos com aumento médio de 40% no coeficiente R^2 e significativa redução nos erros médios e quadráticos.

Gomes *et al.* (2017) aplicaram modelos binomiais negativos lineares e geoponderados e Poisson geoponderados na análise do número total de acidentes em 126 zonas de tráfego de Fortaleza. Os modelos espaciais exibiram melhores resultados nos parâmetros de ajuste e na redução da espacialidade dos resíduos.

A maioria dos trabalhos de segurança viária desenvolvidos em área compreende o número total de acidentes ou acidentes envolvendo veículos. O enfoque na categoria dos pedestres ainda apresenta lacunas, principalmente no esforço da incorporação do fator espacial nas análises, que, segundo Anselin (1992), é essencial para a melhor representação do fenômeno.

3. MÉTODO

O método proposto para desenvolvimento da análise exploratória das variáveis que estão relacionadas à frequência de acidentes com pedestres nas zonas de tráfego de Fortaleza é apresentado na Figura 1.

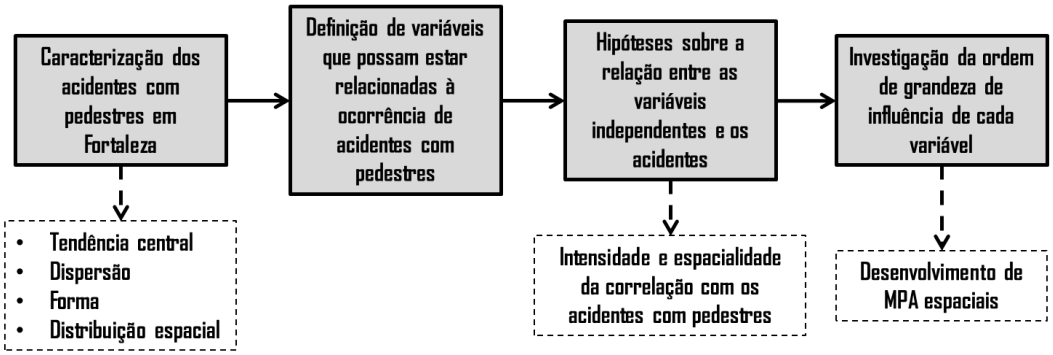


Figura 1: Método proposto para análise exploratória dos acidentes com pedestres

A primeira etapa do método proposto é a caracterização dos acidentes com pedestres em Fortaleza, com a estatística descritiva dos atropelamentos, histograma para visualização da forma da distribuição e ferramentas espaciais para investigação da dependência espacial da distribuição dos acidentes pelas zonas.

Dentre as ferramentas mais aplicadas em análises espaciais são o índice global de Moran e o mapa de Moran (Quddus, 2008; Siddiqui *et al.*, 2012; Gomes *et al.*, 2017). O índice global de Moran (*I)* é um indicador da autocorrelação espacial global da amostra, sua formulação é apresentada na Equação 2. Para desenvolvimento do índice de Moran, é necessária a determinação de uma matriz de adjacência (*W)* que contém a proximidade das zonas, medida a partir de distâncias de centroides ou do compartilhamento ou não de fronteiras de delimitação das zonas.

$$I = \left[\frac{n}{\sum_{i=1}^{n} z_i^2}\right] * \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij} * z_i * z_j}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_{ij}}\right] \quad (2)$$

Em que:
I = índice global de Moran;
n = número total de zonas;
w_{ij} = elemento correspondente da matriz de adjacência W;
z_i = diferença entre o valor do atributo na zona i e a média de todos os atributos;
z_j = diferença entre o valor dos atributos vizinhos da zona i e a média de todos os atributos.

Valores positivos para o índice global de Moran indicam uma autocorrelação positiva, em que a maior parte dos pares de zonas vizinhas analisados tem seu valor do mesmo lado quando comparados à média, ou seja, os dois são superiores ou inferiores a ela, representando locais de concentração de altos ou baixos valores. Valores de I superiores a 0,3 são indicações de forte autocorrelação espacial (O'Sullivan e Unwin, 2010). Já o mapa de Moran é uma representação local do índice de Moran, em que são exibidas as zonas que apresentaram índices estatisticamente significativos e a correlação dessas zonas com as vizinhas.

O levantamento de hipóteses das relações entre as variáveis coletadas e os acidentes com pedestres foi baseado na aplicação da correlação de Pearson – para estimação da intensidade dessa relação – e de mapas de Moran bivariados – que relacionam a espacialidade dos atropelamentos com a da variável estudada.

A investigação da ordem de grandeza da influência de cada variável sobre os atropelamentos foi realizada com o desenvolvimento de MPA espaciais. A definição do tipo de distribuição que os acidentes seguem é importante para a calibração do modelo. Pesquisas mostram que a incorporação de distribuições de Poisson e binomial negativa melhora a aderência dos erros à característica dos acidentes, que apresentam, em geral, comportamento disperso (Bonneson e McCoy, 1993). Devido à dificuldade de implementação da binomial negativa em estudos espaciais, a distribuição de Poisson é amplamente utilizada em análises de acidentes em área (Hadayeghi, 2009; Hadayeghi *et al.*, 2010; Pirdavani *et al.*, 2012). A estrutura do modelo é apresentada na Equação 3.

$$Y_i \sim Poisson\ \exp\left[\sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{k,i}\right] \quad (3)$$

Em que:
Y_i = número de acidentes previstos para a zona *i*;
k = número de parâmetros da estimação (intercepto e variáveis preditoras);
β_k = coeficiente para cada parâmetro;
u_i, v_i = coordenadas x e y da zona *i*;
$x_{k,i}$ = valores da variável preditora *k* referente à zona *i*.

O modelo foi calibrado utilizando o software *GWR4* (Nakaya *et al*, 2016) o qual estima coeficientes de variáveis diferentes para cada zona em função dos atropelamentos observados na zona em estudo e nas suas vizinhas. O *GWR4* fornece quatro diferentes funções para consideração de vizinhança das zonas (*Fixed Gaussian, Fixed bi square, Adaptative bi square* e *Adaptative Gaussian*) que variam na forma de incorporação das distâncias entre centroides e na consideração da largura de banda – que representa a distância crítica para consideração de vizinhança. As duas funções que adaptam a largura de banda em busca de um melhor ajuste do modelo foram testadas, e foi escolhida a que apresentou modelo com menores resíduos.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados e analisados os resultados em três etapas: caracterização dos acidentes com pedestres nas zonas de Fortaleza, análise exploratória das variáveis relacionadas aos acidentes e aplicação da modelagem espacial.

4.1 Caracterização dos acidentes com pedestres nas zonas de Fortaleza

Neste estudo, foi utilizada uma base georreferenciada da cidade de Fortaleza que contém 283 zonas de tráfego. As informações referentes ao uso do solo foram obtidas a partir de um banco de dados agregado por lotes da Secretaria Municipal de Finanças – Fortaleza (SEFIN) correspondente ao ano de 2015. As características socioeconômicas da população foram coletadas através do Censo 2010, do qual subconjuntos censitários foram os mesmos considerados para a formação das 283 zonas de tráfego de Fortaleza. Os atributos de geometria e operação das vias foram reunidos a partir de arquivos georreferenciados fornecidos pela Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC). Ressalta-se que, devido à falta de informações, 12 zonas foram retiradas da análise.

Os dados de acidentes de 2009 a 2011 foram coletados pelo Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR) que utiliza informações registradas por 12 órgãos responsáveis pelo atendimento da ocorrência. A Tabela 2 traz a estatística descritiva dos acidentes.

A Tabela 2 mostra que houve uma redução nas médias e desvios padrões dos acidentes com o evoluir dos anos, entretanto não é possível afirmar – devido à oscilação natural dos acidentes – que a melhora no número de ocorrências ocorreu graças a intervenções de segurança viária ou a medidas de educação no trânsito.

Tabela 2: Estatística descritiva dos acidentes com pedestres de 2009 a 2011

Atropelamentos	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
2009	5,43	5,72	0	40
2010	4,53	4,66	0	31
2011	3,84	4,39	0	32
2009 a 2011	13,80	13,78	0	103

O histograma de frequência dos acidentes com pedestres (Figura 2) mostra uma elevada concentração de zonas com 0 a 10 acidentes no período (51% das zonas). O histograma exibe ainda duas zonas que se destacam pelo maior número de acidentes. Elas representam áreas da cidade localizadas nos bairros Centro e Aerolândia, que são caracterizados pela extrema concentração de comércio e serviços e pela elevada densidade de habitantes e diversidade de uso do solo. Um teste de aderência qui-quadrado foi aplicado à distribuição, e foi verificado que, com 95% de confiança, não há indícios para rejeitar a hipótese nula de que os atropelamentos seguem a distribuição exponencial.

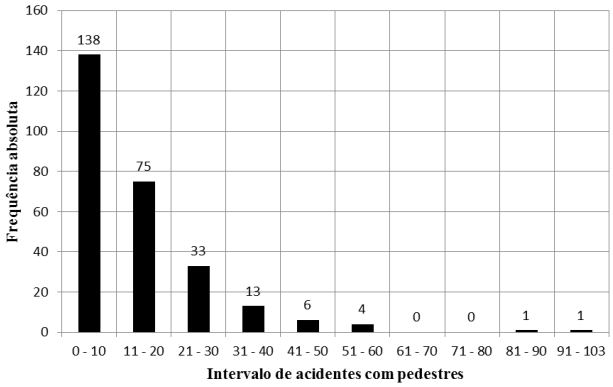


Figura 2: Histograma da frequência dos acidentes com pedestres em 2009 a 2011

O índice de Moran global para os acidentes foi de 0,421 (valor-p $<10^{-6}$), indicando forte autocorrelação espacial dessa variável. A Figura 3 traz o mapa de Moran para os atropelamentos. É possível identificar as regiões da cidade com concentração de altas (*High-High*) e baixas (*Low-Low*) ocorrências. Percebe-se que nas áreas norte e oeste da cidade há uma concentração de zonas com alta frequência de atropelamentos. Já nas zonas periféricas a leste e a sul de Fortaleza ocorre o adensamento de localidades com baixas ocorrências.

4.2 Análise exploratória das variáveis

As Tabelas 3, 4, 5 e 6 apresentam a relação de variáveis coletadas divididas em diferentes classificações que podem estar relacionadas aos acidentes com pedestres, além de um resumo da estatística descritiva delas e o coeficiente de correlação (R) com a soma dos atropelamentos de 2009 a 2011.

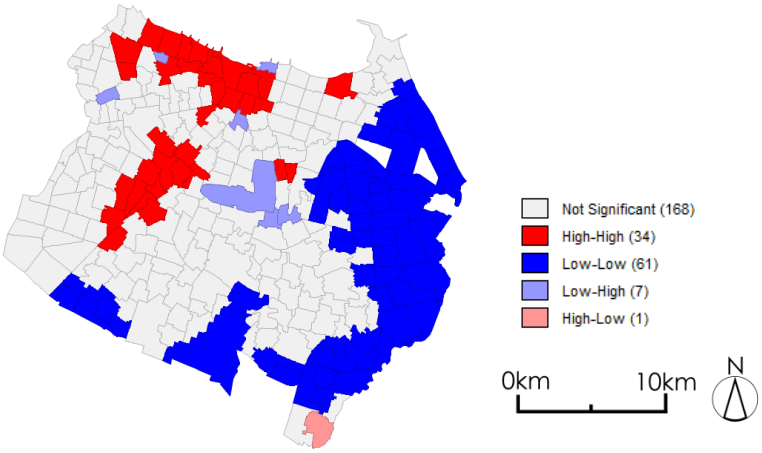


Figura 3: Mapa de Moran dos acidentes com pedestres em Fortaleza

Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis de infraestrutura das vias

Variável	Descrição	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	R
Via_Total	Km de vias	17,11	8,42	2,88	77,08	0,25
Via_Asfaltada	Km de vias asfaltadas	10,96	6,17	0,67	36,73	0,56
Vias>=3fx	Km de vias com 3 ou mais faixas de tráfego	1,81	1,37	0	7,03	0,26
Via_Sentido_Duplo	Km de vias sent. duplo	3,28	5,50	0	62,08	0,03

A Tabela 3 mostra que *Via_Asfaltada* apresenta significativa correlação com os atropelamentos, indicando que essa pode ser uma variável relacionada à exposição das ocorrências. *Via_Total* que inclui todos os tipos de via tem menor correlação com a variável dependente pelo desenvolvimento de menores velocidades veiculares nesses tipos de vias e pela menor presença de polos gerados de tráfego – que atraem a movimentação de pessoas – quando comparadas com as asfaltadas.

As variáveis *Vias>=3fx* e *Via_Sentido_Duplo* que, respectivamente, estão relacionadas à maior exposição dos pedestres e ao possível aumento de conflitos durante as travessias, apresentaram baixas correlações com a frequência de acidentes.

Tabela 4: Estatística descritiva das variáveis de operação das vias

Variável	Descrição	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	R
Fisc_Elet	Núm de equip. de fiscaliz. eletrôn.	1.52	2.95	0	30	0.36
Int_Semaf	Núm. de interseções semaforizadas	3.00	5.87	0	54	0.53
Semaf_Estag_Ped	Núm. de semáforos com estágio para pedestres	0.24	0.62	0	4	0.36
Semaf_Excl_Ped	Número de semáforos exclusivos para pedestres	0.28	0.76	0	9	0.49
Paradas_Onibus	Núm. de paradas ativas de ônibus	17.64	11.76	0	98	0.53

As variáveis *Int_Semaf* e *Semaf_Excl_Ped* (Tabela 4) apresentam considerável correlação com os atropelamentos e podem estar relacionadas à representação do fluxo de veículos e de

pedestres, respectivamente. *Paradas_Onibus* apresenta alta correlação com os atropelamentos e está fortemente relacionada com a movimentação de pedestres.

A variável *Mat_Ens_Bas* (Tabela 5), como esperado, apresentou maior correlação com os acidentes com pedestres do que *Mat_Ens_Sup*. A baixa maturidade com relação ao comportamento no trânsito e a maior frequência de deslocamentos a pé básico aumenta o risco de atropelamento dos estudantes de ensino.

Tabela 5: Estatística descritiva das variáveis de uso do solo

Variável	Descrição	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	R
Mat_Ens_Bas	Núm. de matrículas em ens. básico	2.332	2.383	0	21.038	0,55
Mat_Ens_Sup	Núm. de matrículas em ens. superior	496	2.204	0	28.130	0,09
L_Indust (m²)	Área de uso do solo industrial	11.496	42.557	0	514.466	0,06
CSBD (m²)	Área de uso do solo comerc. e serv. de baixa densidade. I.A. < 2,0	132.052	96.484	0	603.362	0,40
CSAD (m²)	Área de uso do solo comerc. e serv. de alta densidade. I.A. > 2,0	5.516	14.584	0	177.297	0,51
RBD (m²)	Área de uso do solo residencial de baixa densidade. I.A. < 0,8	229.291	175.778	0	1.276.394	0,12
RMD (m²)	Área de uso do solo residencial de média densidade. 0,8 < I.A. < 2,0	47.440	36.366	0	240.065	0,33
RAD (m²)	Área de uso do solo residencial de alta densidade. I.A. > 2,0	15.658	39.856	0	356.479	0,14
HP (m²)	Área de uso do solo de hab. precárias	3.095	7.796	0	74.986	0,15
Entropia	Índice de entropia das zonas	0,50	0,16	0	0,79	0,37

Nota: I.A. - índice de aproveitamento: índice que define a área total que pode ser construída no lote.

A análise do tipo de uso do solo mostra que a presença de comércios e serviços está mais atrelada à ocorrência de acidentes do que zonas com predomínio residencial ou industrial. Isso ocorre, provavelmente, pela maior rotatividade de pessoas que as áreas comerciais apresentam, aumentando a exposição dos pedestres aos acidentes. A *Entropia*, que caracteriza a diversidade de uso do solo das zonas e que foi relacionado à geração de viagens em outros estudos, apresentou correlação moderada com os atropelamentos.

A Figura 4 traz os mapas de Moran bivariados das variáveis que mais importantes discutidas acima com os atropelamentos. Verifica-se que a *Entropia* é a variável que apresenta maior correlação espacial com os acidentes. Já *Mat_Ens_Bas* – que não apresenta autocorrelação espacial (I = 0,06) – também não teve correlação espacial com os acidentes. A baixa concentração de escolas de ensino básico nas zonas indica uma distribuição homogênea dessas por Fortaleza, facilitando o deslocamento a pé dos estudantes. As variáveis de uso do solo de comércio e serviço exibiram correlação espacial moderada com os atropelamentos.

Verifica-se que *Dom_Alta_Renda* apresentou menor correlação com os acidentes do que *Dom_Média_Renda* e *Dom_Baixa_Renda*, possivelmente pelo menor fluxo de pedestres em zonas com domicílios de uma maior renda, motivada pelo maior uso de veículos individuais. Já zonas com domicílios de baixa e média renda apresentam a maior parte da população se deslocando por meio de transporte público, aumentando, assim, a exposição a atropelamentos. Uma hipótese para a diferença de correlação entre domicílios de média e de baixa renda é que

o primeiro apresenta maior correlação com a área de comércios e serviços, indicando uma maior movimentação de pedestres.

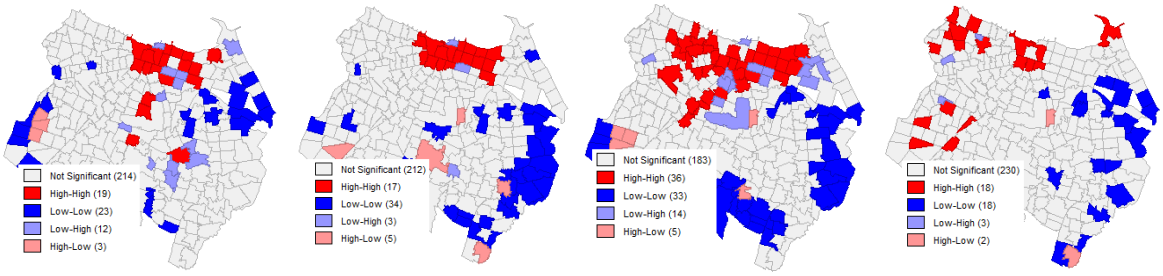


Figura 4: Mapa de Moran bivariado dos *CSBD* (1), *CSAD* (2), *Entropia* (3) e *Mat_Ens_Bas* (4) com os atropelamentos

Tabela 6: Estatística descritiva das variáveis socioeconômicas

Variável	Descrição	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo	R
Dom_Baixa_ Renda	Núm. de domic. de baixa renda (renda per capita média entre R$291,00 e R$ 441,00)	1677	1438	0	8114	0,34
Dom_Média_ Renda	Núm. de domic. de média renda (renda per capita média entre R$441,00 e R$ 641,00)	597	413	0	2511	0,53
Dom_Alta_ Renda	Número de domicílios de alta renda (renda per capita média acima de R$641,00)	344	548	0	4479	0,17
Domicilios	Somatório dos domicílios	2617	1795	0	10115	0,44

A Figura 5 mostra que *Dom_Média_Renda* e *Dom_Baixa_Renda* exibem maiores correlações espaciais com os atropelamentos do que a variável de alta renda. As zonas de alta concentração desses tipos de domicílio (zona oeste da cidade) também é uma área de elevada frequência de acidentes, refletindo na alta correlação. Por fim, *Domicílios* apresentou considerável correlação com os acidentes, sinalizando que zonas com mais domicílios provavelmente são localidades mais habitadas, consequentemente aumentando o número de pessoas expostas aos atropelamentos.

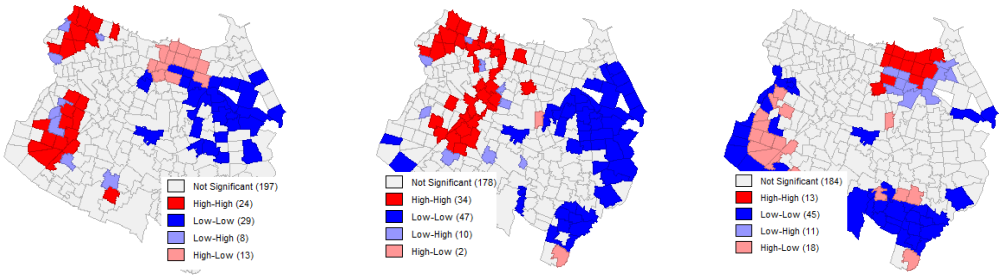


Figura 5: Mapa de Moran bivariado dos domicílios de baixa renda (esq.), média renda (centro) e alta renda (dir.) com os atropelamentos

Foram selecionadas as nove variáveis que exibiram correlação superior a 0,40 com os acidentes e o índice de entropia, por sua relevância em estudos anteriores, para maior investigação de suas relações com os atropelamentos (Tabela 7).

Nota-se que *Via_Asfaltada* apresenta elevada correlação com as variáveis *Paradas_Onibus*, *Dom_Média_Renda* e *Domicílios*. Além disso, percebe-se que *Paradas_Onibus* exibiu alta correlação com *Mat_Ens_Bas*, *Dom_Média_Renda* e *Domicílios*, indicando a maior acessibilidade a zonas com concentração dessas variáveis. A forte correlação entre *Int_Semaf* e *Semaf_Excl_Ped com CSAD* e remete à presença de alto fluxo de veículos e pedestres em zonas de intenso comércio e serviço.

Tabela 7: Matriz de correlação das variáveis selecionadas

	Soma_Acid_Ped	Via_Asfaltada	Int_Semaf	Semaf_Excl_Ped	Paradas_Onibus	Mat_Ens_Bas	CSBD	CSAD	Entropia	Dom_Média_Renda	Domicílios
Soma_Acid_Ped	1.00										
Via_Asfaltada	0.56	1.00									
Int_Semaf	0.53	0.37	1.00								
Semaf_Excl_Ped	0.49	0.19	0.46	1.00							
Paradas_Onibus	0.53	0.71	0.39	0.35	1.00						
Mat_Ens_Bas	0.55	0.50	0.36	0.47	0.60	1.00					
CSBD	0.40	0.46	0.42	0.23	0.41	0.21	1.00				
CSAD	0.51	0.32	0.76	0.57	0.50	0.40	0.41	1.00			
Entropia	0.37	0.48	0.35	0.15	0.30	0.14	0.28	0.24	1.00		
Dom_Média_Renda	0.53	0.74	0.23	0.24	0.61	0.44	0.37	0.20	0.41	1.00	
Domicílios	0.44	0.72	0.12	0.15	0.58	0.45	0.30	0.14	0.29	0.84	1.00

4.3 Investigação da influência das variáveis na frequência dos atropelamentos

Foram desenvolvidos cinco MPA geoponderados seguindo a distribuição de Poisson (Tabela 8) considerando a utilização de variáveis de diferentes tipos e que não apresentaram alta correlação entre si (R > 0,50), a fim de evitar o fenômeno da multicolinearidade aos modelos. A comparação entre modelos foi realizada a partir do *Corrected Akaike Information Criterion (AICc)* e do valor da correlação de Pearson ajustada. O *AICc* consiste em um ajuste na formulação do tradicional *AIC* (Akaike, 1974) devido ao pequeno grau de liberdade geralmente verificado em regressões geoponderadas (Nakaya *et al.*, 2005). Quanto menor for o valor do *AICc*, melhor o ajuste do modelo. A aplicação da função de vizinhança *Adaptative Bi Squared* foi a que apresentou melhores *AICc* para os modelos.

Tabela 8: Parâmetros dos modelos de previsão de acidentes com pedestres

Variáveis	Número do modelo espacial de Poisson				
	1	**2**	3	4	5
Intercepto	-0,13; 2,44 (1,00; 1,60; 1,83)	**-1,98; 2,66 (-0,22; 0,59; 1,41)**	0,33; 2,55 (1,16; 1,65; 1,93)	-1,72; 3,07 (-0,19; 0,79; 1,70)	0,56; 2,71 (1,25; 1,93; 2,14)
Via_Asfaltada	4,06E-04; 0,15 (0,04; 0,06; 0,08)	-	-0,02; 0,16 (0,04; 0,06; 0,08)	-	-
Int_Semaf	-0,21; 0,49 (0,02; 0,05; 0,15)	-	-	-	-
Semaf_Excl_Ped	-	-	-	-0,56; 0,89 (2,35E-04; 0,17; 0,34)	-
Paradas_Onibus	-	**-0,01; 0,60 (0,02; 0,03; 0,04)**	-	-	-
Mat_Ens_Bas	-	-	-9,20E-05; 2,18E-04 (2,00E-05; 4,20E-05; 7,60E-05)	-	-2,90E-05; 2,06E-04 (3,30E-05; 8,10E-05; 1,11E-04)
CSBD	-2,00E-06; 5,00E-06 (0; 1,00E-06; 2,00E-06)	**-2,00E-06; 6,00E-06 (1,00E-06; 2,00E-06; 3,00E-06)**	-	-	-
CSAD	-	-	-5,90E-05; 8,20E-05 (4,00E-06; 1,20E-05; 3,20E-05)	-	-3,80E-05; 8,00E-05 (7,00E-06; 1,80E-05; 3,30E-05)
Entropia	-	**-0,33; 7,67 (1,11; 1,84; 3,27)**	-	-0,98; 7,67 (1,29; 1,97; 3,28)	-
Dom_Média_Renda	-	-	-	-	-5,00E-05; 2,17E-03 (4,41E-04; 6,81E-04; 9,94E-04)
Domicílios	-	-	-	1,80E-05; 5,70E-04 (1,31E-04; 1,80E-04; 2,83E-04)	-
AICc	963	**924**	984	1067	1116
R^2_α	0,74	**0,75**	0,72	0,69	0,67

Mínimo, Máximo (1o Quartil, Mediana, 3o Quartil)

É importante lembrar que os modelos espaciais estimam coeficientes únicos para cada zona. Comparando os modelos calibrados, verifica-se que o modelo 2 – que inclui as variáveis *Paradas_Ônibus*, *CSBD* e *Entropia* – apresentou o melhor ajuste aos acidentes observados.

A análise dos coeficientes das variáveis (Tabela 8) mostra que o valor mínimo foi negativo para algumas das variáveis, indicando que o aumento dessas nas zonas reduz a estimação dos acidentes, o que é contra intuitivo. Entretanto, esse fenômeno só ocorre em poucas zonas, visto que os coeficientes para o 1º quartil de todas as variáveis são valores positivos.

O problema de negatividade de alguns parâmetros não é algo incomum em modelagens espaciais (Zhao *et al.*, 2005; Hadayeghi *et al.*, 2010). Isso ocorre devido à multicolinearidade de algumas variáveis em certas zonas, indicando que as variáveis podem ser correlacionadas localmente, e não globalmente (Wheeler e Tiefelsdorf, 2005).

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise exploratória de variáveis relacionadas ao uso do solo, a características geométricas e operacionais das vias e a fatores socioeconômicos de 271 zonas de tráfego de Fortaleza com os acidentes com pedestres que ocorreram entre os anos de 2009 a 2011. A caracterização dos atropelamentos mostrou forte autocorrelação espacial com concentração de altas ocorrências em zonas da cidade que apresentam elevado fluxo de pedestres e veículos e intensa diversidade de uso do solo.

A análise exploratória permitiu o levantamento de hipóteses sobre os tipos de variáveis que afetam a frequência de atropelamentos. Para as variáveis de uso do solo, por exemplo, áreas de comércio e de serviços apresentaram maior correlação aos acidentes do que áreas residenciais ou industriais, indicando a maior movimentação e exposição de pedestres nesse tipo de uso do solo. Além disso, o número de matrículas em ensino básico e o grau de diversidade de uso do solo também se mostraram importantes para entendimento do fenômeno. Variáveis que estão relacionadas à exposição ao acidente (*Via_Asfaltada)*, ao fluxo de veículos (*Int_Semaf*) e ao fluxo de pedestres (*Semaf_Excl_Ped* e *Paradas_Ônibus*) também exibiram relevância para compreensão dos atropelamentos.

A aplicação de modelos espaciais como parte de uma análise exploratória complementar possibilitou a investigação da relevância de certas variáveis para a ocorrência dos acidentes. Cinco MPA com diferentes variáveis foram calibrados, e o modelo que apresentou melhor ajuste aos atropelamentos contém as variáveis: *Paradas_Ônibus*, *CSBD* e *Entropia.*

É importante destacar que as áreas das zonas de tráfego não foram dimensionadas com o intuito de estudos de segurança viária, podendo o elevado número de zonas com nenhum acidente afetar as análises. Outra limitação é que uma parcela dos acidentes em Fortaleza não é georreferenciada, não sendo considerada no estudo. Em trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação de modelos espaciais desenvolvidos com a distribuição binomial negativa, além da investigação de diferentes configurações de áreas de análise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akaike, H. (1974) A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 19, n. 6, p. 716–723.

AMC. (2016) *Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito de Fortaleza 2015*. Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania, Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza, CE.

Anselin, L. (1992) *A Workbook for Using*. University of California, Santa Barbara, USA.

Bonneson, J. A.; P. T. McCoy. Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highways. *Transportation Research Record*, Washington, D.C., vol. 1401, p. 83-99. 1993.

Cottrill, C. D., e Thakuriah, P. (2010) Evaluating pedestrian crashes in areas with high low-income or minority populations. *Accident Analysis and Prevention*, *42*(6), 1718–1728. doi:10.1016/j.aap.2010.04.012

Dolatsara, H.A. Development of Safety Performance Functions for Non-Motorized Traffic Safety. Thesis (Mastery) – Western Michigan University, USA. 2014.

Ewing, R., e Cervero, R. (2010) Travel and the Built Environment. *Journal of the American Planning Association*, *76*(3), 265–294. doi:10.1080/01944361003766766

Gomes, M. J. T. L., Cunto, F., e Silva, A. R. (2017) Geographically weighted negative binomial regression applied to zonal level safety performance models. *Accident Analysis & Prevention*, *106*(June), 254–261. doi:10.1016/j.aap.2017.06.011

Graham, D., e Glaister, S. (2003) Spatial Variation in Road Pedestrian Casualties: The Role of Urban Scale, Density and Land-use Mix. *Urban Studies*, *40*(8), 1591–1607. doi:10.1080/0042098032000094441

Hadayeghi, A. (2009) *Use of Advanced Techniques to estimate Zonal Level Safety Planning Models and Examine Their Temporal Transferabilty*. Thesis. Department of Civil Engineering. University of Toronto.

Hadayeghi, A., Shalaby, A. S., e Persaud, B. N. (2010) Development of planning level transportation safety tools using Geographically Weighted Poisson Regression. *Accident Analysis and Prevention*. doi:10.1016/j.aap.2009.10.016

Hashimoto, T. (2005) *Spatial Analysis of Pedestrian Accidents*. Thesis (Mastery). University of South Florida.

Herbel, S., Meyer, M. D., Kleiner, B., e Gaines, D. (2009) *A Primer on Safety Performance Measures for the Transportation Planning Process*. Report No.FHWA-HEP-09-043.

IST. (2012) *Dossiê Trânsito 2012 - RJ*. Instituto de Segurança Pública (RJ).

Lyon, C., e Persaud, B. (2002) Pedestrian collision prediction models for urban intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *d*(2), 102–107. doi:10.3141/1818-16

MCIDADES (2012) *Política Nacional de Mobilidade Urbana – Lei 12.578/2012.* Ministério das Cidades.

Nakaya, T., Charlton, M., Lewis, P., Fortheringham, S., Brunsdon, C., (2016). Windows Application for Geographically Weighted Regression Modeling. Ritsumeikan University, Kyoto, Japan.

Nakaya, T., Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., e Charlton, M. (2005) Geographically weighted Poisson regression for disease association mapping. *Statistics in Medicine*, *24*(17), 2695–2717. doi:10.1002/sim.2129

O'Sullivan, D., e Unwin, D. (2010) *Geographic information analysis*. Wiley, Hoboken, NJ, USA.

Ouyang, Y., e Bejleri, I. (2014) Geographic Information System-Based Community-Level Method to Evaluate the Influence of Built Environment on Traffic Crashes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2432*, 124–132. doi:10.3141/2432-15

Pirdavani, A., Bellemans, T., Brijs, T., e Wets, G. (2012) Application of Geographically Weighted Regression Technique in Spatial Analysis of Fatal and Injury Crashes. *Journal of Transportation Engineering*, *140*(8), 4014032. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000680

Quddus, M. A. (2008) Modelling area-wide count outcomes with spatial correlation and heterogeneity: An analysis of London crash data. *Accident Analysis and Prevention*, *40*(4), 1486–1497.

Siddiqui, C., Abdel-Aty, M., e Choi, K. (2012) Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes. *Accident Analysis and Prevention*, *45*, 382–391. doi:10.1016/j.aap.2011.08.003

Targa, F., Clifton, K. (2005). The built environment and trip generation for non-motorized travel. *Journal of Transportation and Statistics*, 8(3), 55–70.

Torres, C.A. (2016) Avaliação do desempenho da segurança viária em redes urbanas de transportes com utilização de modelos de previsão de acidentes. Tese (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.

Ukkusuri, S., Miranda-Moreno, L. F., Ramadurai, G., e Isa-Tavarez, J. (2012) The role of built environment on pedestrian crash frequency. *Safety Science*, *50*(4), 1141–1151. doi:10.1016/j.ssci.2011.09.012

Washington, S., Schalkwyk, I. Van, Mitra, S., Meyer, M., e Dumbaugh, E. (2006) *Incorporating safety into long-range transportation planning*. *National Cooperative Highway Research Program*. doi:10.17226/13891

Wheeler, D., e Tiefelsdorf, M. (2005) Multicollinearity and correlation among local regression coefficients in geographically weighted regression. *Journal of Geographical Systems*, *7*(2), 161–187. doi:10.1007/s10109-005-0155-6

Zhao, F., Chow, L.-F., Li, T.-M., e Liu, X. (2005) *A Transit Ridership Model Based on Geographically Weighted Regression and Service Quality. Report DO97591*. Lehman Center for Transportation Research, Department of Civil and Environ- mental Engineering, Florida International University.

Lucas Tito Pereira Sobreira (lucastito@det.ufc.br)
Flávio José Craveiro Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI, s/n – Bloco 703. Fortaleza, CE, Brasil.

ESTIMAÇÃO DE CONFLITOS VEICULARES EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS A PARTIR DA VISÃO COMPUTACIONAL

Johny Alves Lira
Flávio José Craveiro Cunto
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Um dos maiores problemas ocasionados no tráfego veicular são os acidentes. Há uma carência de estudos do desempenho operacional da segurança viária quando há ausência de dados confiáveis de acidentes, visto que métodos tradicionais exigem um histórico de acidentes. A abordagem proativa de avaliação da segurança viária pode se tornar possível na medida em que existem melhores métodos de estimação de conflitos veiculares e sua validação com o risco de colisão. A visão computacional tem sido utilizada para coleta de conflitos veiculares, através de rastreamento veicular baseado em característica. Assim, este trabalho objetiva propor um método empírico de análise do desempenho da segurança viária em interseções semaforizadas a partir da estimação de conflitos veiculares através de visão computacional. Com esta dissertação, espera-se contribuir com os métodos de avaliação da segurança viária no tráfego urbano brasileiro a partir da caracterização de seu desempenho operacional através da estimação de conflitos veiculares.

Johny Alves Lira (Johny_Jal@hotmail.com)
Flávio José Craveiro Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI, s/n – Bloco 703 CEP. 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil.

ADAPTAÇÃO DA FERRAMENTA QFD PARA ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DE ITS NA SEGURANÇA VIÁRIA

Christine Tessele Nodari
Noara Foiatto
Maurício Castilhos de Oliveira
Francisco Marchet Dalosto
Maria Beatriz Berti da Costa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia de Produção

RESUMO
A complexidade da interação entre veículo, homem e via dificulta a escolha de intervenções apropriadas à gestão da segurança viária. Cabe ao gestor escolher aquelas que atendam às demandas de segurança dos usuários e que sejam técnica e operacionalmente viáveis. Este artigo propõe uma ferramenta de suporte à decisão na gestão da segurança viária com uma adaptação da ferramenta QFD (*Quality Function Deployment*), a qual se deu o nome de SFD (*Safety Function Deployment*). Sua estrutura e uso são apresentados em uma aplicação voltada à escolha de Sistemas Inteligentes de Transportes (*Intelligent Transportation Systems*). Entre os resultados, destaca-se que, embora o requisito de segurança demandada "condução livre de efeito de álcool/drogas" tenha sido priorizado por especialistas, o item priorizado pela aplicação do SFD não está diretamente ligado a esse requisito, e sim ao controle da velocidade, visto que ele atende a outros requisitos de segurança demandada e restrições incluídas na análise realizada.

ABSTRACT
The complexity of the interaction between vehicle, human and road hampers the choice of appropriate interventions for road safety management. It is up to the manager to choose those that meet user's safety demands and that are both technically and operationally feasible. This paper proposes a decision support tool for road safety management with an adaptation of the QFD (Quality Function Deployment) tool, which was named SFD (Safety Function Deployment). Its structure and use are presented in an application aimed at the choice of Intelligent Transportation Systems. Among the results, it is worth highlighting that, although the safety requirement demanded "alcohol/drug free driving" has been prioritized by specialists, the item prioritized by the application of the SFD is not directly linked to that requirement but to speed control, since such ITS meets several other road safety requirements demanded and constraints included in the analysis performed.

1. INTRODUÇÃO

As perdas decorrentes dos acidentes viários têm sido foco de preocupação crescente nas instituições governamentais, não governamentais e população em geral. Entre estas perdas destacam-se as mortes decorrentes desses acidentes. Dados da Organização Mundial da Saúde – OMS – indicam que os acidentes viários são a principal causa de morte entre jovens de 15 a 19 anos (WHO, 2017). No Brasil, segundo fontes do Ministério da Saúde, a acidentalidade no trânsito foi responsável por 37.306 mortes e 204.000 feridos hospitalizados em 2015 (DATASUS, 2015). Para reverter estas estatísticas indesejadas, faz-se urgente a implantação de ações com foco na melhoria da segurança viária.

De modo geral, as ações para melhoria da segurança viária estão associadas aos três componentes: o homem, a via e o veículo. Melhorias de segurança devem ser focadas no atendimento de requisitos normalmente associados aos componentes da segurança viária e/ou às interfaces entre eles. O condutor estar livre do efeito de álcool é um exemplo de requisito de um sistema viário seguro associado ao componente humano. A instalação de um sistema automático de identificação de alcoolemia no veículo que impeça que o condutor alcoolizado acione o motor e conduza o veículo é um exemplo de intervenção associada à interface veículo-homem voltada para garantir o cumprimento do requisito de segurança mencionado

(Vanlaar *et al.*, 2017).

Outros exemplos de requisitos ou necessidades de segurança e de possíveis intervenções para atender esses requisitos podem ser elencados. Cabe aos gestores de segurança viária escolherem, entre as intervenções possíveis, aquelas que melhor atendam aos requisitos de segurança demandados. Diferentes intervenções para melhoria da segurança se diferenciam por aspectos como nível de impactos gerados, custos de implantação e níveis de aceitação.

Com a finalidade de auxiliar na tomada de decisão relativa à escolha de intervenções de segurança viária, este artigo propõe uma adaptação da ferramenta tradicionalmente usada na gestão da qualidade chamada de Desdobramento da Função Qualidade – QFD (*Quality Function Deployment*). No âmbito da gestão da segurança viária, a ferramenta adaptada recebe o nome de SFD referenciando-se ao Desdobramento da Função Segurança (*Safety Function Deployment*). Para testar o potencial do SFD, é feita uma análise relacionando algumas intervenções envolvendo o uso de Sistemas Inteligentes de Transportes e requisitos de segurança demandada em um ambiente rodoviário. No tráfego rodoviário, o uso intensivo de tecnologia de informação e comunicação, tanto na via quanto no próprio veículo, está sendo cada vez mais empregado, seja por conforto, seja por segurança. Essas tecnologias geralmente são conhecidas como Sistemas Inteligentes de Transportes ou do inglês *Intelligent Transportation Systems* – ITS.

Este artigo está organizado em 5 seções incluindo esta introdução. Na seção 2, é apresentada uma revisão teórica sobre o uso de ITS na segurança viária; a seção 3 apresenta a adaptação da ferramenta QFD em uma ferramenta aqui chamada de SFD. Por fim, as seções 4 e 5 trazem, respectivamente, uma aplicação da ferramenta adaptada e os principais resultados desta aplicação.

2. SEGURANÇA VIÁRIA E ITS

Os ITS estão diretamente relacionados a diversas tecnologias eletrônicas e de informações que, integradas à infraestrutura dos transportes e/ou a veículos, podem melhorar as condições relativas a congestionamentos, à segurança pública, à cobrança de tarifas (pedágios, meios de transportes), entre outros (ETSC, 1999). Neste contexto, diferentes experiências de ITS têm se mostrado bem-sucedidas no apoio à solução de problemas relativos à segurança viária. Ao considerar, por exemplo, o grupo voltado para a melhoria da segurança viária, é possível destacar tecnologias como sistema de rastreamento ocular e sistema de notificação de fadiga (Crabb *et al.*, 2010 e Meng *et al.*, 2016), sistemas de adaptação de velocidade (Prashanth *et al.*, 2014) e sistemas de monitoramento de alcoolemia (Kulkarni e Wafgaonka, 2014). Como aplicação prática, tem-se a oportunidade de, por meio de sistemas de rastreamento ocular, alertar motoristas automaticamente em caso de detecção de sonolência ao volante, prevenindo acidentes potencialmente graves tanto em ambiente urbano quanto em rodovias rurais (Pomarjanschi *et* al., 2012).

Como exemplos de necessidades de segurança para a operação segura de um veículo em uma rodovia, têm-se a velocidade moderada, a manutenção do veículo no leito da via, a baixa variabilidade das velocidades praticadas em uma via e a ausência de motoristas alcoolizados. Existe uma gama de ITS capazes de auxiliar os usuários da via, atendendo a essas demandas de segurança. A Figura 1 apresenta alguns tipos de ITS, suas finalidades, funcionalidades e efeitos para segurança viária.

Categoria do ITS	Especificação do ITS	Efeito na segurança viária
Controle de veículo	Controle eletrônico de estabilidade	Evitar derrapagem do veículo em uma curva ou ao fazer uma manobra (sistema autônomo)
	Sistema de auxílio de permanência na pista	Intervir ao atravessar as faixas da via (por vídeo no veículo e condução assistida por servo)
Prevenção de transgressão da lei	Adaptação inteligente de velocidade	Fornecer informação sobre o limite de velocidade, alertando ou intervindo quando o mesmo é excedido
	Identificação eletrônica de veículo	Localizar e acompanhar um veículo na rede viária, podendo ser usado para apreensão ao exceder velocidade
	Controle de cinto de segurança	Permitir a ignição do veículo somente utilizando o cinto de segurança
Apoio à observação e interpretação de situações	Sistema de evasão e detecção de colisão	Alertar ou intervir quando um objeto é detectado na frente do veículo ou em tráfego transversal
	Sistema de planejamento de viagem	Uso de celular para planejamento de rota e informação antecipada
	Sistema de notificação de emergências	Acionar a emergência mais próxima ao identificar a ocorrência de acidente com um veículo
	Sistema de visão noturna	Aprimorar visão noturna para detectar pedestres/ciclistas a tempo
Redução temporária da aptidão para dirigir	Sistema de alerta de distração	Detectar desvios da atividade cerebral, do movimento dos olhos e do comportamento, alertando ou intervindo
	Dispositivo de bloqueio de alcoolemia	Impedir a ignição do veículo ao identificar determinada concentração de álcool

Figura 1: Síntese de ITS que impedem situações ou ações inseguras durante a condução
Adaptado de SWOV (2016)

Existem ITS que são aplicados diretamente à segurança viária e aqueles que possuem apenas consequências nela. O primeiro grupo pode ser subdivido em: (i) sistemas que previnem a participação insegura de um condutor no tráfego viário, (ii) sistemas que previnem situações ou ações inseguras de um motorista durante a condução e (iii) sistemas que auxiliam na redução da severidade de um acidente. Já o outro grupo possui como objetivo principal o conforto ou gerenciamento de tráfego, logo impactando positivamente na segurança viária (SWOV, 2010).

Um exemplo de ITS diretamente aplicado à segurança viária é o controle eletrônico de estabilidade que, conforme Chouinard e Lécuyer (2011), é um sistema que evita acidentes por derrapagem. O funcionamento é dado por sensores que monitoram o sentido no qual o veículo está se movendo e a direção do interior dele. Quando não estão em sincronia, o sistema aciona os freios de modo a fazer correções na dianteira ou na traseira do veículo impedindo que ele derrape. Esse sistema também consegue regular a potência do motor para que a roda não perca aderência em pavimentos escorregadios.

Há também o sistema de auxílio de permanência na pista que serve para ajudar o condutor a se manter na pista de rolamento enquanto dirige. Amditis *et al.* (2010) explanam que a técnica mais utilizada para obter esse resultado utiliza sensores de imagem que conseguem detectar as marcações das faixas de sinalização horizontal distantes em até 50 metros. No entanto, também é possível adicionar técnicas complementares de predição da geometria da via a partir de *Global Positioning System* – GPS. Além disso, existem maneiras comuns de alertar o motorista por resposta tátil na direção ou auditiva.

Existem ainda os sistemas responsáveis por evitar acidentes. McLaughlin *et al.* (2008) citam a utilização de sensores como radar, laser infravermelho e ultrassom. Segundo Harper *et al.* (2016), são exemplos desse tipo de ITS o aviso de colisão dianteira que detecta objetos à frente e alerta o motorista sobre possível colisão; o aviso de saída de pista, que monitora as marcações das faixas de sinalização horizontal e alerta o condutor caso ele esteja saindo da faixa e o monitoramento de ponto cego, que controla os pontos cegos para trás e para os lados e emite um alerta caso um carro entre nestes pontos.

Um sistema bloqueador de ignição devido ao uso de álcool, por sua vez, serve para impedir que um condutor alcoolizado ligue seu carro. Nesse caso, o motorista deve assoprar um etilômetro conectado à ignição ou algum outro dispositivo de bordo a fim de dar partida no veículo. Além do teste inicial, o condutor deve assoprar o aparelho diversas vezes durante a viagem de forma a garantir sua sobriedade (Vanlaar *et al.*, 2017).

O sistema automático de notificação de emergência serve para avisar às autoridades competentes sobre um acidente recém ocorrido com um veículo por meio de um algoritmo que determina sua desaceleração. Ao ser maior que um valor limite, o dispositivo interpreta que houve uma colisão e envia informações como severidade, direção do impacto e latitude e longitude aos serviços de emergência (Akella *et al.*, 2003).

3. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A proposição da ferramenta de suporte à decisão na gestão da segurança viária (SFD – *Safety Function Deployment*) foi construída a partir da adaptação da ferramenta QFD (*Quality Function Deployment*). Assim, nesta seção são apresentadas características da ferramenta original e as adaptações realizadas.

3.1. Adaptação conceitual do QFD para SFD

Na década de 70, os professores japoneses Shigeru Mizuno e Yoji Akao desenvolveram a ferramenta QFD, em português Desdobramento da Função Qualidade, com a finalidade de integrar as necessidades expressas pelos clientes ao desenvolvimento de produtos e processos (Fernandes e Rebelato, 2006). O propósito do QFD baseia-se em assegurar que os requisitos do cliente sejam considerados em todo o processo (Lee, 2000). Nesse contexto, o QFD pode ser considerado uma metodologia de planejamento que está baseada no conhecimento do mercado e na tradução dos desejos e necessidades do cliente em características mensuráveis de projeto de produtos ou de serviços.

A matriz de segurança viária do SFD aqui proposta objetiva relacionar os requisitos de segurança demandada (necessidades dos usuários), com as características operacionais de segurança viária decorrentes da aplicação de ITS, de forma análoga a estrutura da Matriz de Qualidade no modelo conceitual do QFD. A Figura 2 representa a matriz SFD.

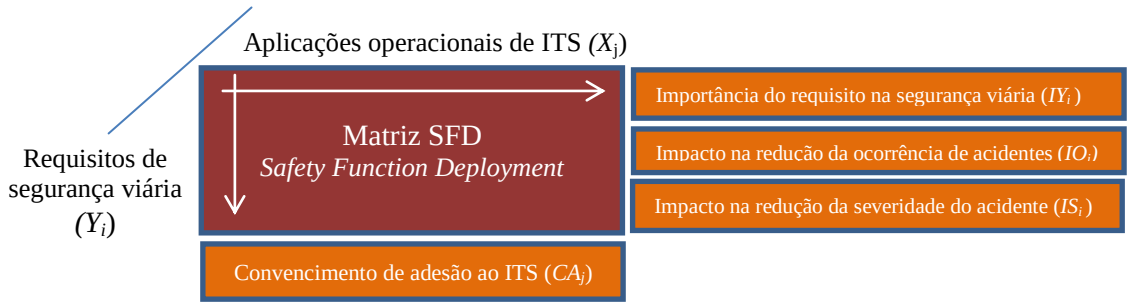


Figura 2: Relacionamento entre as variáveis *Y* e *X* da matriz SFD

Para Stevenson (2001), a lógica do QFD está baseada em uma abordagem estruturada para se integrar "a voz do cliente" ao processo de desenvolvimento do produto ou serviço. Na adaptação para o SFD, "a voz do cliente" foi incorporada na especificação da "segurança demandada", que corresponde à "qualidade demandada" do QFD. A segurança demandada pode ser identificada na Figura 2 como requisitos de segurança viária. Esses itens representam "o que" se deseja tanto na matriz QFD como na adaptação para SFD.

No local da matriz do QFD onde são incluídos os requisitos do produto ou dos processos, foram colocadas as aplicações operacionais de ITS na adaptação para matriz SFD. Esses itens representam "como" serão atendidos os requisitos de qualidade demandada definidos anteriormente. Destaca-se que, neste artigo, foi estudado um conjunto aplicações operacionais de ITS, no entanto nesta parte da matriz poderiam ter sido incluídos outros conjuntos de produtos ou processos que se caracterizassem em alternativas para atender à segurança demandada.

Características dos requisitos da segurança demandada e restrições das aplicações operacionais de ITS foram incluídas na análise da matriz de SFD. Na aplicação aqui apresentada, os requisitos de segurança foram ponderados pela sua influência na ocorrência e na severidade dos acidentes. Como exemplo, pode-se citar que a "existência de áreas de escape" tem maior influência na redução da severidade de um acidente do que na sua ocorrência propriamente dita. Como restrição à aplicação operacional dos ITS estudados, inclui-se na análise uma ponderação das alternativas analisadas quanto intenção/convencimento de adesão ao uso ou instalação dos dispositivos. Essa ponderação permite relativizar a priorização dos ITS no seu potencial de melhoria à segurança considerando aspectos que influenciam no seu uso e não apenas seu impacto direto na provisão de segurança.

3.2. Aplicação da Matriz SFD

Para a aplicação da matriz SFD foi adotado o modelo conceitual do QFD para o setor de serviços proposto por Ribeiro *et al.* (2001). Segundo Ribeiro *et al.* (2001), recomenda-se, inicialmente, uma pesquisa de mercado por meio das 3 etapas listadas a seguir, que compreende ao levantamento dos requisitos do cliente (segurança demandada – Y_i) e a priorização (importância relativa – IY_i) dada às demandas segundo a percepção do usuário:

- Etapa 1: Organização da fase qualitativa (ou pesquisa preliminar);
- Etapa 2: Elaboração da árvore de qualidade demandada dos resultados da fase qualitativa;

- Etapa 3: Elaboração do questionário fechado.

A etapa 1 foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica acerca de necessidades/requisitos de segurança no ambiente viário. A partir da listagem dessas necessidades, foi executada a etapa 2, onde estruturou-se, por meio de um grupo focado, a árvore da segurança demandada em um sistema rodoviário (Figura 3). A elaboração dos questionários fechados (etapa 3) atendeu a duas pesquisas: uma com um grupo de especialistas e outra com grupo de usuários, as quais foram ponderadas por importância e por adesão respectivamente, com a utilização de diferentes escalas para a análise de seus resultados.

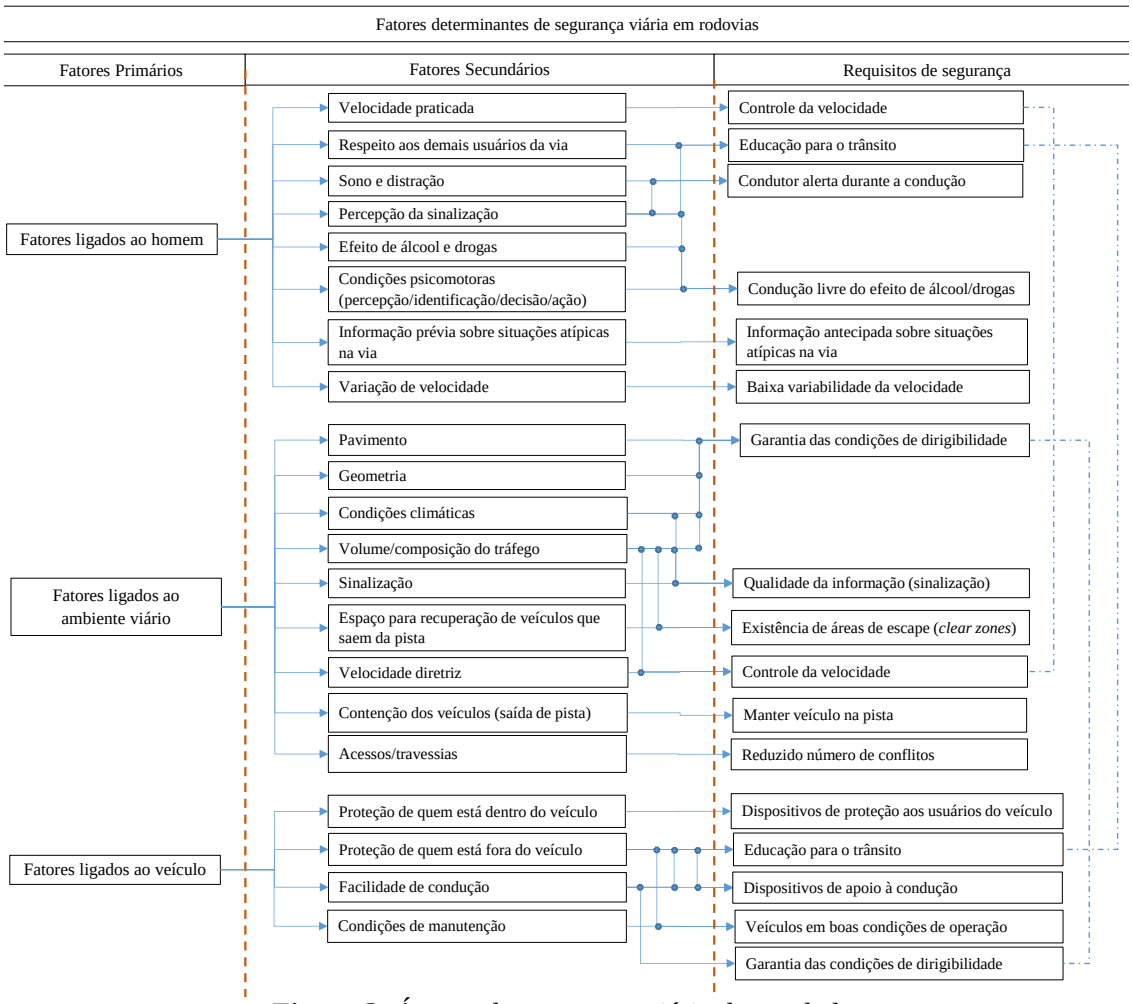


Figura 3: Árvore de segurança viária demandada

A pesquisa direcionada ao grupo de especialistas em segurança viária, realizada por meio eletrônico, baseou-se na pergunta: qual a importância dos requisitos de segurança viária? Como resultado da pesquisa tem-se a Tabela 1, e as respostas seguiram uma escala de importância de 1 (baixa), 2 (média), 5 (alta) e 10 (muito alta). Todos os 9 participantes responderam, sendo eles professores de universidades federais do Brasil e atuantes em pesquisas relacionadas à segurança viária. Os resultados de maior ponderação, "condução livre do efeito de álcool/drogas" e "controle de velocidade", são estudados de maneira sistemática no âmbito de segurança viária e consistem fatores que mais inferem mudanças em curto prazo na segurança viária (Ramaekers *et al.*, 2004; DETRAN-MS, 2016; DAER-RS, 2012).

Tabela 1: Resultado da pesquisa sobre importância para os requisitos de segurança viária

Descrição do requisito de segurança	Escala de importância				Média Ponderada
	Baixa	Média	Alta	Muito alta	
Controle da velocidade		1	1	6	10,06%
Manter veículo na pista		2	4	2	6,61%
Baixa variabilidade da velocidade	1		5	2	6,91%
Informação antecipada sobre situações atípicas		3	3	2	6,16%
Condutor alerta durante a condução		1	4	3	7,81%
Condução livre de efeito de álcool/drogas			1	7	11,26%
Educação para o trânsito		2	5	1	5,86%
Reduzido número de conflitos		4	1	3	6,46%
Qualidade da informação (sinalização)			4	4	9,01%
Existência de áreas de escape (*clear zones*)		1	5	2	7,06%
Garantia das condições de dirigibilidade (inclui condições climáticas, geometria da via)		1	6	1	6,31%
Veículos em boas condições de operação		3	4	1	5,41%
Dispositivos de apoio à condução	1	4	3		3,60%
Dispositivos de proteção aos usuários			6	2	7,51%

Por meio de revisão bibliográfica, foi selecionado um conjunto de aplicações operacionais de ITS. Esse conjunto de ITS foi submetido a uma pesquisa sobre a intenção/convencimento de adesão aplicada aos condutores (usuários) de sistemas de transporte, com a pergunta: você estaria disposto a instalar no seu veículo (sem considerar custo) os seguintes dispositivos de segurança? As respostas seguiram uma escala de 1 (pouco provável) a 4 (com certeza) e, ao total, foram 117 respondentes (Tabela 2). Essa amostra de respondentes foi considerada por conveniência para aplicação da ferramenta SFD proposta.

Tabela 2: Resultado da pesquisa sobre intenção/convencimento de adesão aos dispositivos de segurança (ITS)

Descrição do ITS	Escala para adesão			
	1	2	3	4
Controlador eletrônico de estabilidade (evita derrapagem do veículo em curvas ou ao fazer uma manobra)	8	5	13	90
Sistema de vídeo que auxilia a permanência do veículo na pista	9	16	23	68
Adaptador inteligente de velocidade (ajusta a velocidade do veículo à via; piloto automático)	17	17	25	57
Um aparelho que identifica seu veículo eletronicamente na rede viária (localização e velocidade)	25	23	31	37
Controle de cinto de segurança (somente permite a ignição do veículo utilizando o cinto de segurança)	21	14	9	72
Sistema de evasão e detecção de colisão (alerta ou intervém quando algo é detectado na frente do veículo ou em possível colisão)	6	9	29	72
Sistema de planejamento de viagem (uso de celular para planejamento de rota e informação antecipada)	2	5	19	90
Sistema de notificação de emergências (acionar a emergência mais próxima ao identificar a ocorrência de acidente com um veículo)	4	3	13	96
Sistema de visão noturna (imagem no painel que permite uma melhor identificação de pedestres/ciclistas à noite)	6	8	17	85
Sistema de alerta de distração (detectar desvios da atividade cerebral, do movimento dos olhos e do comportamento, alertando ou intervindo)	16	14	32	54
Bloqueador automático de ignição devido ao uso de álcool e drogas (substâncias psicomotoras)	23	12	17	64

Cada um dos requisitos da segurança demandada foi ainda avaliado pelos autores segundo os critérios de Impacto na redução da ocorrência de acidentes – IO_i e de Impacto na severidade do acidente – IS_i. As escalas adotadas para avaliar esses critérios adotados na matriz SFD (IO_i, IS_i) são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Escala dos índices IO_i e IS_i usados na matriz SFD

Descrição do índice	Legenda			
Impacto na redução da ocorrência de acidentes (IO_i)	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	0,5	1	1,5	2
Impacto na redução da severidade do acidente (IS_i)	Baixo	Médio	Alto	Muito alto
	0,5	1	1,5	2

Para priorizar a importância dos requisitos de segurança – $Ireq_i$, são ponderados os indicadores de impacto na redução da ocorrência de acidentes – IO_i e os indicadores de impacto na redução da severidade do acidente – IS_i, juntamente com o resultado da pesquisa de importância dos requisitos de segurança demandada – IY_i por meio da equação 1. O resultado dessa priorização é apresentado por meio de um gráfico de Pareto (Figura 4).

$$Ireq_i = IY_i * \sqrt{IO_i} * \sqrt{IS_i} \quad (1)$$

em que:

IY_i: segurança demandada do requisito Yi resultante de pesquisa aplicada a um grupo de especialistas;
IO_i: impacto do requisito Y_i na redução da ocorrência de acidentes; e
IS_i: impacto do requisito Y_i na redução da severidade do acidente.



Figura 4: Gráfico de Pareto das importâncias ponderadas aos requisitos de segurança – $Ireq_i$

O desdobramento dos requisitos de segurança nos ITS considerados ocorre por meio do preenchimento do corpo da matriz SFD (figura 5), onde são apresentados os relacionamentos entre as aplicações operacionais dos ITS (coluna) e os requisitos de segurança demandada (linhas). Foram atributos pelos autores notas 1, 2 ou 3 em função da intensidade desses relacionamentos. Caso não haja relacionamento, a célula correspondente deve ser deixada em branco, uma vez que o preenchimento com zero prejudicaria as análises que adotam equações multiplicativas. Considerando o preenchimento da primeira célula da matriz, foi feita a seguinte pergunta: em que nível (baixo, médio ou alto) o requisito de segurança "controle de velocidade" é atendido pelo ITS "controle eletrônico de estabilidade"? A nota 1 atribuída reflete um baixo relacionamento. Esse procedimento foi repetido para todas as células do corpo da matriz onde se relacionam ITS e requisitos de segurança.

Requisitos de segurança viária (Y_i)	Aplicações operacionais de ITS (X_j)														
	Controle eletrônico de estabilidade	Sistema de vídeo que auxilia a permanência do veículo na pista	Adaptador inteligente de velocidade	Identificação eletrônica de veículo (localização e velocidade)	Controle do uso do cinto de segurança	Sistema de evasão e detecção de colisão	Sistema de planejamento de viagem	Sistema de notificação de emergências	Sistema de visão noturna	Sistema de alerta de distração	Bloqueador automático de ignição devido ao uso de álcool e drogas	Importância na segurança demanda (IY_i)	Impacto na redução da ocorrência de acidentes (IO_i)	Impacto na redução da severidade do acidente (IS_i)	Importância do requisito de segurança ($Ireq_i$)
Controle da velocidade	1	1	3	2			1		1	2		8,4	2	2	16,8
Manter veículo na pista	3	3	3	2		1			1	3		5,5	1,5	1,5	8,3
Baixa variabilidade da velocidade	2	1	3	2					1	2		5,8	2	2	11,5
Informação antecipada sobre situações atípicas			2	3		3	3		2			5,1	1,5	0,5	4,4
Condutor alerta durante a condução							2			3		6,5	2	0,5	6,5
Condução livre de efeito de álcool/drogas											3	9,4	2	0,5	9,4
Educação para o trânsito					1		1				2	4,9	2	0,5	4,9
Reduzido número de conflitos							1		2			5,4	1,5	0,5	4,7
Qualidade da informação (sinalização)		1					1					7,5	2	0,5	7,5
Existência de áreas de escape (*clear zones*)												5,9	1	2	8,3
Garantia das condições de dirigibilidade		2					1					5,3	2	2	10,5
Veículos em boas condições de operação	3											4,5	2	0,5	4,5
Dispositivos de apoio à condução	3	3	3		2	3	3		3	2		3,0	1,5	0,5	2,6
Dispositivos de proteção aos usuários					3			2				6,3	0,5	2	6,3
Importância ponderada do ITS ($IPits_j$)	8,58	8,93	12,62	8,63	2,88	2,94	7,84	1,25	6,25	10,59	3,79				
Convencimento de adesão ao ITS (CA_j)	3,69	3,38	3,13	2,76	3,22	3,53	3,80	3,83	3,65	3,15	3,13				
Pontuação	31,7	30,2	39,5	23,8	9,3	10,4	29,8	4,8	22,8	33,4	11,9				

Figura 5: Representação da matriz de segurança demanda – (SFD)

O vetor de notas recebido por cada um dos ITS foi então multiplicado pelo vetor de importância dos requisitos de segurança – $Ireq_i$. Dessa forma, tem-se a importância ponderada de cada ITS estudado – $IPits_j$. Os resultados referentes à priorização das aplicações operacionais dos ITS são, por sua vez, obtidos por meio da equação 2, que inclui o desdobramento dos requisitos de segurança e o convencimento de adesão a cada ITS relacionado na pesquisa.

$$Pontuação_j = IPits_j * \sqrt{CA_j} \quad (2)$$

em que:

$IPits_j$: importância ponderada de cada ITS estudado e

CA_j: convencimento de adesão ao ITS com valores resultantes da pesquisa aplicada a um grupo de condutores.

A linha referente à $pontuação_j$, na Figura 5, indica a priorização das aplicações operacionais

dos ITS considerados na matriz SFD. Como resultado, obteve-se que os ITS de maior pontuação foram: (i) adaptador inteligente de velocidade, (ii) sistema de alerta de distração e (iii) controle eletrônico de estabilidade, indicando que esses devem ser os sistemas priorizados para atendimento dos requisitos de segurança pesquisados.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os requisitos de segurança e as aplicações operacionais de ITS compõe a base da matriz SFD. Complementarmente, a atribuição de ponderações a esses itens foi composta pelos resultados das pesquisas de mercado e por um grupo de especialistas em segurança viária.

Dos requisitos de segurança demandada o item de maior priorização na pesquisa com especialistas foi "condução livre de efeito de álcool/drogas" seguido do "controle da velocidade". Em uma primeira avaliação, sem considerar o desdobramento da função segurança propiciada pelo SFD, seria natural priorizar a adoção de aplicações operacionais de ITS que atendessem a este requisito (bloqueador automático de ignição devido ao uso de álcool e drogas). No entanto, a ferramenta proposta permite incluir na análise os seguintes aspectos: (i) o fato dos ITS analisados poderem atender, simultaneamente, a diferentes requisitos de segurança, (ii) a inclusão de características relevantes dos requisitos de segurança e (iii) limitações dos ITS analisados como a intenção de adesão. Assim, com a ferramenta SFD, a priorização dos ITS a serem adotados foi alterada, passando a ser mais indicado, frente das restrições e características analisadas, a adoção do "adaptador inteligente de velocidade", seguido pelo "sistema de alerta de direção".

Importante destacar que a priorização dos ITS é resultante da sua pontuação final em que a importância ponderada ($IPits_j$) foi multiplicada pela restrição relativa ao convencimento de adesão ao ITS – CA_j. Nessa aplicação apresentada, não houve alteração expressiva na priorização após a consideração desta restrição, no entanto a consideração de outras restrições como o custo de implantação poderia provocar maiores alterações na priorização dos ITS.

Como resultado adicional das pesquisas realizadas com o grupo de especialistas em segurança viária e com o grupo de condutores, foram obtidas algumas sugestões. Entre elas destacam-se: os requisitos de segurança "restrições de motoristas jovens" e "rigor na habilitação de condutores", "bloqueador de sinal de celular" e "carros com sensor de gases tóxicos na cabine para evitar acidentes e casos de suicídio". Observa-se, também, que nenhum dos ITS considerados no estudo atendiam ao requisito de segurança "existência de áreas de escape (*clear zones*)". Por isso, todas as células relacionadas a esse requisito na matriz SFD ficaram em branco.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma adaptação da ferramenta QFD, usada na gestão da qualidade para aplicação na gestão da segurança viária. Para construir e testar a ferramenta adaptada, chamada de SFD (*Safety Function Deployment*), foi feita uma análise relacionando algumas intervenções envolvendo o uso de Sistemas Inteligentes de Transportes e requisitos de segurança demandada em um ambiente rodoviário. O objetivo do uso do SFD é apoiar a tomada de decisão relativa à escolha de intervenções de segurança viária por meio de uma análise robusta dos elementos envolvidos na decisão.

O desenvolvimento do estudo partiu da análise de um conjunto de aplicações operacionais de

ITS com potencial de atender aos requisitos de segurança especificados. Uma avaliação preliminar dos ITS selecionados, a partir da revisão da teoria, evidenciou que alguns possíveis ganhos de segurança propiciados pela adoção de ITS podem ser, deliberadamente ou inconscientemente, neutralizados pela confiança excessiva nos dispositivos de segurança. Um exemplo disso foi encontrado no trabalho de Elvik e Voll (2014), que sugere que condutores de trem adaptavam o seu comportamento ao ambiente mais seguro, confiando que o controle automático do trem iria intervir se a velocidade adotada fosse muito elevada. Esse aspecto possivelmente associado ao uso de ITS não foi considerado neste trabalho.

Segundo James *et al.* (2016), o veículo autônomo, no âmbito da segurança, leva a uma redução substancial no número de acidentes. Essa afirmação é coerente com o resultado deste artigo que prioriza os ITS "adaptador inteligente de velocidade", "sistema de alerta de distração" e "controle eletrônico de estabilidade", que são tecnologias também empregadas na operação de veículos autônomos. Entende-se que esse fato reforça a importância dos ITS priorizados nessa aplicação do SFD mostrando que realmente são relevantes no atendimento aos requisitos de segurança demanda estudados.

Cabe destacar que o ITS priorizado pela análise da Matriz SFD não está diretamente ligado ao requisito de segurança priorizado na pesquisa junto a especialistas. É neste ponto que reside uma importante virtude da aplicação da ferramenta SFD proposta. Por meio das ponderações realizadas e do desdobramento da associação entre as importâncias dos requisitos de segurança e os diferentes dispositivos de ITS, tem-se condições de capturar relações mais complexas entre os dispositivos avaliados e os requisitos de segurança demandada. Assim, a ferramenta SFD mostra-se útil no apoio à tomada de decisão para a priorização de intervenções visando à melhoria das condições de segurança viária ofertadas aos usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akella, M.; C. Bang; R. Beutner; E. Delmelle; R. Batta; A. Blatt; P. Rogerson e G. Wilson (2003) Evaluating the Reliability of Automated Collision Notification System. *Accident Analysis and Prevention*, v. 35, p. 349-360.

Amditis, A.; M. Bimpas; G. Thomaidis; M. Tsogas; M. Netto; S. Mammar; A. Beutner; N. Mohler; T. Wirthgen; S. Zipser; A. Etemad; M. da Lio e R. Cicilloni (2010) A Situation-Adaptive Lane-Keeping Support System: Overview of the Safelane Approach. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 11, n. 3, p. 617-629.

Chouinard, A. e J. F. Lécuyer (2011) A Study of the Effectiveness of Electronic Stability Control in Canada. *Accident Analysis and Prevention*, v. 43, p. 451-460.

Crabb, D. P.; N. D. Smith, F. G. Rauscher, C. M. Chisholm, J. L. Barbur e D. F. Edgar (2010) Garway-Heath. Exploring Eye Movements in Patients with Glaucoma When Viewing a Driving Scene. *PLoS One* [1932-6203], v. 5, n. 3, p. 9710.

DAER-RS (2012) *Acidentalidade em Rodovias Estaduais do Rio Grande do Sul. Acidentalidade no Ano de 2012.* Relatório Nº 42. Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem do Rio Grande do Sul, Secretária de Infraestrutura e Logística, Governo do estado do Rio Grande do Sul.

DATASUS (2015) *Tecnologia da Informação a Serviço do SUS*. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/obt10uf.def>. Acessado em 05 jun. 2017.

DETRAN-MS (2016) *Veja as Principais Causas de Acidentes Nas Vias e Rodovias.* Disponível em: <http://www.detran.ms.gov.br/veja-as-principais-causas-de-acidentes-nas-vias-e-rodovias/>. Acessado em 30 ago. 2017.

Elvik, R. e N. G. Voll (2014) Challenger of Improving Safety in Very Safe Transport Systems. *Safety Science*, v. 63, p. 115-123.

ETSC (1999) European Transportation Safety Council, Intelligent Transportation System and Road Safety.

Fernandes, J. M. R. e M. G. Rebelato (2006) Proposta de um Método para Integração entre QFD e FMEA. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 2, p. 245-259.

Harper, C. D.; C. T. Hendrickson e C. Samaras (2016) Cost and Benefit Estimates of Partially-Automated Vehicle Collision Avoidance Technologies. *Accident Analysis and Prevention*, v. 95, p. 104-115.

James, M. A.; N. Kalra; K. D. Stanley; P. Sorensen; C. Samaras e O. A. Oluwatola (2016) Autonomous Vehicle Technology A Guide for Policymakers. *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data ISBN: 978-0-8330-8398-2*. RAND Corporation, Santa Monica, EUA.

Kulkarni, P. H. e R. Wafgaonkar (2014) Alcohol Detection and Automatic Drunken Drive Avoiding System. *International Journal of Engineering Research and Applications*, v. 4(4), p. 21-24.

Lee, F. (2000) Strategy Formulation Framework for Vocational Education: Integrating SWOT Analysis, Balanced Scorecard, QFD Methodology and MBNQA Education Criteria. *Managerial Auditing Journal*, v. 15. p. 407–423.

McLaughlin, S. B.; J. M. Hankey e T. A. Dingus (2008) A Method for Evaluating Collision Avoidance Systems Using Naturalistic Driving Data. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40, p. 8-16.

Meng, F.; S. Li; L. Cao; Q. Peng; M. Li; C. Wang e W Zhang (2016) Designing Fatigue Warning Systems: The Perspective of Professional Drivers. *Applied Ergonomics*, v. 53, p. 122-130.

Pomarjanschi, L.; M. Door e E. Barth (2012) Gaze Guidance Reduces the Number of Collisions with Pedestrians in a Driving Simulator. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, v. 1, n. 2.

Prashanth, K.; K. Padiyar; P. H. N. Kumar e K. S. Kumar (2014) Road Accident Avoiding System Using Drunken Sensing Technique. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, v. 3 n. 10.

Ramaekers, J. G.; G. Berghaus; M. van Laar e O. H. Drummer (2004) Dose Related Risk of Motor Vehicle Crashes after Cannabis Use. *Drug and Alcohol Dependence*, v. 73, p. 109-119.

Ribeiro, J. L.; M. E. Echeveste e A. F. Danilevicz (2001) QFD – Desdobramento da Função da Qualidade. Série

Stevenson, W. J. (2001) *Administração das operações de produção*. Editora LTC, Rio de Janeiro, RJ.

SWOV (2016) Institute for Road Safety Research, The Netherlands. *Intelligent Transport Systems (ITS) and road safety*. Disponível em: <https://www.swov.nl/en/facts-figures/factsheet/intelligent-transport-systems-its-and-road-safety>. Acessado em 05 jun. 2017.

SWOV (2010) Institute for Road Safety Research, The Netherlands. *Intelligent Transport Systems (ITS) and road safety*. SWOV Fact sheet, 2010. Leidschendam, Holanda

Vanlaar, W. G. M.; M. M. Hing e R. D. Robertson (2017) An Evaluation of Nova Scotia's Alcohol Ignition Interlock Program. *Accident Analysis and Prevention*, v. 100, p. 44-52.

WHO (2017) World Health Organization. *More than 1.2 million adolescents die every year, nearly all preventable*. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/yearly-adolescent-deaths/en/>. Acessado em: 16 jun. 2017.

Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)
Noara Foiatto (noarafoiatto@gmail.com)
Maurício Castilhos de Oliveira (mauricio@alumni.ubc.ca)
Francisco Marchet Dalosto (fmdalosto@gmail.com)
Maria Beatriz Berti da Costa (beacosta@hotmail.com)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia de Produção
Av. Osvaldo Aranha DEPROT/PPGEP, 99 - 5º Andar - Bairro Bom Fim. Porto Alegre. Rio Grande do Sul
CEP: 90035-190. Fone: +55 51 33083491

AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA NO ENTORNO DE ESCOLAS MEDIANTE UMA ANÁLISE ESTATÍSTICA *FUZZY*

Letícia Oestreich[1]
Jean Augusto Lemes[1]
Richard Ortiz Menna[2]
Tânia Batistela Torres[1]
Alejandro Ruiz-Padillo[1,2]
[1]Universidade Federal de Santa Maria-Campus Cachoeira do Sul
Laboratório de Mobilidade e Logística (LAMOT)
[2]Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN)

RESUMO
A promoção da segurança viária nos entornos escolares cria condições para o desenvolvimento de locais mais seguros, incentivando diretamente na mobilidade independente dos jovens. O presente artigo objetivou analisar a percepção de segurança viária dos alunos de escolas públicas e privadas mediante a aplicação de uma modelagem *fuzzy* para avaliação estatística com o método Qui-Quadrado. Os dados analisados foram obtidos a partir de questionários qualitativos aplicados a alunos de ensino médio e das características de áreas definidas no entorno das escolas de forma a levar em consideração o ambiente representativo desses locais. Os resultados alcançados mostram que a percepção dos alunos sofre influência de aspectos, tais como tipo de escola, série cursada, turno e gênero, sendo que escolas situadas em áreas mais movimentadas são as que apresentam maior risco na visão dos alunos sobre os elementos do tráfego.

ABSTRACT
The promotion of road safety in school areas creates conditions for the development of safer places, encouraging directly independent mobility of young people. The present article aims to analyze the perception of road safety of public and private school students by applying a fuzzy model for statistical evaluation using Chi-square method. Input data were obtained from qualitative questionnaires applied to high school students and from the characteristics of surrounding areas in order to take into account the representative environment of the schools. The results achieved show that aspects such as type of school, degree of schooling, studied shift and gender influence the students' perception, so that the schools located in the busiest areas present the highest risk from the students' point of view of the traffic elements.

1. INTRODUÇÃO

A segurança viária tornou-se, nas últimas décadas, um elemento chave no desenvolvimento de projetos e no gerenciamento da operação de transporte rodoviário devido ao aumento da ocorrência de acidentes de trânsito. Anualmente, são perdidas cerca de 1,25 milhão de vidas por acidentes de trânsito em todo o mundo, sendo esta a primeira causa de morte entre jovens de 15 a 19 anos e a segunda causa para jovens entre 5 a 14 anos. Nesse contexto, o Brasil se encontra no 5º lugar entre os países com mais mortes no trânsito (WHO, 2015).

O trânsito no Rio Grande do Sul também é afetado, chegando a fazer 1680 vítimas fatais em 2016 (DETRAN, 2016). Se nada fosse feito, as previsões se tornam perturbadoras para 2030: as mortes no trânsito chegariam a ser a principal causa de morte e a sétima principal causa de invalidez entre as pessoas do mundo todo (Peden, 2008). Os esforços para salvar vidas no trânsito são globais, dentre os quais destacam-se as ações orientadas pela década de Ação para a Segurança Viária, que objetiva reduzir até 2020 em 50% as mortes e lesões decorrentes da acidentalidade. Dessa forma, os países signatários, como o Brasil, passam a buscar o desenvolvimento sustentável comprometido com a melhoria da segurança viária (ANTP *et al.*, 2011; De Campos *et al.*, 2013; United Nations, 2016).

Entretanto, a alta taxa de motorização decorrida da expansão urbana ainda é um problema, e está diretamente relacionada com as mortes de trânsito, principalmente à morte de pedestres (Ewing, 2003). Nos entornos escolares, o alto risco de exposição a acidentes é um dos fatores que leva os pais a optarem por levarem seus filhos às escolas por modo motorizado (Romero, 2011), tendo como consequência uma alta geração de tráfego nos entornos escolares (Clifton e

Kreamer-Filts, 2007), tornando a ambiente urbano próximo menos atrativo e seguro para os alunos realizarem viagens a pé (Andreou, 2010).

Contudo, em estudos realizados em países onde há um grande incentivo da mobilidade independente de crianças, as taxas de acidentalidade são pequenas (Jensen, 2008). Outros estudos que analisam a implantação de projetos de Rotas Seguras, como na Califórnia (EUA), os resultados mostram que houve um aumento na utilização de modos de mobilidade independente de crianças na ida à escola (Boarnet, 2005). Entende-se que esses projetos de rotas seguras incluem uma série de medidas a serem tomadas para tornar o entorno escolar mais seguro. Porém, à medida que a análise da percepção de segurança viária entre as crianças é obtida, pode-se definir quais são os fatores que afetam a sua mobilidade, de forma a tomar decisões possíveis para a mudança no seu trajeto, tornando-o mais seguro e atrativo.

Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é analisar a percepção de segurança viária em torno de escolas da cidade de Cachoeira do Sul-RS em relação aos componentes de tráfego. Para isso, foi realizada uma análise estatística com o método Qui-Quadrado baseado na modelagem *fuzzy*, a partir dos resultados de questionários aplicados a amostras de alunos de ensino médio. Também foram analisadas as características socioeconômicas, viárias e de acidentalidade das diferentes escolas selecionadas para o estudo como forma de obter um perfil dessas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Diariamente, crianças e jovens se deslocam para poder chegar à sua escola e, devido ao grande fluxo de veículos, esses locais acabam se tornando suscetíveis ao envolvimento de jovens e crianças em acidentes. A mobilidade independente das crianças é fortemente afetada pela permissão dos pais (McDonald *et al.*, 2013), entretanto, crianças de mais idade tendem a tomar decisões mais seguras que as mais jovens (Abdel-Aty, 2007). Além disso, crianças com capacidade cognitiva em desenvolvimento tendem a ser mais vulneráveis e, por isso, são expostas a acidentes com mais facilidade (Jensen, 2008). Do mesmo modo, as crianças são fortemente influenciadas pelo modo de viagem adotado pelos pais, mesmo que para curtas distâncias, devido ao fato de que os pais tendem a levar seus filhos à escola antes da ida ao trabalho, por exemplo (Merom, 2006). Dentre os fatores que estão constantemente associados ao receio dos pais em permitir que seus filhos realizem as viagens à escola a pé estão o elevado volume de veículos e a alta velocidade desempenhada por eles, pois afetam tanto o número quanto a severidade dos acidentes (Elvik *et al.*, 2004; Orenstein *et al.*, 2007, Romero, 2011).

Sendo assim, a segurança no trânsito está relacionada com a interação das pessoas com o ambiente, as vias e os veículos que juntos criam a qualidade de vida nas cidades (Welle *et al.*, 2015). Portanto, um acidente pode ser entendido não como resultado de apenas um fator responsável, mas como um evento resultante dos fatores contribuintes (Treat *et al.*, 1979) que atuam como componentes do sistema de trânsito. Dentre os fatores que atuam como componentes de tráfego, podemos citar os principais: o homem, a via, o veículo, o ambiente e fatores socioeconômicos (Raia Jr. *et al*., 2006). O componente homem se estuda no posto de pedestre ou motorista; o elemento via refere-se àquelas destinadas para pedestres, como calçadas, ou para veículos, como faixas de rolamento, ciclovias, ciclofaixas ou faixas de ônibus; o elemento veículo pode ser motorizado (carros, caminhões, ônibus e motocicletas), ou não motorizado (bicicletas); finalmente, quanto ao elemento ambiente e fatores socioeconômicos, leva-se em consideração aqueles aspectos relacionados às características da região estudada.

Desta forma, em relação ao componente de tráfego homem, é importante destacar que, sendo pedestre ou ciclista, sua presença em um acidente converte-os nos usuários mais vulneráveis do tráfego (Welle *et al.*, 2015). Entretanto, casos como na Noruega, onde as crianças utilizam muito a bicicleta em seus trajetos de ida a escola, mostram que não é frequente o número de

mortes envolvendo crianças no país (Jensen, 2008), fenômeno conhecido como "*Safety in Numbers*" e que sugere que os comportamentos dos motoristas no trânsito são mais controlados à medida que as pessoas andam a pé ou utilizam a bicicleta (Jacobsen, 2003). Além disso, os jovens são os que mais podem apresentar comportamentos arriscados, resultando em acidentes com maior severidade ou fatalidade envolvido (Faria e Braga, 1999).

Ainda a respeito do componente homem, na visão desse como motorista, um estudo realizado nos Estados Unidos identificou a variável nível alcoólico como um dos fatores que está diretamente relacionado a maiores taxas de acidentes fatais (Zlatoper, 1991). Por outro lado, para Abdel-Aty (2003), a ocorrência de acidentes de trânsito com maior grau de severidade de lesões está associada ao perfil de condutor que tem idade mais avançada, que é do sexo masculino e que não estava usando cinto de segurança.

Em relação ao componente de tráfego veículo, os altos valores de volume e de velocidades de operação dos veículos desempenhados em vias de áreas comerciais estão vinculados ao aumento de acidentes e ferimentos devidos ao trânsito (Dumbaugh e Rae, 2009), sendo que, analisado isoladamente, o excesso de velocidade é o fator que apresenta maior efeito no número de acidentes e na severidade desses (Elvik *et al.*, 2004). A severidade do acidente também está relacionada ao grande número de motocicletas trafegando nas vias, devido ao fato de que as motocicletas são os veículos mais sensíveis entre os veículos motorizados (Vasconcellos, 2013). Por sua parte, o envolvimento de veículos pesados em acidentes com crianças, em países de baixa e média renda, está associado àqueles acidentes ocasionados por veículos de transporte público, normalmente precários (Peden, 2008).

Além do volume veicular, em relação ao componente de trafego via, é importante ressaltar a influência dos conflitos viários. Como forma de diminuir as ocorrências de acidentes em torno das escolas, Clifton e Kreamer-Filts (2007) sugerem que a presença de calçada é um fator favorável a segurança, uma vez que mesmo que a maioria dos alunos sejam levados à escola por veículos motorizados, ao descerem dos veículos todos tornam-se pedestres. Sendo assim, a separação dos pedestres e veículos nas entradas das escolas pode tornar o ambiente mais seguro para as crianças. Outra questão relevante sobre o assunto é a de que muitos pais tendem a relacionar os riscos de envolvimento das crianças em acidentes com a existência de descontinuidades de passeios e quantidade de travessias que precisam ser realizadas, fatores que estão intimamente relacionados com a severidade de acidentes (Ahlport *et al.*, 2006).

Em relação ao ambiente viário, também é necessário considerar a sinergia entre os elementos via e homem. A forma como as cidades são estruturadas e os costumes que nelas se encontram são fatores de grande influência na segurança viária: cidades mais seguras são aquelas que apresentam boas condições de ciclismo e caminhada, e para aqueles trajetos de curtas distâncias possuem menos carros nas vias (Welle *et al.*, 2015). A diminuição da velocidade média em torno das escolas é um fator que reduz significativamente a severidade dos acidentes envolvendo pedestres e ciclistas (Boarnet, 2005). Nesse sentido, o desenho urbano tem influência na acidentalidade, mais especificamente na severidade de acidentes, uma vez que as áreas mais conectadas têm sido associadas a uma menor velocidade e severidade de acidentes com pedestres (Zahabi *et al*., 2011). Por outro lado, as interseções com quatro ou mais vias que tornam as áreas mais conectadas, causam mais conflitos entre usuários, e têm sido associadas ao aumento da frequência não ponderada de atropelamentos (Ukkusuri *et al*., 2012; Dumbaugh e Rae, 2009; Elvik *et al.*, 2004).

Em uma análise da relação entre a estrutura urbana e a acidentalidade no Texas, EUA, foi constatado que as vias arteriais, por possuírem um alto desenvolvimento comercial, estavam associadas ao aumento da incidência de acidentes de tráfego, enquanto que regiões que possuíam alta densidade populacional, mas, com baixo desenvolvimento de comércio, foram

associadas a menos acidentes (Dumbaugh e Rae, 2009). Entretanto, em um estudo nacional, realizado na cidade de São Carlos – SP, foi identificado que as escolas localizadas próximas ao centro e em vias com hierarquia superior possuíam índices de insegurança reduzidos, ao passo que escolas que se localizavam nas periferias possuíam índice de insegurança maior (Raia Jr *et al.*, 2006). Isso pode ser explicado pelo fato de que no entorno das escolas situadas em regiões periféricas os veículos desenvolvem uma velocidade maior devido ao baixo volume de tráfego, ocasionando maior número de acidentes nesses locais.

Para Abdel-Aty (2007), algumas características, como maior número de faixas e o limite de velocidade elevado em torno das escolas, indicam uma maior probabilidade do envolvimento de jovens do ensino médio do que os do ensino fundamental em acidentes. Essa ocorrência pode estar relacionada ao fato de que a mobilidade independente está mais associada a crianças de mais idade, as quais, nessa situação, são expostas ao tráfego; enquanto que as crianças mais novas tendem a ser levadas à escola pelos pais, reduzindo assim o grau de exposição a riscos.

Em relação ao componente do tráfego ambiente, Vasconcellos (2013) constatou que a maioria dos acidentes de trânsito, envolvendo pedestres, ocorrem no período verificado como dias úteis, justificado com o fato de que a circulação de motocicletas é muito mais intensa neste período devido às atividades comerciais e de negócios. Nascimento e Goldner (2014) conseguiram identificar em um estudo em torno de escolas da Ilha de Santa Catarina (SC) que a maior parte dos acidentes envolvendo pedestres e ciclistas ocorreram em dias úteis e coincidiram com horários de entrada e saída das escolas.

A iluminação também é um fator muito importante, visto que a probabilidade da ocorrência de um acidente de trânsito em uma via urbana é maior à noite, devido à redução da visibilidade juntamente com a elevada velocidade à qual os veículos costumam trafegar nesses horários (Abdel-Aty, 2003). Outro fator, também associado às taxas de acidentes maiores ocorridas à noite, é dado pelo envolvimento de pedestres em acidentes com as saídas de pistas (Elvik *et al.*, 2004).

Em relação aos fatores socioeconômicos, estudos sugerem que países de baixa e média renda são os que possuem números mais elevados de mortes de crianças no trânsito, de forma que os países que apresentam taxas de lesões mais baixas são os que possuem políticas sobre acidentes viários bem definidas com base em abordagens fundamentadas em leis e princípios de segurança (Peden, 2008). Famílias de baixa renda normalmente não têm condições de possuir um carro e, portanto, os filhos tendem a ir a pé para a escola ou até a parada do transporte público, sendo que estas crianças caminham duas vezes mais para chegar à escola do que as crianças que possuem maior renda (Meron, 2006). Esse fato pode estar relacionado ao risco que essas crianças estão expostas ao serem usuários vulneráveis diante do tráfego veicular.

Por fim, a localização das escolas é outro fator que influencia na segurança: escolas situadas em áreas de grande densidade populacional têm sido associadas a atropelamentos mais severos (Clifton e Kreamer-Filts, 2007). No entanto, a generalização das evidências mais atuais sugere o contrário: ambientes urbanos mais compactos, de forma geral, estão relacionados inversamente à taxa de mortes no trânsito – entendida como a alta severidade (Ewing *et al.*, 2016).

3. METODOLOGIA

3.1 Cenário de estudo

O presente estudo foi aplicado na cidade de Cachoeira do Sul, na região do Vale do Jacuí, estado do Rio Grande do Sul. Foram selecionados alunos de ensino médio de três escolas da cidade, sendo que duas eram públicas da rede estadual e uma particular. A escola privada (denominada A) está localizada entre uma área central e um bairro da cidade, e das escolas públicas, uma se

localiza na região central (escola B), embora receba alunos procedentes de toda a cidade e das áreas rurais circunvizinhas, e a outra em uma região periférica da cidade (C). A escolha das escolas foi proposital, de forma a tornar possível a análise da diferente realidade dos jovens e da região onde se encontram. A amostra selecionada abrangeu alunos das três séries de ensino médio, entretanto ressalta-se que a escola denominada como A não possuía alunos da série segundo ano, devido a uma reforma escolar.

3.2 Obtenção de dados de percepção de segurança viária em torno das escolas

A percepção de segurança viária em torno das escolas foi analisada através da realização de uma pesquisa qualitativa com a aplicação de questionários aos alunos selecionados. A elaboração do questionário contou, inicialmente, com questões fechadas que caracterizam o tipo de aluno, identificando a escola na qual o jovem está inserido, bem como a sua idade a série. Elaborou-se questões que caracterizavam o tipo de transporte que o aluno utiliza para ir e voltar da escola, bem como por qual meio de transporte o aluno acredita se sentir mais ameaçado em seu trajeto. Finalmente, preparou-se questões baseadas nas variáveis que afetam os componentes do tráfego, para avaliar o entendimento dos alunos sobre a segurança viária no entorno de suas escolas, com questões que investigam a sua sensibilidade em relação às vias e seus componentes, aos veículos e seus tipos e ao ambiente em que elas se encontram.

As respostas possíveis foram baseadas na Escala *Likert* (Likert, 1932), que busca verificar o nível de conformidade do indivíduo, através de graus de concordância que variam entre favorável e desfavorável sobre o assunto (Pasquali, 1996). O presente estudo utilizou uma escala contendo cinco graus de concordância, buscando avaliar o grau de segurança ou de prejuízo à segurança, devido à influência das variáveis definidas.

3.3 Caracterização das áreas escolares

Foi realizada uma delimitação de uma área de entorno escolar definida por 400 metros lineares a partir do acesso principal da escola, sendo interseções as extremidades. Entretanto, devido às irregularidades do traçado, existem eventuais variações das dimensões das ruas.

Os entornos escolares foram caracterizados quanto: (i) a acidentalidade: análise de boletins de ocorrência (B.O.) de acidentes nas áreas de estudo, disponibilizados pela Brigada Militar da cidade; (ii) o desenho urbano e as medidas de engenharia de tráfego: parcela de interseções com quatro aproximações e de interseções com semáforos, respectivamente, ambas por análise em *software* geoespacial – Sistema de Informação geográfica (SIG); (iii) a infraestrutura para pedestre: análise de disponibilidade de travessia mensurada no quarteirão da escola (variável *dummy*, em que 1 indica que há disponibilidade de travessia) a partir da adoção de ferramentas geoespaciais; e (iv) análise geoespacial da renda domiciliar média a partir de bases do último Censo.

A compilação dos dados dos B.O. foi limitada àqueles acidentes ocorridos dentro da área pré-definida nos dias letivos e horários de entrada e saída de alunos das escolas. Nesta análise, foram compilados dados relacionados às diferentes variáveis identificadas na revisão bibliográfica. A aplicação da metodologia proposta para o estudo foi testada sobre os dados um ano completo (2016). Dessa forma, as inferências sobre a frequência de acidentes ficam limitadas pelo viés imposto pela flutuação inerente aos registros de acidentes do período analisado – que afeta, principalmente períodos menores que três anos (AASHTO, 2010).

A análise da frequência de acidentes foi realizada a partir dos pesos atribuídos para a severidade conforme a Unidade Padrão de Severidade (UPS) (CEFTRU, 2002), em que aos acidentes com exclusivamente danos materiais é atribuído peso 1, aos acidentes com vítimas feridas é atribuído

peso 4, aos acidentes com vítima fatal é atribuído peso 6, e aos acidentes com feridos envolvendo pedestres é atribuído peso 13.

3.3 A modelagem *fuzzy* e o Método Qui-Quadrado

O estudo da percepção de segurança viária dos jovens se encontra influenciado por diversos fatores em um ambiente caracterizado pelo quão vagas são as avaliações, de forma que um determinado entorno não pode ser descrito com precisão como nada seguro ou totalmente seguro. Esse fato tem influência na análise sobre o pensar dos tomadores de decisões ou avaliadores sobre o assunto tratado, de forma que se faz necessário medir o grau de incerteza das respostas (Ruiz-Padillo *et al*., 2016).

Com o objetivo de capturar essas informações vagas, a modelagem difusa *(fuzzy*) busca avaliar as respostas de forma gradativa, caracterizando um perfil de análise matemática de juízos mais humana, comparada à análise convencional de dados que atribui valores exatos de 1 ou 0 (dados *crisp*, em oposição a *fuzzy*), em função da pertinência ou não, respectivamente, a uma determinada categoria (Lin *et al.*, 2012; Chenci *et al.*, 2011). No presente trabalho, foram utilizados números *fuzzy* triangulares aplicados a uma escala *Likert* com os cinco graus de concordância definidos conforme a Figura 1 representados com números ímpares.



Figura 1: Representação dos números *fuzzy* aplicados à escala *Likert.*

O método Qui-Quadrado é usado para testar hipóteses entre dados observados e estimados (Callegari-Jacques, 2005). A análise estatística χ^2 utilizando a modelagem *fuzzy* se assemelha com a estatística Qui-Quadrado convencional, definida conforme a Equação 1 (Grzegorzewki e Jedrej, 2015).

$$T = \sum_{i=1}^{k} \frac{(\tilde{n}_i - \tilde{n}p_i)^2}{\tilde{n}p_i} \quad (1)$$

em que *T* é o valor de Qui-Quadrado calculado, sendo que, para amostras grandes o valor de *T* se aproxima a distribuição Qui-Quadrado com *k*-1 graus de liberdade. O somatório das diferenças das frequências esperadas $\tilde{n}p_i$ dos *i* números da amostra e observadas da amostra $\tilde{n}_i$ ao quadrado, dividido pelos dados esperados, vai definir se a hipótese assumida para a análise é aceita ou rejeitada. Os dados observados na amostra $\tilde{n}_i$ são definidas mediante o somatório das integrais da área dos conjuntos modelados conforme a equação 2 (Grzegorzewski e Jedrej, 2015).

$$\tilde{n}_i = \sum_{j=1}^{k} \frac{\int_{\xi i-1}^{\xi} \mu_{A_j}(x)\, dx}{\int_{\mathbb{R}} \mu_{A_j}(x) dx} \quad (2)$$

em que μ_{Aj} é a função de pertinência do dado difuso e ξ_i são os limites dos intervalos das respostas. Os valores dessas integrais são de fácil resolução quando utilizados números *fuzzy* triangulares, de modo que para cada resposta marcada no questionário, assume-se que a

percepção de risco do participante encontra-se em dentro do intervalo (ξ_{i-1}, ξ_i] da alternativa marcada (0,75) e um pouco nos intervalos adjacentes (0,125 para cada lado, ou 0,25 no caso dos extremos), conforme ilustra a Figura 1 para o exemplo da avaliação do número *fuzzy* $\tilde{3} = (1, 3, 5)$.

4. RESULTADOS

4.1 Variáveis que influenciam nos componentes do tráfego

Com base na revisão bibliográfica apresentada neste estudo, elaborou-se a Tabela 1 em que constam variáveis definidas como atuantes sobre os componentes de tráfego. A definição dessas variáveis serviu como base para a análise e coleta dos dados: mediante os boletins de ocorrência (B.O.) para análise de acidentalidade, para a elaboração do questionário aplicado aos alunos e para caracterização dos locais de estudo. As variáveis estão separadas entre os componentes de tráfego (homem, via, veículo, ambiente e fatores socioeconômicos) às quais as mesmas pertencem, bem como o seu tipo, a unidade de avaliação, fonte do dado, e as referências que serviram como base para a escolha da variável.

4.2 Caracterização do perfil dos alunos a partir da análise das respostas aos questionários

A partir da aplicação dos questionários foi possível analisar a percepção de 501 estudantes entre o primeiro e o terceiro ano do ensino médio de três diferentes escolas da cidade de Cachoeira do Sul. A análise do padrão de viagens declarado pelos alunos permitiu identificar que para a ida à escola o modo a pé é o mais utilizado, concentrando aproximadamente 47% dos entrevistados, seguido do transporte coletivo por ônibus, com 28,35%. Para a volta da escola o modo a pé concentra ainda mais usuários: 53,77% dos respondentes. A Tabela 3 descreve a parcela de utilização de cada modo por usuários das diferentes escolas e séries cursadas.

Entretanto, ao analisar esses dados por escola, tem-se que para a escola particular (*A*), o modo mais utilizado é o carro com valores médios de ida e volta das séries cursadas de 64,03%, e para a escola pública periférica (*C*) o mais utilizado é a pé com média para ida e volta de 83,4%. Percebe-se que alunos da escola *C* caminham mais que os alunos da escola *A*, resultado que pode ser entendido conforme o estudo de Merom (2006) onde foi obtido que crianças de baixa renda caminham mais que crianças de renda mais alta. Por outro lado, na escola pública central *B* o modal mais utilizado na ida é o ônibus com uma média de 44,81% e para a volta este valor diminui, sugerindo a chegada dos alunos rurais de transporte coletivo e sua volta por outros modos.

Com relação à série cursada, tem-se para a escola particular *A* uma redução significativa da utilização do carro na ida à escola para alunos do terceiro ano com 56,25% em relação aos alunos do primeiro ano (74,19%), variação que também se mantém para a volta, evidenciando, o aumento da mobilidade independente e, demonstrando que a influência dos pais na escolha do modal utilizado pelos alunos diminui gradativamente conforme a série cursada, semelhante ao que já foi reportado por estudos anteriores (McDonald *et al.*, 2013; Merom, 2006).

Ao analisar o veículo pelo qual alunos se sentem mais ameaçados nas entradas e saídas da escola, conforme a Tabela 4, verifica-se que em média é o carro, com 70,36% da população abrangida, valor que para a escola privada *A* é superior, com 78,57% de média. Esse dado pode ser analisado junto à bibliografia revisada: pelo fato dos pais levarem os alunos para a escola, o que gera um maior volume de tráfego no entorno desses locais, tornando-os mais suscetíveis a falhas (Elvik *et al.*, 2004; Orenstein *et al.*, 2007, Romero, 2011), tendência que acaba por provocar uma percepção do risco maior nos alunos dessa escola.

Tabela 1: Resumo das variáveis que atuam sobre os componentes do tráfego.

Comp. do tráfego	Tipo	Fatores estudados	Unidade	Fonte coleta	Referências
Homem	Pedestre	Presença de pedestre	Sim/Não	B.O.	Welle *et al.*, (2015), Ewing, (2003), Rothman *et al.* (2014), Jensen (2008)
		Faixa etária	-	B.O.	Jensen (2008), Abdel-Aty, (2007), Zlatoper (1991), Faria e Braga (1999)
		Sexo	Fem. / Masc.	B.O.	Peden (2008)
	Motorista	Equipamentos de proteção	Sim/Não	B.O.	Zlatoper (1991), Vasconcellos (2013), Abdel-Aty (2003)
		Alcoolismo	Sim/Não	B.O.	Abdel-Aty (2007), Zlatoper (1991)
		Faixa etária	-	B.O.	Zlatopler (1991), Abdel-Aty (2003), Abdel-Aty (2007), Vasconcellos (2013)
		Sexo	Fem. / Masc.	B.O.	Zlatoper (1991), Abdel- Aty (2007), Abdel-Aty (2003)
Via	Para pedestres	Calçada	Sim/Não	SIG/*in loco*	Elvik *et al.* (2004), Clifton e Kreamer-Filts (2007)
		Travessia	Sim/Não	SIG/*in loco*	Ahlport *et al.* (2006)
	Para veículos	Intersecção	Sim/Não	SIG	Elvik (2006), Boarnet (2005), Jensen (2008), Vasconcellos (2013)
		Semáforo	Sim/Não	SIG/*in loco*	Boarnet, (2005), Vasconcelos (2013)
		Volume elevado	Sim/Não	SIG/*in loco*	Romero (2011), Clifton e Kreamer-Filts (2007), Elvik *et al.* (2004), Abdel- Aty(2007)
Ambiente	-	Dia de semana	Sim/Não	B.O.	Dumbaugh e Era (2009), Vasconcellos (2013), Nascimento e Goldner (2014)
		Horário de pico	Sim/Não	B.O.	Nascimento e Goldner (2014), Clifton e Kreamer-Filts (2007)
		Iluminação	Dia/Noite	B.O.	Elvik *et al.* (2004), Abdel-Aty (2003)
		Chuva	Sim/Não	B.O.	Elvik *et al.* (2004)
		Área Comercial	Sim/Não	SIG/*in loco*.	Dumbaugh e Era (2009), Raia Jr *et al.* (2006), Clifton e Kreamer-Filts (2007)
Veículo	Motori-zado	Leves	Sim/Não	B.O.	Ewing (2003), Zlatoper (1991)
		Pesados	Sim/Não	B.O	Peden (2008)
		Motocicletas	Sim/Não	B.O	Vasconcellos (2013)
		Velocidade	Km/h	B.O.	Elvik *et al.* (2004), Zlatoper (1991), Boarnet (2005), Dumbaugh e Rae (2009), Abdel-Aty (2007)
	Não Motoriz.	Bicicleta	Sim/Não	B.O.	Jensen (2008), Welle *et al.* (2015)
Socioeco-nômicos	-	Densidade Populacional	Hab/m^2	IBGE	Clifton e Kreamer-Filts (2007), Ewing (2003), Dumbaugh e Era (2009), IBGE (2010)
		Renda	R$	IBGE	Vasconcellos (2013), Peden (2008), Merom (2006), IBGE (2010)

4.3 Caracterização do entorno escolar a partir da análise espacial e dos dados de acidentes

O cálculo da UPS a partir dos dados dos acidentes, conforme a região abrangida das três escolas do estudo, mostra os seguintes resultados: para a escola *A*, 34; para a *B*, 115; e para a escola *C*, apresenta 21. Para a escola pública central *B* há mais registros de acidentes, já que a região compreendida no entono escolar possui grande número de atividades comerciais e, portanto, apresenta um maior volume de veículos, e respectivamente, mais conflitos nesses locais, conforme relação já sugerida por estudo prévio (Dumbaugh e Rae, 2009). As características de

entorno das escolas são descritas pela Tabela 2, evidenciando as diferenças entre as áreas analisadas.

Tabela 2: Características das áreas escolares

Escola	Área abrangida	Intersecção 4 aproximações	Travessias (*dummy*)	Interseções c/semáforo	Passeio no quarteirão (%)	Renda média domiciliar (R$)
A	Centro/residencial	88%	1	0,0%	100	3588,56
B	Centro	43%	1	4,8%	100	2213,20
C	Periférica	45%	0	0,0%	0	1066,53

É possível observar que a escola *B* é a única que apresenta parcela de interseções com semáforos. Nesse sentido, embora essa medida tenha o objetivo de segregar os conflitos de tráfego entre os diferentes usuários, também atua como *proxy* do volume de tráfego.

Tabela 3: Modo de transporte utilizado na ida/volta, por série e por escola [%]

	Bicicleta		Pé		Carro		Motocicleta		Ônibus		Outros	
Série/Escola	Ida	Volta	Ida	Volta	Ida	Volta	Ida	Volta	Ida	Volta	Ida	Volta
1º ANO	0,60	13,45	44,91	52,05	22,16	18,71	3,59	2,92	28,74	11,70	0,00	1,16
A	0,00	0,00	16,13	19,35	74,19	74,19	3,23	0,00	6,45	6,45	0,00	0,00
B	1,06	23,96	34,04	43,75	13,83	9,38	3,19	3,13	47,87	17,71	0,00	2,08
C	0,00	0,00	90,48	93,18	2,38	0,00	4,76	4,55	2,38	2,27	0,00	0,00
2º ANO	1,00	0,97	50,00	54,37	14,00	13,59	1,00	2,91	32,00	26,21	2,00	1,94
B	1,33	1,35	41,33	47,30	14,67	13,51	0,00	1,35	41,33	35,14	1,33	1,35
C	0,00	0,00	76,00	72,41	12,00	13,79	4,00	6,90	4,00	3,45	4,00	3,45
3º ANO	0,88	0,81	47,37	55,65	26,32	22,58	0,88	2,42	24,56	18,55	0,00	0,00
A	0,00	0,00	21,88	27,27	56,25	51,52	0,00	0,00	21,88	21,21	0,00	0,00
B	0,00	0,00	30,95	46,51	21,43	18,60	2,38	6,98	45,24	27,91	0,00	0,00
C	2,50	2,08	85,00	83,33	7,50	6,25	0,00	0,00	5,00	8,33	0,00	0,00
TOTAL	0,79	6,28	46,98	53,77	21,26	18,59	2,10	2,76	28,35	17,59	0,52	1,00

Tabela 4: Veículo pelo qual os alunos se sentem mais ameaçados, por escola [%]

Escola	Bicicleta	Carro	Motocicleta	Ônibus	Outro
A	5,10	78,57	12,24	4,08	0,00
B	1,20	69,20	13,60	12,40	3,60
C	1,65	66,12	15,70	10,74	5,79
TOTAL	2,13	70,36	13,86	10,23	3,41

Com relação à natureza da ocorrência, todos os acidentes analisados tiveram danos materiais aos veículos envolvidos, de forma que foi discriminado se tiveram lesões corporais ou não. Os resultados, mostrados na Tabela 5, demonstram que 60,3% dos acidentes foram sem lesões corporais. Entretanto, ao analisar separadamente, têm-se que para a escola *C* os acidentes com lesões corporais são superiores à média geral, chegando a 80%. Esse fato pode ser justificado conforme o estudo realizado por Raia Jr *et al.* (2006) em que o autor identificou que em torno de escolas localizadas em regiões periféricas o índice de insegurança é maior, dadas as maiores velocidades propiciadas pelo baixo volume de tráfego, contribuindo com o aumento da severidade dos acidentes.

Tabela 5: Acidentes por natureza da ocorrência [%]

Escola	Sem lesões corporais	Com lesões corporais
A	73,7	26,3
B	59,2	40,8
C	20,0	80,0
TOTAL	60,3	39,7

4.3 Análise da percepção dos alunos sobre segurança viária em torno das escolas

Para a aplicação do método Qui-Quadrado *fuzzy*, utilizou-se para a hipótese nula H_{0i} a seguinte questão: "Não existe a diferença entre o risco percebido devido [parâmetro] entre alunos da mesma [classe]". Foram utilizadas seis classes segundo o perfil dos alunos: escola, série, gênero, faixa etária, turno em que estuda e envolvimento prévio em acidentes; e doze

parâmetros para teste, segundo as principais variáveis encontradas na literatura: risco percebido, trânsito, presença de chuva, velocidade de operação dos veículos, travessias fora da faixa de pedestre, travessias dentro da faixa de pedestres, presença de semáforos, existência de calçadas, cruzamentos, motoristas jovens, motoristas idosos, motoristas alcoolizados e uso de equipamentos de segurança. Assim, foram realizados um total de 72 testes (ao nível de significância de 0,05), dentre os quais foi possível negar H_{0i} para 6, ou seja, o valor de Qui-Quadrado com números *fuzzy* foi superior ao valor crítico tabelado. A Tabela 6 mostra as hipóteses rejeitadas, numeradas de 1 a 6 por simplificação.

Tabela 6: Resumo dos testes de Qui-Quadrado com números *fuzzy*.

Hipótese	Classe	Parâmetro	X^2calc	$X^2$0.05, gdl
H_{01}	Gênero	Semáforo	16,36	9,49
H_{02}	Gênero	Calçadas	13,42	9,49
H_{03}	Escola	Calçadas	47,24	15,51
H_{04}	Série	Chuva	27,78	15,51
H_{05}	Turno	Chuva	24,84	15,51
H_{06}	Turno	Faixa de pedestres	20,78	15,51

Analisando os valores observados e esperados das hipóteses rejeitadas, é possível concluir que:

- H_{01}: meninas se sentem mais inseguras em relação a semáforos do que meninos;
- H_{02}: meninas se sentem mais inseguras em relação a calçadas do que meninos;
- H_{03}: alunos de diferentes escolas percebem o risco devido a calçadas de maneira diferente, sendo que alunos da escola *B* se sentem mais inseguros do que os alunos das escolas *A* e *C*;
- H_{04}: alunos de diferentes séries percebem o risco devido à chuva de maneira diferente, sendo que alunos da 3ª série percebem mais o risco do que alunos da 1ª e 2ª série;
- H_{05}: alunos de diferentes turnos percebem o risco devido à chuva de maneira diferente, sendo que alunos da manhã se sentem mais inseguros do que os alunos de outros turnos, enquanto que alunos da tarde se sentem mais seguros que os demais alunos;
- H_{06}: alunos de diferentes turnos percebem o risco devido à travessia na faixa de pedestre de maneira diferente, sendo que alunos da manhã se sentem mais seguros do que os alunos de outros turnos, e os alunos da tarde se sentem mais inseguros que os demais.

Para a aplicação da hipótese H_{03} partiu-se do pressuposto da questão aplicada aos alunos de uma possível situação em que não haveria calçadas nos trajetos buscando entender qual seria o nível de segurança afetado nos deslocamentos dos jovens. A maior insegurança percebida pelos alunos da escola pública central (*B*) permite inferir a relação entre a percepção dos alunos e dos componentes de tráfego via, à medida que a atividade comercial e densidade de uso dessa área contribui com o aumento do volume veicular, aumentando a frequência de acidentes (Hernández-Hernández e Haro-de León, 2014).

A hipótese rejeitada H_{06} pode estar relacionada às diferenças de movimentação dos locais conforme as horas de pico, já que é possível afirmar que a maior insegurança percebida pelos alunos que estudam nos turnos da tarde e da noite pode estar relacionada com a circunstância de o pico de tráfego da tarde for comumente maior que o pico da manhã ou do meio-dia.

Em geral, todas as hipóteses rejeitadas, levando em conta os fatores analisados, fornecem dados objetivos para as autoridades públicas responsáveis pelo trânsito e a infraestrutura. Portanto, são subsídios na hora de adotar soluções relacionadas com a segurança viária no entorno das escolas, mediante potenciais medidas de engenharia de tráfego ou de educação no trânsito dirigidas aos alunos de ensino médio.

5. CONCLUSÕES

A análise estatística das percepções dos alunos sobre a segurança viária nos entornos das escolas a partir de uma modelagem *fuzzy*, relacionada com as características do entorno escolar e ocorrências de acidentes na região, permitiu constatar que a percepção varia conforme o tipo de escola, a série cursada, os turnos em que ocorrem as aulas e também conforme o gênero dos alunos. Dessa forma, os alunos das escolas situadas na área central da cidade se sentem mais inseguros com relação à componente via (infraestrutura destinada ao tráfego) do que aqueles alunos de escolas situadas em locais menos movimentados; em geral, o carro é dito como o veículo mais ameaçador para alunos; e para a escola situada em região periférica, menos movimentada e que possui menor renda média domiciliar, os alunos em sua maioria vão a pé à escola.

Nesse sentido, tornar os entornos escolares mais caminháveis, pela ampliação das áreas de passeio e priorização dos usuários ativos diante do tráfego motorizado, assim como a diminuição da sua velocidade, especialmente em áreas que atraem maior tráfego veicular, pode melhorar a percepção de segurança por parte dos alunos. A melhoria da percepção de segurança, por sua vez, pode contribuir com o incentivo da mobilidade ativa e independente, capaz de proporcionar um ciclo virtuoso de redução da exposição ao risco aos usuários e melhoria da segurança viária.

Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se a utilização de outros métodos estatísticos utilizando a modelagem *fuzzy*, uma vez que método Qui-Quadrado não é valido para valores discrepantes dado pelos poucos resultados nos extremos amostrais, o que pode ter contribuído com não negar algumas hipóteses testadas. Estudos como esses podem, ainda, se beneficiar de dados detalhados de acidentes provenientes de B.O., particularmente se disponíveis em períodos maiores. Sugere-se, ainda, a análise conjunta da segurança viária observada e percebida: a modelagem da frequência e severidade de acidentes, conjuntamente com a análise da percepção por parte dos usuários partir das características dos entornos escolares.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração do professor Alessandro Onofre Rigão, do técnico administrativo Júlio César Modesto da Silva, da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS), da Brigada Militar de Cachoeira do Sul, e das escolas E.E.E.B. Borges de Medeiros, E.E.E.M. Virgilíno Jayme Zinn e Colégio Marista Roque. A Letícia Oestreich agradece à Bolsa FIPE Júnior e o Jean Augusto Lemes agradece à bolsa PIVEX, ambas da UFSM-CS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2010) *Highway Safety Manual*. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1 ed., Washington, DC.

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

Abdel-Aty, M. (2007) Geo-spatial and log-linear analysis of pedestrian and bicyclist crashes involving schoolaged children. *Journal of Safety Research*. v. 38, p. 571–579.

Ahlport, K. N.; L. Linna; A. Vaughn; K. R. Evenson e D. S. Ward (2006) 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.

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

ANTP; CEDATT; e IE (2011) *Década de Ação pela Segurança no Transito – 2011-2020. Resolução ONU Nº 2, de 2009. Proposta para o Brasil para redução de acidentes e segurança viária*, São Paulo.

Boarnet, M. G. (2005) Evaluation of the Califórnia 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.

Callegari-Jacques, S. M. (2005) *Bioestatística princípios e aplicações*. Editora: Artmed, 2° reimpressão, Programa de Pós Graduação em Genética da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

CEFTRU (2002) *Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito*. Ministério dos Transportes - Programa PARE. Brasília/DF.

Chenci, G. P.; D. G. Rignel e C. A. Lucas (2011) Uma introdução a lógica Fuzzy. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica*. v.1, n.1.

Clifton, K. J.; e Kreamer-Filts, K. (2007) 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.
De Campos, C. I.; Feltrin, T. F.; Da Silva, N. G.; e Raia, A. A., (2013) O panorama do Brasil anterior à Década de Ação pela Segurança Viária 2011-2020. In: *Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito*, vol. 19, p. 1-8. Brasília.
DETRAN (2016) *Apresentação de dados estatísticos: acidentes com vítimas fatias ano de 2016*. Disponível em < http://www.detran.rs.gov.br/conteudo/39078/diagnostico-de-2016> Acesso em Jun de 2017.
Dumbaugh, E.; e Rae, R. (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.; A. Hoye e T. Vaa, (2004) *The handbook of road safety measures*. Oxford: Elsevier.
Elvik, R. (2006) Laws of accident causation. Accident Analysis and Prevention, v. 38, n. 4, p. 742-747.
Ewing, R. (2003) 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.
Ewing, R.; S. Hamidi e J. B. Grace (2016) Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle crashes motor vehicle crashes. *Urban Studies*, 53(2), 247–266.
Faria, E. D. O. e M. G. D. C. Braga (1999) Propostas para minimizar os riscos de acidentes de trânsito envolvendo crianças e adolescentes. *Ciência e Saúde Coletiva*. v. 4, n. 1, p. 95–107.
Grzegorzewski, P.; e Jedrej, A. (2015) *Chi-square goodness-of-fit test for vague data*. Faculty of Math. and Inform. Sci, Warsaw Insititute of Technology Plac Politechniki, Warsaw, Poland.
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.
IBGE (2010) *Rio Grande do Sul: Cachoeira do Sul. 2010*. 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.
Jacobsen, P.L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury Prevention*. v. 9, p. 205-209.
Jensen, S. U. (2008) How to obtain a healthy journey to school. *Transportation Research Part A: policy and practice*. v. 42, n. 3, p. 475–486.
Likert, R. (1932) A technique for the measurement of attitudes. *Arquives of Psychology* 140, pp. 1-55. Michiga.
Lin, P.; B. Wu e J. Watada (2011) Goodness-of-fit test for membership functions with Fuzzy data. . *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, v. 8, n. 10, p. 7437-7450.
McDonald, N. C.; Y. Yang; S. M. Abbott; e A. N. Bullock (2013) Impact of the safe routes to school program on walking and biking: Eugene, Oregon Study. *Transport Policy*, v. 29, p. 243–248.
Merom, D. (2006) Active commuting to school among NSW primary school children: implications for public health. *Health and Place*. v. 12, p. 678–687.
Nascimento, A. M. e L. G. Goldner (2014) Análise da segurança viária em áreas escolares na ilha de Santa Catarina. In: XVIII *Congresso de Pesquisa de Ensino em Transportes*. ANPET, Curitiba.
Orenstein, M. R.; N. Gutierrez; T. M. Rice; J. F. Cooper e D. R. Ragland (2007) Safe Routes to School Safety and Mobility Analysis. California: California Departament of Transportation.
Pasquali, L. (1996) *Teoria e métodos de medida em ciências do comportamento*. Brasília: Laboratório de Pesquisa em Avaliação e Medida, Instituto de Psicologia da UnB: INEP. 432p.
Peden, M. (2008) *World report on child injury prevention*. WHO Press, Geneva.
Raia JR., A. A.; T. M. Guerreiro e C. M. L. A Barbato (2006) Proposta metodológica para subsidiar o planejamento de segurança de trânsito em áreas escolares. *Anais do II Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, PLURIS.* Braga, Portugal.
Rothman, L. M.; C. Macarthur; T. To; R. Buliung e A. Howard (2014) Motor vehicle-pedestrian collisions and walking to school: the role of the built environment. *Pediatrics*. v. 133, n. 5, p. 776–784.
Romero, V. (2011) Four dimensions of neighbourhood form related to children's walks to school. In: *State of Australian Cities National Conference*. v. 8, n. 2005.
Ruiz-Padillo, A.; A. J. Torija; A. Ramos-Ridao e D. P. Ruiz (2016) Application of the fuzzy analytic hierarchy process in multi-criteria decision in noise action plans: Prioritizing road stretches. *Environmental* Modelling & Software, v. 81, p. 45-55.
Treat. J.; N. S. Tumbas; S. T. McDonald; D. Shinar; R. D. Hume; R. E. Mayer; R. L. Stansifer e N. J. Castellan (1979) Tri-level study of the causes of traffic accidents. Executive summary. *Vision Research.* v. 42, n. 21, p. 2419–2430.
Ukkusuri, S.; L. F. Miranda-Moreno; G. Ramadurai e J. Isa-Tavarez (2012) The role of built environment on pedestrian crash frequency. *Safety Science.* v. 50, n. 4, p. 1141–1151.
United Nations (2016) *The Sustainable Development Goals Report*. New York.
Vasconcellos, E. A. (2013) Risco no trânsito, omissão e calamidade: impactos do incentivo à motocicleta no Brasil. 1a edição. Instituto Movimento. São Paulo.

Welle, B.; Q. Liu; W. Li; C. Adriazola-Steil; R. King; C. Sarmiento e M. Obelheiro (2015) *Cities safer by design: guidance and examples to promote traffic safety through urban and street design*. World Resources Institute. Washington, D.C, USA.

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

Zahabi, S.; J. Strauss; K. Manaugh e L. F. 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, 81-90.

Zlatoper, T. J.; (1991) Determinants of motor vehicle deaths in the United States: Across-sectional analysis, *Accident Analysis and Prevention* v. 23, p. 431-436.

Letícia Oestreich (leticia.oestreich@hotmail.com)
Jean Augusto Lemes (jean.l.augusto@hotmail.com)
Richard Ortiz Menna (richardomenna@gmail.com)
Tânia Batistela Torres (tania.torres@ufsm.br)
Alejandro Ruiz-Padillo (alejandro.ruiz-padillo@ufsm.br)
Laboratório de Mobilidade e Logística, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Cachoeira do Sul
Rua Ernesto Barros, 1345 – Cachoeira do Sul, RS, Brasil

O IMPACTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NOS ACIDENTES EM MEIO URBANO

Sara Ferreira
António Lobo
António Couto
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Isabel Iglesias
Universidade do Porto
Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental

RESUMO
O objetivo do presente estudo é avaliar o impacto das condições meteorológicas nos acidentes ocorridos em meio urbano tendo como caso de estudo a cidade do Porto, Portugal. Considerou-se dois modelos para analisar separadamente os acidentes com vítimas dos acidentes só com danos materiais, com base na regressão de Poisson e binomial negativa, respetivamente. Variáveis como a precipitação diária e a temperatura foram incluídas bem como variáveis para analisar o efeito desfasado da precipitação. De forma a considerar a heterogeneidade do meio urbano variáveis binárias foram incluídas para representar o tipo de via. Os resultados demonstram que o aumento da precipitação diária contribui para o aumento do número de acidentes de todo o tipo e o aumento da temperatura está associado à diminuição de acidentes só com danos materiais. Por outro lado, foi possível concluir que de facto existe um efeito desfasado da precipitação nos acidentes.

ABSTRACT
The aim of the present study is to assess the impact of the meteorological conditions on traffic accidents in urban areas, using the data set of Porto city, Portugal. Two separated models were developed to analyze accidents with victims and accidents with property damage only using a Poisson and negative binomial regressions, respectively. Independent variables such as precipitation and temperature were included as well lagged-effect variables. Additionally, variables describing the type of roads were added to represent the diversity inherent to urban environment. The models' results show that increasing daily precipitation, traffic accidents of all types increase too and temperature decreases the risk of occurring accidents with property damage only. On the other hand, the results lead to the conclusion that a lagged-effect of precipitation is associated to all kind of accidents.

1. INTRODUÇÃO

Vários estudos sobre a sinistralidade viária têm sido realizados nas últimas décadas com o objetivo de conhecer fatores de risco que podem potenciar os acidentes. Esses estudos resultaram num conjunto de medidas técnicas e políticas que contribuíram para a diminuição dos acidentes em vários países do Mundo como é o caso de Portugal. Contudo, em Portugal, como em vários outros países, o impacto das condições meteorológicas não foi analisado até à data. Estudos realizados em outros países mostram que as condições meteorológicas, nomeadamente a precipitação e temperatura, afetam de forma distinta os acidentes viários (Theofilatos e Yannis, 2014). De facto, a precipitação pode afetar o risco de acidentes quer através do impacto na exposição ao risco quer através da degradação das condições existentes que aumentam o risco de acidente. No primeiro caso, uma elevada quantidade de precipitação tende a alterar a escolha modal dos utilizadores viários que passam a preferir o veículo-motor como modo de transporte em detrimento do trajeto a pé. Aultman-Hall *et al.* (2009) estudaram o impacto da precipitação no volume de peões no centro da cidade de Montpelier, Vermont nos EUA, verificando uma redução da média do volume horário de cerca de 13%. A precipitação poderá ainda afetar o volume de tráfego de veículos na medida em que as viagens podem ser reduzidas nos dias de chuva tal como foi demonstrado por Keay e Simmonds

(2005) num estudo realizado na Austrália.

No caso da degradação das condições existentes, a visibilidade e a aderência do pavimento têm sido os fatores mais referidos como afetando o risco de acidente durante a precipitação (Theofilatos e Yannis, 2014). Por outro lado, o comportamento dos utilizadores viários é afetado no sentido de se ajustar às condições existentes e geralmente compensando o aumento do risco de acidente devido à deterioração das condições. Como tal, verifica-se sobretudo uma diminuição da velocidade de circulação (Bergel-Hayat *et al.*, 2013). Embora a maior parte dos estudos mostram que um aumento da precipitação induz um aumento do número de acidentes, alguns estudos apontam na direção contrária. É o caso do estudo de Karlaftis e Yannis (2010) realizado com dados de Atenas, Grécia em que se verificou que elevada precipitação reduz o número de acidentes. Os autores justificam este resultado contraditório pelo facto de na região de Atenas ser relativamente rara a precipitação quando comparada com outras regiões previamente analisadas, e como tal os condutores menos habituados a estas condições meteorológicas podem assumir um comportamento mais cauteloso (e.g. redução de velocidade) durante os dias de chuva para compensar a perceção aumentada do risco.

Eisenberg (2004), no seu estudo que analisa o efeito da precipitação nos acidentes, introduziu variáveis que descrevem o efeito desfasado da precipitação, demonstrando que a quantidade de precipitação acumulada num determinado período de tempo anterior ao dia em análise pode também influenciar o risco de acidente. De facto neste estudo, o autor verificou que o risco aumenta rapidamente em consequência do aumento do número de dias em relação à última precipitação. Por exemplo, este estudo mostra que 1 cm de precipitação aumenta a taxa de acidentes fatais em cerca de 3% se passaram 2 dias sem chover e cerca de 9% se passaram mais do que 20 dias sem chover. Este padrão verificou-se também nos acidentes não fatais. Contudo, um estudo posterior realizado por Brijs *et al.* (2008) não confirmou a existência do efeito desfasado da precipitação devido à não significância da variável, tendo no entanto concluído que a intensidade da precipitação (precipitação total acumulada a dividir pela duração) é significativa e com efeito positivo, isto é o aumento da intensidade gera um aumento do número de acidentes.

É ainda expectável que a precipitação e outras variáveis meteorológicas induzam um efeito distinto, pelo menos em magnitude, nos acidentes com vítimas relativamente aos acidentes só com danos materiais. Se por um lado as condições de circulação deterioram-se durante os períodos de chuva (visibilidade e aderência) potenciando a ocorrência dos acidentes, por outro lado, o comportamento mais cuidadoso dos condutores através da diminuição da velocidade pode determinar a menor gravidade do acidente. Curiosamente, o estudo de Caliendo *et al.* (2007) concluiu o contrário, isto é, a circulação em pavimento molhado aumenta o número de acidentes graves em relação aos acidentes só com danos materiais. Nos modelos de regressão binomial negativa com dados agregados quer ao mês quer ao dia, Eisenberg (2004) observou que o aumento da precipitação diminui os acidentes fatais, mas aumenta os acidentes com vítimas não fatais e os acidentes só com danos materiais. Contudo, ao introduzir variáveis de análise do efeito desfasado, os mesmos modelos aplicados aos dados agregados ao dia para acidentes fatais, mostram que o efeito da precipitação altera-se na medida em que o valor estimado passa a ter sinal positivo. É o caso por exemplo do modelo que inclui para além da precipitação do dia, a precipitação do dia anterior. A análise dos resultados tendo em conta a introdução do efeito desfasado indica que 1 cm de precipitação do dia anterior está associado a um decréscimo de cerca de 3% dos acidentes fatais e que 1 cm de precipitação no mesmo

dia do acidente está associado a um aumento do risco de acidente fatal de aproximadamente 2%. Este efeito decrescente da variável do efeito desfasado é justificado pelo autor pela limpeza dos óleos e combustível presentes no pavimento propiciada pela chuva do dia anterior bem como pelo comportamento mais cuidadoso do condutor resultante da experiência de chuva do dia anterior. O mesmo autor entendeu alargar o estudo do efeito desfasado a um período de tempo anterior ao dia do acidente através da introdução de várias variáveis binárias que resultam da interação entre a precipitação do dia e o número de dias sem chover anterior ao dia do acidente. Este último é decomposto em vários intervalos desde 1 dia sem chover a mais do que 20 dias sem chover. Neste caso o autor concluiu que aumentando o intervalo do número de dias sem chover o risco de ocorrer um acidente fatal devido à precipitação aumenta.

Embora a precipitação tem sido claramente a variável mais utilizada nos estudos acima referidos, existem, no entanto outras variáveis relacionadas com as condições meteorológicas que têm sido incluídas. É o caso da temperatura, da duração da luz solar, da humidade, do nevoeiro e do vento. O impacto da falta de visibilidade devido ao nevoeiro foi analisado por Abdel-Aty *et al.* (2011), concluindo que aumenta a gravidade das vítimas sendo que os acidentes frontais e de colisão traseira são os mais frequentes. Hermans *et al.* (2006) investigaram a influência de vários fatores tais como temperatura, vento, radiação solar e humidade relativa no número de acidentes com dados agregados à hora. Os autores concluíram que as rajadas de vento e a precipitação são as variáveis com maior impacto no aumento do número de acidentes, embora a radiação e o número de horas de luz solar apontam para o mesmo tipo de efeito. Pelo contrário, o efeito da humidade relativa e da temperatura não é tão claro. No caso da temperatura, os resultados encontrados em diferentes estudos são contraditórios. Por um lado Karlaftis e Yannis (2010) e Antoniou *et al.* (2013), cujos estudos são relativos à cidade de Atenas, verificaram que o aumento de temperatura aumenta os acidentes. Este efeito é justificado pelo eventual aumento do volume de tráfego durante as estações do ano mais quentes. Na mesma linha, Bergel-Hayat *et al.* (2013) referem que 1ºC adicional na temperatura média do mês aumenta o número de acidentes com vítimas em cerca de 1-2%. Pelo contrário, Brijs *et al.* (2008) analisaram um efeito não linear através da utilização de variáveis binárias para determinados intervalos de temperatura, e verificaram que baixas temperaturas (inferior a 20ºC ou mais utlizada como categoria de referência) tende a aumentar o número de acidentes. Acresce ainda a conclusão que um desvio em relação à temperatura média mensal, isto é, quando a temperatura diária excede a temperatura média do mês, aumenta o número de acidentes.

Como se pode depreender da descrição dos vários estudos realizados sobre o impacto das condições meteorológicas nos acidentes, efeitos contraditórios têm vindo a ser relatados. Acresce ainda o facto de se ter observado, mesmo que apenas num estudo, que esses efeitos não podem ser analisados isoladamente no tempo devido ao designado efeito desfasado. Por estes factos, bem como a natural variação geográfica das características meteorológicas e comportamentais do condutor (cultura e educação) que levam à observação de distintos efeitos, justifica-se a realização de novos estudos no mesmo âmbito.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo principal o estudo do impacto das condições meteorológicas na ocorrência de acidentes na cidade do Porto, Portugal. Vários objetivos são propostos na sequência do objetivo principal como sejam: 1) analisar e comparar o efeito das condições meteorológicas distinguindo-se os acidentes com vítimas dos

acidentes só com danos materiais; 2) analisar o impacto de diferentes variáveis tais como precipitação, temperatura e luz solar; 3) analisar o efeito desfasado, isto é, o efeito do período temporal anterior ao do acidente; 4) comparar sempre que possível com os resultados de estudos anteriores. De notar que o estudo apresentado centra-se exclusivamente no meio urbano.

Para tal considerou-se o desenvolvimento de dois modelos de regressão linear generalizada para as duas variáveis dependentes – acidentes com vítimas e acidentes só com danos materiais, e para os dados agregados ao dia. Definiram-se várias variáveis para analisar o efeito desfasado tais como número de dias sem chover, precipitação da semana anterior e precipitação do mês anterior. Tendo em conta que o presente estudo foca-se no meio urbano, considerou-se ainda a distinção do tipo de via onde ocorre os acidentes.

Apresenta-se na secção a seguir a descrição dos dados utilizados para realizar o estudo com base na metodologia descrita na secção 3. A secção 4 mostra os resultados dos dois modelos aplicados sendo a discussão dos mesmos apresentada na secção 5. Finalmente, apresenta-se as conclusões finais com indicação das limitações do estudo bem como a identificação de futuros desenvolvimentos.

2. DESCRIÇÃO DOS DADOS

Os dados utilizados para este estudo repostam os acidentes e as condições meteorológicas da cidade do Porto, Portugal durante cinco anos entre 2001 a 2005, exceto os dois últimos meses de 2005. Os dados foram tratados de forma a se obter o registo diário quer dos acidentes quer das variáveis meteorológicas. Descreve-se a seguir separadamente os referidos dados e apresenta-se na Tabela 1 a descrição estatística das variáveis utilizadas de acordo com os valores diários registados.

2.1. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados foram registados por duas estações meteorológicas localizadas na cidade do Porto e pertencentes ao Instituto de Geofísica da Universidade do Porto (dados de precipitação) e ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA, dados de temperatura). Os dados correspondentes à duração da luz solar (minutos) foram extraídos dos dados procedentes do Observatório Astronómico de Lisboa (OAL) para a cidade do Porto. Os dados de precipitação e temperatura foram convertidos em valores médios diários e a duração da luz solar foi considerada como valor total diário. É de esperar a existência de alguma correlação negativa entre a precipitação e a temperatura e a luz solar pois em Portugal, é comum um maior registo de precipitação no Outono e no Inverno quando as temperaturas e a luz solar são menores. No entanto, a matriz de correlações mostra coeficientes de correlação baixos de -0,08 e de -0,18 entre a precipitação diária e a temperatura e entre a precipitação e a luz solar, respetivamente. Pelo contrário, o coeficiente de correlação entre a temperatura e duração da luz solar é de cerca de 0,7.

Com o objetivo de analisar o efeito desfasado da precipitação, criou-se duas novas variáveis. A partir do total da precipitação mensal e semanal ocorridas anteriormente a cada dia, definiu-se as variáveis precipitação mensal e precipitação semanal, respetivamente, e calcularam-se como a precipitação acumulada no período em consideração.

2.2. Dados de acidentes

Os acidentes ocorridos na cidade do Porto foram registados pela Polícia de Segurança Pública (PSP) e enviados para a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. Estes acidentes correspondem aos acidentes com vítimas e aos acidentes só com danos materiais. Nestes últimos é de esperar que haja um número muito elevado de acidentes que não foram registados, não sendo por isso possível de aferir a partir destes a real frequência dos acidentes. É também conhecida a possível existência de acidentes com vítimas que não são registados pela PSP pois o número de vítimas registadas nos hospitais é geralmente maior do que o número de vítimas registadas pela PSP tal como demonstrado por vários estudos dedicados à investigação do não-registo dos acidentes (Couto *et al.*, 2016; Watson *et al.*, 2015). Note-se no entanto que o objetivo do presente estudo é avaliar o efeito das condições meteorológicas e não realizar previsões do número de acidentes. Para o estudo utilizou-se o registo de 23.155 acidentes com danos materiais e 4.695 acidentes com vítimas. Estes acidentes podem ser de qualquer tipo sendo geralmente registados como despiste, colisão e atropelamento. Com base na geo-referenciação dos mesmos foi possível conhecer o tipo de via onde ocorreram distinguindo-se entre vias coletora, distribuidora principal, distribuidora secundária e de acesso local. Esta classificação hierárquica viária foi já considerada em estudos anteriores e tem por base a classificação considerada pelo Município do Porto (Ferreira e Couto, 2012).

Assim, verificou-se que nas vias coletoras ocorreram 12% dos acidentes com vítimas e 16% dos acidentes com danos materiais. Nas vias distribuidora principal registam-se 25% e 32% de acidentes com vítimas e só com danos materiais respetivamente. Nas vias distribuidora local verificaram-se 40% e 20% de acidentes com vítimas e só com danos materiais, respetivamente. Finalmente, nas vias de acesso local 23% são acidentes com vítimas e 32% são acidentes com danos materiais. De forma a diferenciar o risco de acidentes nas diferentes vias urbanas, foram criadas variáveis binárias.

Por último, e com o objetivo de incluir a variação anual geralmente observada nos acidentes rodoviários com uma tendência decrescente resultante de investimentos e políticas de melhoria da segurança rodoviária, incluiu-se a variável designada de tendência temporal. Esta variável categórica terá um valor de 1 a 5 a representar o ano de ocorrência do acidente. Considera-se ainda que a variável tem uma forma funcional geométrica simples de acordo com estudos prévios (Ferreira e Couto, 2012).

Tabela 1: Descrição estatística dos valores diários

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Nº acidentes com vítimas	0,7	0,9	0	6
Nº acidentes só com danos materiais	3,3	2,4	0	25
Temperatura (ºC)	14,9	4,4	3,6	30,4
Duração da luz solar (minutos)	738	121	553	908
Precipitação diária acumulada (mm)	3,4	8,5	0	80,9
Precipitação semanal acumulada (mm)	23,4	34,7	0	279,0
Precipitação mensal acumulada (mm)	97,5	98,3	0	567,2

3. METODOLOGIA

A análise do impacto das condições meteorológicas nos acidentes rodoviários tem por base o número de acidentes registados por dia, separando-se os acidentes com vítimas dos acidentes só com danos materiais. Para modelar a frequência de acidentes é habitual considerar-se a regressão binomial negativa (BN) pois geralmente verifica-se a existência de sobredispersão nos dados de acidentes. Como tal, realizou-se testes de sobredispersão de acordo com Cameron e Trivedi (1990) para verificar a hipótese da média ser igual à variância (hipótese nula). Os resultados dos testes mostram que no caso dos acidentes com vítimas a hipótese nula não é rejeitada (valor inferior a 3,84 - valor crítico para 1 grau de liberdade) ao contrário dos acidentes só com danos materiais em que esta hipótese é rejeitada verificando-se a condição de sobredispersão. Neste último caso, a distribuição binomial negativa (BN) é utilizada para modelar esta variável dependente. Na verdade a regressão BN pode ser descrita como um caso particular da regressão de Poisson da seguinte forma:

$$A_i \sim Poisson(\mu_i), em\ que\ \mu_i = e^{\beta X_i + \ln(\gamma) TT_i} \quad (1)$$

E caso se rejeite a hipótese da variância igual à média então:

$$\mu_i = e^{\beta X_i + \ln(\gamma) TT_i} \sim gamma\left(\frac{1}{\alpha}, \frac{1}{\alpha}\right) \quad (2)$$

em que A_i: Frequência de acidentes por observação i;
μ_i: Valor médio esperado de acidentes;
X_i: Variáveis independentes;
TT_i: Variável tendência temporal;
β: Parâmetros a serem estimados;
γ: Parâmetro a ser estimado;
α: Parâmetro de sobredispersão a ser estimado na regressão BN.

4. RESULTADOS

Os resultados dos dois modelos são apresentados a seguir nas Tabelas 2 e 3. A Tabela 2 apresenta os resultados do modelo dos acidentes com vítimas modelados pela regressão de Poisson. As variáveis sem significância estatística, ou seja, com nível de confiança inferior a 90% foram removidas. Estas variáveis são a temperatura, duração da luz solar, precipitação semanal e tendência temporal. Como tal as variáveis incluídas no modelo final têm coeficientes de correlação inferiores a 0,5.

Tabela 2: Resultados do modelo de regressão de Poisson – acidentes com vítimas

Variável	Coeficiente	Desvio Padrão	P[Z>z]
Constante	-1,1016	0,0464	0,0000
Coletora	0[a)]	-	-
Distribuidora principal	0,3636	0,0557	0,0000
Distribuidora local	0,7639	0,0518	0,0000
Acesso local	0,1011	0,0591	0,0871
Precipitação diária	0,0056	0,0021	0,0070
Precipitação mensal	-0,0007	0,0001	0,0002
Teste de sobredispersão $g=\mu_i$: 2,296[b)]; $g=\mu_i^2$: 2,496[b)]			
Função log de verosimilhança -5971,688; McFadden Pseudo R^2 = 0,025; *Akaike Information Criterion* = 1,7296			

a)Categoria de referência; b)Valor inferior a $\chi^2_{0,05GL=1}(3,84)$ confirmando-se assim a hipótese da média igual à variância

Como se pode depreender pela Tabela 2, o risco de ocorrer acidente com vítimas é distinto para os quatro tipos de vias consideradas, sendo que o valor estimado para a variável "acesso local" é estatisticamente significativo para um nível de confiança inferior a 95% mas superior a 90%. Os valores estimados para as variáveis binárias são todos positivos indicando um aumento do risco em relação à categoria de referência, neste caso a via coletora. O valor estimado para a precipitação diária é positivo ao contrário do valor estimado para a precipitação mensal, indicando como tal efeitos opostos que serão à frente discutidos.

Tabela 3: Resultados do modelo de regressão BN – acidentes só com danos materiais

Variável	Coeficiente	Desvio Padrão	P[Z>z]
Constante	1,0925	0,0415	0,0000
Coletora	0[a)]	-	-
Distribuidora principal	0,7175	0,0224	0,0000
Distribuidora local	0,2078	0,0237	0,0000
Acesso local	0,7192	0,0216	0,0000
Precipitação diária	0,0097	0,0009	0,0000
Precipitação semanal	0,0008	0,0003	0,0042
Precipitação mensal	-0,0002	0,0001	0,0284
Temperatura	-0,0153	0,0019	0,0000
Tendência temp.- ln(Ɣ)	-0,0586	0,0058	0,0000
Parâmetro dispersão α	0,0920	0,0064	0,0000
Teste de sobredispersão $g=\mu i$: 9,504[b)]; $g=\mu_i^2$: 8,855[b)]			
Função log de verosimilhança -14.159,24; McFadden Pseudo R^2 = 0,009; *Akaike Information Criterion* = 4,099			

a)Categoria de referência; b)Valor superior a $\chi^2_{0,05GL=1}(3,84)$ rejeitando-se assim a hipótese da média igual à variância

A Tabela 3 apresenta os resultados do modelo de regressão BN para a base de dados relativa aos acidentes só com danos materiais. Da Tabela 3 verifica-se que a maior parte das variáveis utilizadas são estatisticamente significantes, tendo-se apenas removido a variável "duração da luz solar". Das variáveis incluídas, apenas a variável precipitação mensal apresenta um coeficiente de correlação superior a 0,5 (i.e. 0,63) com a variável precipitação diária. No entanto, a comparação do modelo com e sem a variável precipitação mensal permitiu concluir que manter a mesma não altera significativamente o valor estimado da variável precipitação diária.

Tal como no modelo anterior, os valores estimados para as variáveis binárias que descrevem o tipo de via são todos positivos em relação à categoria de referência via coletora. Neste

modelo, a tendência temporal é estatisticamente significativa e com um valor estimado negativo, indicando um decréscimo anual dos acidentes no período considerado de cerca de 6% (ϒ=0,94). O valor estimado para a temperatura é negativo indicando que o aumento de temperatura decresce os acidentes só com danos materiais. Relativamente às variáveis que descrevem os diferentes efeitos da precipitação (no próprio dia e no curto e médio prazo) verifica-se que os sinais dos valores estimados são distintos indicando efeitos opostos. Assim, no caso da precipitação diária o efeito é positivo sendo negativo o efeito da precipitação mensal tal como no modelo dos acidentes com vítimas. A variável precipitação semanal apresenta um valor positivo do parâmetro estimado. Segue-se à frente a discussão destes mesmos resultados.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos pelos dois modelos permitem diversas análises relevantes para a compreensão do impacto das condições meteorológicas nos acidentes viários. Os dois modelos sugerem que o aumento da precipitação diária induz um aumento da frequência dos acidentes tal como demonstrado pela maior parte dos estudos anteriores mesmo que para casos de estudo fora do meio urbano. No caso dos acidentes com vítimas, pode-se referir que pelo valor estimado do parâmetro da variável precipitação, o número de acidentes aumenta em cerca de 0,2% quando a precipitação aumenta 10%. No caso dos acidentes só com danos materiais, o aumento do número de acidentes é ligeiramente maior, mais precisamente de 0,3% para o mesmo aumento da precipitação. Assim, e na linha do referido noutros estudos, pode-se concluir que a precipitação diária contribui para a existência de fracas condições como sejam de visibilidade e de aderência pneumático pavimento contribuindo para o aumento de acidentes com vítimas e sem vítimas, como tal, sem aparente distinção entre estes dois tipos de acidentes. No caso da precipitação mensal, variável que pode ser interpretada como caracterizando o efeito sazonal, tem um efeito decrescente representado pelo valor negativo dos parâmetros estimados nos dois modelos mas com maior magnitude no caso dos acidentes com vítimas. Aumentando 10% da precipitação ocorrida nos 30 dias precedentes, verifica-se um decréscimo de cerca de 0,7% e de 0,2% nos acidentes com vítimas e só com danos materiais, respetivamente. Destes resultados depreende-se que nos meses associados a chuva intensa (geralmente outubro, novembro, dezembro e janeiro para a cidade do Porto), o efeito da precipitação diária é menor do que nos meses de menor ocorrência de chuva. Este efeito desfasado está geralmente associado ao comportamento dos condutores que poderá ser mais cauteloso na época das chuvas. Contudo, este resultado contraria alguns estudos anteriores (Bergel-Hayat *et al.*, 2013; Eisenberg, 2004; Karlaftis e Yannis, 2010) que indicam que após um período seco, a ocorrência de chuva está associada a uma diminuição do risco de acidentes do que após um período de chuva intensa. Esta contradição pode ser justificada pelas características meteorológicas e culturais dos países e/ou regiões. A precipitação mensal e diária são as únicas variáveis significantes para os acidentes com vítimas.

Nos acidentes só com danos materiais várias outras variáveis contribuem para a análise do risco de acidente. Também o efeito desfasado a médio prazo, isto é da semana anterior, tem impacto positivo no número de acidentes, ou seja, ao aumento de 10% da precipitação na semana anterior corresponde a um aumento de 0,2% do número de acidentes. A precipitação ocorrida na semana anterior parece influenciar o comportamento do condutor no sentido de ser menos cauteloso. O efeito desfasado a médio prazo, neste caso, a semana anterior, poderia ainda estar associado ao efeito de limpeza dos óleos e detritos de combustível do pavimento

melhorando dessa forma a aderência pneumático pavimento tal como referido por (Eisenberg, 2004). Neste caso, a existir esse efeito, a variável precipitação semanal aparentemente não o representa.

Por outro lado, o efeito da variável temperatura indica que um aumento da temperatura diminui o número de acidentes só com danos materiais. Ou seja, 10% de aumento da temperatura está associado a uma diminuição do número de acidentes só com danos materiais de 2%. De referir que, em Portugal, as temperaturas altas estão associadas aos meses de menor precipitação embora o coeficiente de correlação entre as duas variáveis tem um valor bastante baixo, i.e. -0,08, indicando que os efeitos das mesmas são independentes. Na verdade, a temperatura tem um maior impacto na ocorrência dos acidentes só com danos materiais do que a precipitação diária. A temperatura elevada poderá estar associada a melhores condições de circulação o que poderá induzir um aumento de velocidade. Este comportamento mais arriscado poderá ser associado à diminuição de acidentes só com danos materiais mas a um aumento dos acidentes com vítimas. No entanto, este último não foi possível aferir pois a variável temperatura no modelo de acidentes com vítimas demonstrou ser não significante.

Por fim, é importante referir que em meio urbano o tipo de via tem um forte impacto na ocorrência de acidentes quer sejam só com danos materiais quer sejam acidentes com vítimas. A classificação viária utilizada pode ser hierarquizada de forma decrescente pelo volume de tráfego associada à via da seguinte forma: coletora, distribuidora principal, distribuidora local e acesso local. Em ambos os modelos verifica-se que as vias coletoras (categoria de referência) são as vias com menor risco de acidente de qualquer tipo, mesmo sendo estas vias associadas a maiores volumes de tráfego e como tal maior exposição ao risco. No entanto, é sabido que o volume de tráfego tem uma relação não linear com o risco de acidentes o que poderá justificar este resultado. As vias de acesso local, que se caracterizam por vias com menor tráfego e desejavelmente menores velocidades, são associadas a maior ocorrência de acidentes só com danos materiais. Pelo contrário é nas vias distribuidoras local que o risco de ocorrer acidentes com vítimas é maior. Estas vias estão associadas a um volume de tráfego mais elevado do que nas vias de acesso local mas menor do que aquele que se observa nas vias coletoras e nas vias distribuidoras principal. Ao contrário destas últimas, caracterizam-se por interseções geralmente sem sinalização luminosa eventualmente com elevado número de pontos de conflito nas interseções.

6. CONCLUSÕES

Vários estudos têm sido realizados ao longo das últimas décadas com o objetivo de explicar a ocorrência de acidentes e os fatores de risco associados aos mesmos. É neste contexto que o presente estudo se insere, na medida em que se pretendeu conhecer o efeito das condições meteorológicas no número de acidentes. Embora já existam alguns estudos centrados no mesmo objetivo, poucos foram realizados em meio urbano e ainda menos a considerar o efeito desfasado da precipitação.

No presente estudo foram desenvolvidos 2 modelos de forma a separar a análise dos acidentes com vítimas dos acidentes só com danos materiais. Em cada modelo foram incluídas variáveis a identificar o tipo de via onde ocorreu o acidente e a descrever as condições meteorológicas (precipitação diária, temperatura e duração da luz solar). Adicionalmente acrescentou-se duas

variáveis para captar o efeito desfasado da precipitação, caracterizando a precipitação acumulada na semana anterior e a precipitação acumulada nos últimos 30 dias. No caso dos acidentes com vítimas apenas as variáveis de classificação das vias, da precipitação diária e mensal foram estatisticamente significantes. Pelo contrário nos acidentes só com danos materiais apenas a variável duração da luz solar revelou ser não estatisticamente significante.

Dos resultados dos dois modelos podemos concluir que o aumento da precipitação diária tende a aumentar o risco de ocorrência de acidentes de qualquer tipo e com a mesma magnitude do efeito. A precipitação mostrou ter em efeito desfasado mensal para todo o tipo de acidentes aproximadamente com a mesma magnitude. Assim, o aumento da precipitação acumulada nos 30 dias anteriores contribui para um decréscimo da ocorrência de acidentes. Este efeito sazonal pode afetar de facto o comportamento do condutor no sentido de ser mais cauteloso durante os meses de maior precipitação. Contudo este resultado contraria alguns estudos anteriores embora a comparação não possa ser realizada de forma equitativa pois existem diversas diferenças quer ao nível da base de dados quer do modelo e respetivas variáveis. Acresce ainda as diferenças associadas ao clima e à cultura da população das regiões/países em estudo.

Nos acidentes só com danos materiais o efeito desfasado semanal da precipitação tem também um impacto na ocorrência de acidentes deste tipo em que o aumento desta variável induz um aumento do número de acidentes tal como verificado na precipitação diária. Aparentemente o efeito a curto/médio prazo da precipitação no comportamento do condutor é contrário ao do efeito mensal. De notar que estes resultados contrariam alguns estudos anteriores embora as variáveis para avaliar o efeito desfasado não são do mesmo tipo.

No caso da variável temperatura pode-se concluir que o aumento da temperatura está associado à diminuição do número de acidentes só com danos materiais, eventualmente porque as condições de circulação são melhores. A melhoria das condições poderia, no entanto, estar associada a um aumento de velocidade e consequentemente ao aumento dos acidentes com vítimas. No entanto, não é possível confirmar esta hipótese pois verificou-se que esta variável não é estatisticamente significante.

O ambiente urbano é muito diversificado quer em termos geométricos quer funcionais. É por isso de esperar que a distribuição dos acidentes não seja homogénea nas vias urbanas. De facto os dois modelos considerados assim o demonstram já que as variáveis binárias que descrevem a classificação hierárquica viária são todas significantes. Os resultados dos dois modelos indicam que as vias coletoras estão associadas a menor risco de ocorrência de acidentes de qualquer tipo. Já as vias de acesso local e as vias distribuidoras local são as de maior risco de ocorrência de acidentes só com danos materiais e com vítimas respetivamente.

Embora a classificação das vias estão associadas à exposição ao risco quer pelo volume de tráfego quer pelo número de conflitos, na verdade os modelos considerados não incluem o volume de tráfego verificado nos vários dias em análise. Esta limitação dos modelos é difícil de ultrapassar embora possa ser colmatada por uma estimativa do volume de tráfego médio diário anual. Por outro lado, e tendo em conta a variabilidade anual das condições meteorológicas, a base de dados deverá ser alargada de forma a corroborar os resultados obtidos.

A análise do impacto das condições meteorológicas nos acidentes viários é fundamental para o desenvolvimento futuro das novas tecnologias de assistência à condução e até do veículo autónomo. De facto a circulação do veículo deve ser ajustada às condições existentes nomeadamente meteorológicas e nesse sentido a tecnologia de assistência à condução como o sistema de deteção de colisão deve ter em conta as condições por exemplo de aderência do pavimento. Também os modelos de simulação de tráfego que têm como objetivo simular de forma mais real possível o comportamento do condutor e a circulação automóvel deverá incluir as diferenças verificadas consoante as condições meteorológicas possibilitando a análise de diferentes cenários. Por estes factos, atuais e futuros, estudos deste tipo são relevantes devendo estes cobrir diversas regiões e países de forma a analisar a transferibilidade dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Aty, M., Ekram, A.-A., Huang, H., & Choi, K. (2011). A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke. *Accident Analysis & Prevention, 43*(5), 1730-1737.

Antoniou, C., Yannis, G., & Katsohis, D. (2013). *Impact of meteorological factors on the number of injury accidents.* Paper presented at the Proceedings of the 13th World Conference on Transportation Research, 15-18 July, COPPE - Federal University of Rio de Janeiro at Rio de Janeiro, Brazil.

Aultman-Hall, L., Lane, D., & Lambert, R. (2009). Assessing Impact of Weather and Season on Pedestrian Traffic Volumes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2140*, 35-43.

Bergel-Hayat, R., Debbarh, M., Antoniou, C., & Yannis, G. (2013). Explaining the road accident risk: Weather effects. *Accident Analysis & Prevention, 60*, 456-465.

Brijs, T., Karlis, D., & Wets, G. (2008). Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. *Accident Analysis & Prevention, 40*(3), 1180-1190.

Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention, 39*(4), 657-670.

Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (1990). Regression-based tests for overdispersion in the Poisson model. *Journal of Econometrics, 46*(3), 347-364.

Couto, A., Amorim, M., & Ferreira, S. (2016). Reporting road victims: Assessing and correcting data issues through distinct injury scales. *Journal of Safety Research, 57*, 39-45.

Eisenberg, D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention, 36*(4), 637-647.

Ferreira, S., & Couto, A. (2012). Categorical modeling to evaluate road safety at the planning level. *Journal of Transportation Safety & Security, 4*(4), 308-322.

Hermans, E., Brijs, T., Stiers, T., & Offermans, C. (2006). *The impact of weather conditions on road safety investigated on an hourly basis.*

Karlaftis, M., & Yannis, G. (2010). *Weather effects on daily traffic accidents and fatalities: a time series count data approach.* Paper presented at the Proceedings of the 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 10-14, Washington DC, USA.

Keay, K., & Simmonds, I. (2005). The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis & Prevention, 37*(1), 109-124.

Theofilatos, A., & Yannis, G. (2014). A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety. *Accident Analysis & Prevention, 72*(0), 244-256.

Watson, A., Watson, B., & Vallmuur, K. (2015). Estimating under-reporting of road crash injuries to police using multiple linked data collections. *Accident Analysis & Prevention, 83*(0), 18-25.

Sara Ferreira (sara@fe.up.pt)
António Lobo (lobo@fe.up.pt)
António Couto (fcouto@fe.up.pt)
Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias 4200-465 Porto, Portugal
Isabel Iglesias (iiglesias@ciimar.up.pt)
Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental (CIIMAR), Universidade do Porto
Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões, Avenida General Norton de Matos, 4450-208 Matosinhos, Portugal

COMPORTAMENTO SEGURO DE CICLISTA EM RODOVIAS EM ÁREAS URBANIZADAS

Giseli Aparecida Ortolani[1]
Paulo Cesar Marques da Silva[2]
Ingrid Luíza Neto[3]
[1,2] Programa de Pós-Graduação em Transporte - Universidade de Brasília
[3] Laboratório de Psicologia do Trânsito - Centro Universitário do Distrito Federal

RESUMO
Analisar e entender o comportamento dos ciclistas em rodovias e as razões que os levam a aceitar o risco de trafegar ou fazer travessias sem utilizar os aparatos disponíveis pode auxiliar os planejadores a decidir qual é o melhor dispositivo ou sinalização para o ciclista deslocar-se com maior segurança. O objetivo principal desta tese é analisar e explicar o comportamento dos ciclistas em rodovias inseridas em áreas urbanizadas a partir da conceituação que está sistematizada na Teoria do Comportamento Planejado e da Teoria do Comportamento Interpessoal. Os objetivos secundários são elaborar um conceito de comportamento seguro do ciclista para a circulação em áreas urbanizadas; estudar as características da movimentação de bicicletas em trechos de rodovias inseridas em áreas urbanizadas, como brecha de aceitação, velocidade de travessia, velocidade de tráfego do ciclista, etc.; e identificar os fatores que afetam o comportamento dos ciclistas em trechos de rodovias inseridas em áreas urbanizadas.

Giseli Aparecida Ortolani (gi.ortolani@gmail.com)
SQN 404, Bloco A, apto 207
CEP 70845-010 – Asa Norte – Brasília
Paulo Cesar Marques da Silva (pcmsilva@unb.br)
Ingrid Luíza Neto (ingridluizaneto@gmail.com)

PROPOSAL AND VALIDATION OF A QUESTIONNAIRE TO INVESTIGATE RISK BEHAVIOR OF DRIVERS FROM BRAZIL AND PORTUGAL

Cintia Isabel de Campos
Cira Souza Pitombo
University of São Paulo
Patricia Delhomme
French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks
Sara Ferreira
University of Porto
Elisabete Fraga de Freitas
University of Minho

ABSTRACT
Traffic accidents are among the leading causes of death around the world. The causes of its occurrence largely correspond to the human factor. With this, many studies are carried out to examine the main determinants underlying human behavior in traffic and more specifically, risk behaviors. The use of questionnaires to relate personality traits and other characteristics are widely used to investigate this type of behavior. This paper aims to present the steps performed during the development of a questionnaire to investigate risk behaviors, including qualitative and quantitative analyzes. Through pilot tests, it was possible to evaluate the comprehension of the questions as well as the reliability of the scale with the Cronbach's alpha test. At the end of all steps, the questionnaire reached satisfactory results that made it suitable for application to the final sample.

RESUMO
Os acidentes de trânsito estão entre as principais causas de morte em todo o mundo. As causas de sua ocorrência correspondem na sua maior parte ao fator humano. Com isso, muitos estudos são realizados a título de compreender o comportamento humano no trânsito e mais especificamente, comportamentos de risco. Questionários relacionando traços de personalidade e outras características são amplamente utilizados a fim de investigar esse tipo de comportamento. Esse trabalho tem por objetivo apresentar as etapas realizadas durante o desenvolvimento de um questionário para investigação de comportamentos de risco, contemplando análises qualitativas e quantitativas. Através de testes pilotos, foi possível avaliar a compreensão das perguntas, bem como a confiabilidade da escala com o teste do alfa de Cronbach. Ao final de todas as etapas, o questionário atingiu resultados satisfatórios indicando que está adequado para aplicação à amostra final.

1. INTRODUCTION

Traffic Accidents (TA) are the eighth leading cause of death in the world. More than 1.2 million people lose their lives daily, and thousands more are seriously injured. In Brazil, there are more than 43,000 annual deaths corresponding to the index 23.4 deaths per 100,000 inhabitants, above the world average of 17.4, and more than twice the average of high-income countries, that is 9.2 (DATASUS, 2016; World Health Organization, 2015).

The road environment is the result of different interactions, and driving corresponds to the constant process of adaptation to them, which may be external (laws, infrastructure) or internal (reasons that lead to user actions). When the adaptation does not occur, the TA can occur, whose causes are divided into three categories, corresponding to the human factors, road and vehicle factors (Norman, 1962; Downing *et al.*, 1991; Delhomme *et al.*, 2009).

There are many studies undertaken to investigate and understand these categories. In terms of infrastructure, in general, many studies are developed to diagnose factors that may be associated to a higher incidence of accidents. With respect to human factors, which are present as the main

cause in most accidents, there are efforts to understand the driver behavior, and how to measure it, in different approaches, such as using questionnaires, driving simulators and naturalistic driver studies.

Risk-taking is considered as one of the main factors behind the high risk of collision (Jonah, 1986, Iversen and Rundmo, 2002). Some studies applied questionnaires to reveal that there is a tendency of risk behavior that varies depending on the dimensions of the driver's personality (Delhomme *et al.*, 2012; Cristea and Delhomme, 2016; Gheorghiu *et al.*, 2015; Iversen, 2004; Iversen and Rundmo, 2002; Letirand and Delhomme, 2005; Oltedal and Rundmo, 2006; Ulleberg and Rundmo, 2003).

Studies carried out in the areas of psychology and ergonomics seek to understand aspects related to risk behavior. The personality traits sensation seeking (Yagil, 2001) and driver anger (Deffenbacher *et al.*, 1994) are examples of traits positively correlated to risk behavior and present validated versions of questionnaires with specific scales for the context of road safety. The Driver Behavior Questionnaire (DBQ), developed by Reason *et al.* (1990), is widely used to analyze the frequency of driver risk behavior. Lajunen *et al.* (2004) suggest that some items must be elaborated to use together with DBQ items, taking into account the reality of the study region, and to compare the results due the difference of culture.

The main objective of this paper is to present the steps for the proposal of a questionnaire to investigate the risk behavior of drivers considering personality traits of anger and sensation seeking as well as driver perception of the road environment. Based on the information obtained throughout the questionnaire discrete models will be developed to analyze the variables of personality traits and road environment and their influence on risk behavior.

This paper consists of four sections, besides this introduction. Section 2 describes all procedure to create the questionnaire, and section 3 show the development of the questions. Section 4 include the results of the pilot test and discussion. Finally, final considerations are presented in section 5.

2. PROCEDURE

The development of the questionnaire began with the literature review on driver risk behavior. The next step was to create questions related to the points observed in the literature. Besides, interviews were carried out with drivers who take risks in traffic.

Based on the content of the interviewees' answers, the conditions to be investigated with the questionnaire were defined. Questions were elaborated to outline the socioeconomic profile and experience of driving, perception of road environment in which the person usually drives as well as questions to investigate behavior and attitude in traffic. To assist in the investigation of behaviors, attitudes and personality traits, scales already validated in English, were used: Sensation Seeking, Driver Anger Scale (DAS) and Driver Behavior Questionnaire (DBQ). These questionnaires were applied successfully as seen at Yang *et al.* (2013), Schwebel *et al.* (2006), Ulleber and Rundmo (2003), Delhomme et al. (2012), Dourado *et al.* (2017) and Özkan *et a*l. (2006).

In the questions about the environment characterization, we used images to represent the urban and highway context, pavement conditions and design of the road. In the case of the urban

context, the images represent streets more or less dense, and in the highways context, the images represent a scale of bad to very good conditions of pavement, and the presence or not of curves.

Throughout the process of creating the questionnaire, discussions and reviews were carried out together in the research group, in order to evaluate the questions considering the parameters to be investigated. Some measures that indicate the sensitivity, reliability and validity of the questions were evaluated with the application of two pilot tests.

2.1 Validated Questionnaires

As mentioned before, some instruments already validated previously are part of the final version of the questionnaire. A brief description of them is presented as follows.

2.1.1 Sensation Seeking

The scale that investigates the personality trait Sensation Seeking was developed by Taubman *et al.* (1996, apud Yagil, 2001), and is directly related to sensation seeking in traffic. This instrument consists of seven items that investigate driving preferences on a seven-point Likert scale (1 = "Not true at all" to 7 = "Absolutely true").

2.1.2 Driver Anger Scale (DAS)

The Driver Anger Scale instrument, developed by Deffenbacher *et al.* (1994), was designed to evaluate the propensity of drivers to become irritated or aggressive in traffic. There are two versions, a long one, with 33 items, and a short one, with 14 items, describing traffic situations that the driver must classify the degree of anger that would feel for each circumstance, in a scale of 5 points (1 = Nothing" for 5 =" very much "). For this study the short version, translated into Portuguese by Cantini *et al.* (2015), was used.

2.1.3 Driver Behavior Questionnaire (DBQ)

The Driver Behavior Questionnaire (DBQ), originally developed by Reason *et al.* (1990), has 50 items that investigate the behavior of the driver through three elements: errors, lapses and violations. The short version of Özkan *et al.* (2006), with 19 items divided into errors, common violations and aggressive violations, was used in this study. Some research has indicated that lapses have not shown safety relevance (Parker *et al*., 2000 apud Özkan *et al*., 2006). A component related to alcohol consumption deleted by Özkan *et al.* (2006) was maintained in our version, totaling 20 items. The Portuguese version was based on the version by Bianchi and Summala (2002) and some adaptations were made to improve understanding.

2.2 Translation and adaptations of original versions

The scales already validated went through a process of translation and adaptation of the language. The versions already translated from English to Portuguese have been adapted to the Portuguese version of Portugal. The questionnaires that only had the English version were translated into Portuguese. The version of the questionnaire for Portugal had all its contents reviewed by native speakers of both psychology and engineering.

The sensation-seeking questionnaire, has its original version in Hebrew and did not have a Portuguese version. The translation has been made considering the English (Yagil, 2001) and French versions (Delhomme *et al*., 2009).

The Likert scales of the original version of the Driver Behavior Questionnaire and Sensation Seeking were adapted to five points, as the standard adopted for this questionnaire. The adequacy of the translations, scales and other adaptations were tested in the questions' validation stage.

2.4 Validation of the questions: sensitivity and reliability analysis

In this stage two pilot studies, with 12 participants each one, were carried out to test the comprehension of the questions by the respondents and the reliability of the scales. The participants were chosen for convenience and the only criteria was drive frequently. They were invited to respond the questionnaire in a printed version and make notes about questions regarding comprehension, errors or suggestions about the issues. In addition to the comments, the data collected with the pilot sample were also analyzed with descriptive statistics and Cronbach's alpha.

Sensitivity analysis was performed using descriptive measures (mean, mode, standard deviation and variance), which were generated to observe the distribution of the answers and, consequently, if there were questions in which the answers focused on a single option (Alferes, 1997). Low variability in response may indicate that the question was not being well interpreted in the way it was presented or that the scale was not adequate, for example.

The reliability of the scale can be evaluated in different ways. Among the simpler forms, techniques such as: applying the questionnaire twice to the same people, in a time interval where the results of score should be the same in times 1 and 2; or, divide the sample into two parts, among many participants, in which the score of those parts must be positively correlated. However, in this later method, the result can vary according to the division of the set.

In this study, the reliability of the scale was evaluated with Cronbach's alpha. This test is a measure equivalent to the division in two parts. However, makes it possible to calculate all possible divisions for the set by computing the correlation coefficients of each part, according to Equation 1 (Field, 2013).

$$\alpha = \frac{N^2\overline{Cov}}{\sum s^2_{item} + \sum Cov_{item}} \qquad (1)$$

Where, *N*: number of items;
s^2: variance;
Cov: covariance.

To apply the alpha coefficient, it is necessary that all items are in the same order of scale, and when there are inverse items, it is necessary to reverse the scale of these items before applying the alpha coefficient.

According to Field (2013), a value considered acceptable for the alpha is between 0.70 and 0.80. For psychological constructs, values below 0.70 can be found because of the diversity of the constructs (Kline, 1999 *apud* Field, 2013).

When analyzing the results of the first pilot test, some problems were identified and subsequently corrected, as presented in section 4. A new version was applied to other drivers, with the same criteria of the first one, consisting of the second pilot test. The questionnaire was respond in a printed version and with the same guidelines considered in the first test. The same statistical tests were performed to compare and evaluate the corrections.

3. QUESTIONNAIRE DEVELOPMENT

3.1 Interviews

Considering the main points treated in the literature, the open questions were answered in the form of interviews to assist the elaboration of the questions of the questionnaire. The questions aim was to investigate the behavior and opinion of the driver regarding the following items: speeding, evaluation of the road environment, alcohol and drugs, violation of traffic laws, sensation when committing infractions, attitudes in traffic and traffic accidents.

Participants were chosen for convenience and not randomly, and had in common the characteristic of take risk in traffic. The sample consisted of three drivers, two men and one woman, between 30 and 34 years old, with 10 years of driving experience, on average, and who frequently drive on highways. The questions and their objectives are presented in Table 1.

Table 1: Questions and aim

Questions	Aim
What do you think about speeding by the other drivers? What speed do you drive on the straight road when traffic is light? Do you think this is a risk? Why? Why do you think the drivers speeding?	Investigate the opinion and perception of risk related to speeding and your own behavior
Do you feel safe in the roads that you drive? Why? Do you know drivers who take risks? What they do? Why?	Identify how the driver analyzes the road environment and how perceives drivers' behavior in their environment
Have you ever drank and drove? Do you think that drive after drink is a risk? Have you ever driven under the influence of drugs? Do you think that is it a risk? Why? Do the people around you do this? What is your opinion about their conduct?	Investigate the perception of risk associated with driving under the influence of alcohol or drugs, in contrast to the behavior itself
Have you ever been fined? What reason? Have you ever committed any traffic violations? If so, which one? Do you frequently disregard any traffic law? What? Do you disagree with any traffic law? What? Do you know the punishments for those who commit infractions like the ones we discussed? Do you respect road signs? Do you think that not respecting traffic signs is a risk? Why?	Identify recurring practices of violation
What is your feeling when you disrespect some traffic law, such as: - Speeding; - Drink and drive; - Driving under the influence of drugs; - Disrespect some law	Check for emotion-related reasons associated with violation
Do you think your behavior changes in traffic? If so, what kinds of changes do you observe? What are the reasons for you to change?	Identify external factors that influence driver behavior

Have you ever suffered any kind of traffic accident? If so, was it serious? Were you at fault in the accident? Do you feel that you have changed your behavior after the accident?	Get information about accident history and influence in their life

3.2 Elaboration of questions

For the development of the questions, we considered the respondents' answers, the content discussed in the literature and the objectives and hypotheses of the final study, which consists in a prediction of risk behavior including variables of personality traits and road environment. The number of questions to each group, and how the answer is obtained are shown in Table 2. An explanation is presented below.

Table 2: Composition of the questionnaire

Questions group	Number of questions	Number of items	Answer options
Sociodemographic profile	7	-	List of options (discrete data)
Driver experience	4	-	
Self-evaluation and of other drivers	1	6	5-points Likert scale
Urban environment	2	12	
Highway environment	3	11	
Anger	1	14	
Sensation seeking	1	7	
Risk perception	1	20	
Risk behavior	2	40	

3.2.1 Driver and road environment characterization

The first block of questions, "Sociodemographic data and history as a driver", consists in characterize the sociodemographic profile and the driver's experience. Therefore, questions were asked about: the place where people live (country, state and city), age, gender, schooling and income. After the first pilot test, two questions were added: marital status and whether the person has a child, indicating the age of each child.

The driver's experience has been evaluated by questions about: i) how long the person drives (year); ii) how many miles the person drives weekly; iii) how many times the person was fined in the last three years and what were the reasons, and lastly; iv) if the individual was involved in traffic accidents in the last 3 years, and if yes, the accident severity (property damage only, slight or severe injury or fatal).

It is also part of this block the question of evaluation of drivers' ability to drive and their view of others, adapted from Delhomme (1991). Responses are obtained on a Likert five-level scale, where 1 is "Strongly Disagree" and 5 "Strongly Agree".

The group of questions “Familiarity on different road environment” is composed of four questions that assess the urban road environment and highways frequently used by individual with the use of images or indication of items. In the urban context, the investigation is about i) the height of the constructions and widths of the roads; and ii) the infrastructure description as reported by the driver. About the road context, it stems from the analysis of i) frequency that

individual drive on highways; ii) the level of service of the roads that the individual usually drive; and iii) the quality of the road pavement.

Answers will be expressed on a Likert scale indicating the frequency on a 5-point scale, where 1 is "Never" (I never drive on a similar road) and 5 is "Very often" (I very often drive on a similar road).

3.2.2 Risk taking behavior characterization

The "Yourself as a driver" block consists of five questions to investigate personality traits and attitudes that, as described in the literature, are positively correlated with drivers' risk behavior (Yang *et al.*, 2013; Schwebel *et al.*, 2006; Ulleber and Rundmo, 2003). The objective is to identify how much the driver take risks in the traffic, from self-declared answers, in the perspective of characterizing the levels of risk behavior.

The validated questionnaires of Taubman *et al.* (1996 apud Yagil, 2001) and Deffenbacher *et al.* (1994) investigate the personality traits of sensation seeking and anger, as previously mentioned. As seen in the literature, these traits are positively related to risk behavior in traffic, and measuring them assists in the characterization of the risk taking behavior.

Two questions were elaborated from the interview results. The first was "For each of the sentences below, indicate how often you have adopted these behaviors in the last year". Twenty sentences were elaborated to investigate the frequency that the individual adopts risk behaviors related to the use of the cell phone while driving, speeding, crossing the red light, not wearing a seatbelt or ignoring other traffic rules, following close, change lanes without signaling or without looking at the rear view mirror and driving tired.

The second question investigates the risk perception with the same sentences of the previous question, but in other perspective: "According to you, the behaviors below are ...". The answer is in a 5-points Likert scale, where 1 is "not risky" and 5 is "risky".

The DBQ version used in this paper investigates the frequency of unsafe behaviors classified as errors, aggressive violations and ordinary violations. These factors are associated with the involvement of traffic accidents.

4. PILOT TEST RESULTS AND DISCUSSIONS

Two pilot studies were conducted to test the questions and scales of the questionnaire with participants from Brazil and Portugal, six from each one. Table 3 shows the descriptive statistics of the sample of the two tests. Both samples were compound by 50% of each gender. There were five individuals that drives motorcycle and car in the first pilot study and just one in the second. The kilometers drove per week is less in the second pilot sample than the first one.

As mentioned before, participants were instructed to make notes on any questions, suggestions or comments they might have regarding the questions and how to respond. All the participants stated that the questionnaire was quick and easy to answer, which made them think about the way they are driving and the questions are within their reality. After analyzing the results of Cronbach's alpha, the variability of the responses and the comments of the participants, some changes were made to the second pilot test.

Table 3 – Sample descriptive statistics

	Pilot test 1					Pilot test 2				
	n[a]	Mean	SD[b]	Min	Max	n[a]	Mean	SD[b]	Min	Max
Age	12	31.08	5.63	25	46	12	34.75	8.92	21	53
Time of car drive license	12	10.58	5.79	2	22	12	14.25	8.52	3	33
Time of motorcycle drive license	5	15	6.04	7	22	1	3	0	3	3
Km/week (car)	12	204.83	246.24	28	800	12	160.58	132.55	10	450
Km/week (motorcycle)	5	63.08	151.20	0	600	1	100	0	100	100

a) n-number of participants of the sample b) SD-Standard deviation

The reliability of the scales was tested with Cronbach's alpha in questions related to driver behavior. It was not necessary to invert any items from the scales, since all had the same tendency of response. The results are shown in Table 4 and commented below.

- The driver ability was evaluated in two subscales, one considering the self-evaluation, and another where the other drivers are evaluated. Both showed good results in terms of Cronbach alpha in the first pilot test. In the second test, the alpha of the items related to self-evaluation decreased due the item "I am a very good driver", which presented less variability in the response than the first test. Considering that the results of the first test were better and that the participants made no comments on these items, the validation of this question will be carried out together with the validation of the questionnaire constructs;
- The driver's anger scale score proved to be reliable in both tests, presenting a similar result to the alpha (0.800) found by Deffenbacher *et al.* (1994);
- There was also a reduction in the alpha related to sensation seeking on the second test. As these items initially presented a satisfactory value, the results can be related to the characterization of the sample;
- Behavior frequency and risk perception were created and proved to be reliable in both pilot studies, both of which reached the highest alpha in the tests.

Özkan *et al.* (2006) applied the alpha to the three different parts of DBQ, obtaining the following results: ordinary violation (0.73-0.85) errors (0.62-0.75) and aggressive violation (0.59-0.74). In the first pilot study, the best alpha was of errors (0.70) followed by aggressive violation (0.47). Three items measured aggressive violations, instead of the original four, because item 12 was deleted of the evaluation for not displaying any variation. The items of ordinary violation had a negative value for the alpha (-0.40).

All DBQ items was reviewed by four individuals from each country that were invited to evaluate the translation and improve the items. Of the 20 used items, 13 were modified in the Brazilian and Portuguese versions. In the second test, almost all items were improved in terms of Cronbach alpha.

Also regarding DBQ, the item about alcohol consumption, which was initially expressed by "Driving when you suspect you may be above the legal limit of alcohol in the blood", was modified in the Brazilian version to "Driving after consuming alcoholic beverage". The Brazilian Law 11,705/2008 in Article 165 provides a fine for drivers driving under the influence of alcohol, without specifying a limit.

Regarding the analysis of response variability, in the first pilot study, four items related to alcohol and drug use did not present any variation. In the second pilot study, only one item did not show variation, the item 3.5, where the person is asked about how often they used some type of drug and drove.

Table 4: Cronbach alpha results

Items	Pilot test 1			Pilot test 2		
	Cronbach Alpha	Cronbach Alpha (Standardized items)	N of items	Alfa de Cronbach	Cronbach Alpha (Standardized items)	N of items
Drivers ability	0.572	0.560	6	0.685	0.644	6
Self-evaluation	0.714	0.709	3	0.386	0.232	3
Other drivers evaluation	0.646	0.639	3	0.699	0.714	3
DAS	0.805	0.821	14	0.866	0.868	14
Sensation Seeking	0.697	0.752	7	0.484	0.543	7
Behavior frequency	0.797	0.811	17	0.840	0.847	19
Risk Perception	0.924	0.921	16	0.940	0.942	20
DBQ - all items	0.473	0.635	19	0.845	0.846	20
DBQ - error	0.703	0.746	8	0.792	0.792	8
DBQ - aggressive violation	0.474	0.501	3	0.470	0.366	3
DBQ - ordinary violation	-0.404	0.069	8	0.704	0.704	8

All comments of the participants in the two phases were evaluated, and some changes were made. One of the comments was about the use of the English term “Bluetooth” in sentences about how often they used cell phones while driving in urban areas or highways. The person reported not having understood, so the word was replaced by the more popular use, hands-free. Another observation was about the discomfort people may feel to inform their income, so we emphasize even more in the questionnaire statement that the answers will be confidential and anonymous. Besides these ones, other changes were undertaken such as inclusion or exclusion of items in the answer options, adding more questions, changing the way the sentence or structure of the questions’ answer, and so on.

The statement of the questions related to the evaluation of the road environment were rewritten with the objective of making them clearer and more objective, avoiding difficulties of interpretation. The first image of the question about the urban context has been changed to adapt to the reality of the two countries. In both pilot tests the responses presented variability, as shown in Table 5. Cronbach's alpha was not applied to this set of questions because their purpose is not to evaluate trends but to characterize the road environment.

Table 5: Descriptive statistics of road environment questions characterization

Variable	Pilot study 1			Pilot Study 2		
	M[a]	SD[b]	V[c]	M[a]	SD[b]	V[c]
12. a)	4.17	0.937	0.879	3.36	1.027	1.055
12. b)	3.92	0.996	0.992	4.09	0.701	0.491
12. c)	2.67	1.670	2.788	2.91	1.221	1.491
13. a)	1.25	0.622	0.386	1.18	0.603	0.364
13. b)	1.50	1.000	1.000	1.73	1.191	1.418
13. c)	2.50	1.446	2.091	1.91	1.221	1.491
13. d)	3.17	1.193	1.424	2.55	1.368	1.873
13. f)	4.33	0.651	0.424	4.27	0.905	0.818
14. a)	3.33	1.231	1.515	4.00	1.000	1.000
14. b)	3.83	0.937	0.879	3.36	0.924	0.855
14. c)	1.75	0.866	0.750	1.27	0.647	0.418
15. a)	2.25	1.357	1.841	3.25	1.288	1.659
15. b)	3.67	1.073	1.152	3.50	1.243	1.545
15. c)	3.67	0.888	0.788	3.08	1.311	1.720
15. d)	3.58	1.379	1.902	3.75	1.288	1.659
16. a)	4.58	0.900	0.811	4.50	0.905	0.818
16. b)	4.33	0.888	0.788	4.42	0.900	0.811
16. c)	4.33	0.651	0.424	4.42	0.900	0.811
16. d)	3.67	0.985	0.970	3.50	1.243	1.545
16. e)	4.75	0.622	0.386	4.42	0.669	0.447
16. f)	4.67	0.651	0.424	3.67	0.888	0.788
16. g)	4.92	0.289	0.083	4.33	0.778	0.606
16. h)	4.67	0.492	0.242	3.92	0.900	0.811

a) M-mean b) SD-standard deviation c) V-variation

5. FINAL CONSIDERATIONS

More than a quantitative analysis, developing and evaluating questions for application of a questionnaire requires a critical qualitative analysis. Initially, the purpose of each question and the best way to get the answer according to the study objectives should be carefully planned.

The questionnaire should be tested for comprehension, that is, whether people are actually interpreting the questions and answers according to the purpose they were created. For this, the first step is to test the consistency of the questions. It is essential to carry out pilot tests to obtain qualitative data based on the comments about the interpretation of the participants of the sample, and quantitative data that base the analysis of sensitivity and reliability of the questions and scales.

The reliability analysis with Cronbach's alpha was very important to validate the questions due to the changes made in the original scales of the validated questionnaires and the two questions that were created. The result of the second pilot test demonstrated that the developed

questionnaire meets the criteria of sensitivity and reliability and it is ready to be applied. After the application of the questionnaire and obtaining of the desired sample, a validation step of construct should be performed using Principal Components Analysis to confirm the dimensions of the constructs and evaluate the internal consistency, such as the one performed by Dourado *et al.* (2017).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* (CAPES), the *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq), the *Fundação para a Ciência e a Tecnologia* (FCT), all participants in this study and to all professionals involved.

REFERENCES

Alferes, V. R. (1997) *Investigação Científica Em Psicologia*: Teoria E Prática. Coimbra: Almedina.

Bianchi, A., Summala H. (2002) Moral Judgment and Drivers' Behavior among Brazilian Students. *Psychological Reports* 91(3, 1):759–66.

Cantini, J. A., Santos, G. O., Machado, E. de C., Nardi, A. E., & Silva, A. C. (2015) Translation and cross-cultural adaptation of the Brazilian Portuguese version of the driving anger scale (DAS): Long form and short form. *Trends in Psychiatry and Psychotherapy*, 37(1), 42–46.

Cristea, M. Delhomme P. (2016) The Effects of Co-Presence on Risk Perception and Intention to Engage in Risky Behaviors. *Journal of Safety Research* 56:97–103.

DATASUS (2016) Sistema De Informações Sobre Mortalidade – SIM Óbitos por causas externas – Brasil. In: < http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sim/cnv/ext10uf.def>. Accessed on: 11 mar. 2016.

Deffenbacher, J. L., Oetting, E. R, Lynch, R. S. (1994) Development of a Driving Anger Scale. *Psychological Reports* 74(1):83–91.

Delhomme, P., Verlhiac, J. F. Martha, C. (2009). Are Drivers' Comparative Risk Judgments about Speeding Realistic? *Journal of Safety Research* 40(5):333–39.

Delhomme, P.; Chaurand, N; Paran, F. (2012) Personality Predictors of Speeding in Young Drivers: Anger vs. Sensation Seeking. *Transportation Research Part F*: Traffic Psychology and Behaviour 15(6):654–66.

Delhomme, P. (1991) Comparing One's Driving with Others': Assessment of Abilities and Frequency of Offences. Evidence for a Superior Conformity of Self-Bias? *Accident Analysis and Prevention* 6:493–508.

Dourado, J.F; Pereira, A.T; Nogueira, V; Bastos Silva, A.M.C; Seco, A.J.M. (2017) Personality and Driver Behaviour Questionnaire: Correlational Exploratory Study. 2017. *Proceedings* of the AIIT International Congress on Transport Infrastructure and Systems. Rome, Italy, 10-12 April 201. CRC Press

Downing, A. J., Daguley, C. J., Hills, B. L. (1991) Road safety in developing countries: an overview. In: *The Nineteenth Transport, Highways and Planning Summer Annual Meeting*, University of Sussex, Brighton.

Field, A. (2013) "*Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. British Library.

Gheorghiu, A, Delhomme P., and Felonneau, M. L. (2015) Peer Pressure and Risk Taking in Young Drivers' Speeding Behavior. *Transportation Research Part F*: Traffic Psychology and Behaviour 35:101–11.

Iversen, H, Rundmo, T. (2002) Personality, Risky Driving and Accident Involvement among Norwegian Drivers. *Personality and Individual Differences* 33(8):1251–63.

Iversen, H. (2004) Risk-taking attitudes and risky driving behaviour. *Transportation Research Part F:* Traffic Psychology and Behaviour, v. 7, n. 3, p. 135-150.

Lajunen, T., Parker, D. (2001). Are aggressive people aggressive drivers? A study of the relationship between self-reported general aggressiveness, driver anger and aggressive driving. Accident Analysis and Prevention, 33, 243–255

Letirand, F., Delhomme, P. (2005) Speed Behaviour as a Choice between Observing and Exceeding the Speed Limit. *Transportation Research Part F*: Traffic Psychology and Behaviour 8(6):481–92.

Norman, L. G. (1962) Road Traffic Accidents: Epidemiology, Control and Prevention. World Health Organization, Geneva.

Oltedal, S. Rundmo, T. (2006) The Effects of Personality and Gender on Risky Driving Behaviour and Accident Involvement. *Safety Science* 44(7):621–28.

Özkan, T., Lajunen, T., Chliaoutakis, J. E., Parker, D., Summala, H. (2006) Cross-Cultural Differences in Driving Behaviours: A Comparison of Six Countries. *Transportation Research Part F*: Traffic Psychology and Behaviour 9(3):227–42.

Reason, J., Manstead, A. Stradling, S, Baxter, J. Campbell, K. (1990) Errors and Violations on the Roads- a Real Distinction?. *Ergonomics* 33(0014–0139/90):1315–32.

Schwebel, D.C., Severson, J., Ball, K.k., Rizzo, M. (2006) Individual difference factors in risky driving: the roles of anger/hostility, conscientiousness, and sensation-seeking. *Accident Analysis & Prevention*. 38:801–810.

Ulleberg, P., Rundmo, T. (2003) Personality, Attitudes and Risk Perception as Predictors of Risky Driving Behaviour among Young Drivers. *Safety Science* 41(5):427–43.

World Health Organization (2015) Global Status Report on Road Safety 2015. Geneva, Switzerland. Retrieved (http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/).

Yagil, D. (2001) Reasoned Action and Irrational Motives: A Prediction of Drivers' Intention to Violate Traffic Laws. *Journal of Applied Social Psychology* 31(4):720–40.

Yang, J., Du, F., Qu, W., Gong, Z. Sun, X. (2013) Effects of Personality on Risky Driving Behavior and Accident Involvement for Chinese Drivers. *Traffic Injury Prevention*, 14(6):565-571.

Cintia Isabel de Campos (cintiacampos@usp.sp)
Transportation Engineering Department, São Carlos Engineering School, University of São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos, SP, 13566-590
Cira Souza Pitombo (cirapitombo@gmail.com)
Patricia Delhomme (patricia.delhomme@ifsttar.fr)
Sara Ferreira (sara@fe.up.pt)
Elisabete Fraga de Freitas (efreitas@civil.uminho.pt)

PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA EM VIAS CICLÁVEIS

Hernany Paulo Varela do Reis
Michelle Andrade
Programa de Pós-Graduação em Transportes
Universidade de Brasília

RESUMO
Com a demanda por mobilidade sustentável, a bicicleta se apresenta como um dos principais veículos agregados a essa causa. De uma forma em geral, vários países desenvolveram sua malha cicloviária e no Brasil não tem sido diferente, porém como todas as infraestruturas o custo do investimento é alto e nem sempre essa implantação é eficiente e/ou promove boas condições de segurança para os usuários. O presente trabalho visa desenvolver um método que por meio de Inspeção de Segurança Cicloviária (ISC) possibilite avaliar a infraestrutura de vias cicláveis construídas, por análise de imagens, para subsidiar a proposição de melhorias e garantir melhores condições de segurança para os usuários.

Hernany Paulo Varela dos Reis (dosreis.hernany@gmail.com)
Michelle Andrade (michelleandrade@unb.br)
Programa de Pós-Graduação em Transportes - PPGT. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília - Campus Universitário Darcy Ribeiro. Anexo SG-12, 1° andar. - Asa Norte CEP: 70910-900, Brasília – DF.

RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS APLICADO À ANÁLISE DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

Philippe Barbosa Silva
Instituto Federal Goiano/Rio Verde; Universidade de Brasília
Rosemary Janneth Llanque Ayala
Michelle Andrade
Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Maria de Jesus Silva Nascimento
Ittalo Wilker Côrrea Machado
Centro Universitário do Planalto do Distrito Federal

RESUMO
As rodovias brasileiras, especialmente as federais, têm importante contribuição para essa preocupante conjuntura da acidentalidade viária constatada no Brasil, necessitando de esforços e ações efetivas para promoção da segurança viária. Neste sentido, o trabalho objetivou identificar a combinação de fatores contribuintes para ocorrência de acidentes em rodovias federais brasileiras, de acordo com a severidade, utilizando-se a técnica de Raciocínio Baseado em Casos (RBC). Constatou-se que a utilização de sistema RBC é razoavelmente adequada para a análise de acidentes de trânsito ocorridos em rodovias federais brasileiras, carecendo, no entanto, de aperfeiçoamentos para melhoria nos resultados obtidos.

ABSTRACT
The Brazilian highways, especially the federal ones, have an important contribution to this worrying situation of road accident detected in Brazil, necessitating efforts and effective actions to promote road safety. In this sense, the objective of this study was to identify the combination of factors contributing to the occurrence of accidents on Brazilian federal highways, according to severity, using the Case-Based Reasoning (CBR) technique. It was verified that the use of CBR system is reasonably adequate for the analysis of traffic accidents occurred in Brazilian federal highways, however, needs improvements to better results.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o cenário da acidentalidade e mortalidade viária é preocupante, estando o país entre os países que apresentam maior índice de mortalidade no trânsito. As rodovias colaboram para esse cenário, com imposição de elevados custos socioeconômicos em função dos acidentes ocorridos nelas. No Brasil, um estudo realizado pelo IPEA (2015), mostra que em 2014 ocorreram 169.163 acidentes nas vias federais fiscalizadas pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), gerando custos ao Estado na ordem de bilhões de reais. Nesse sentido, medidas voltadas para promoção da segurança viária são fundamentais e necessárias.

A segurança viária é atualmente uma das grandes preocupações dos gestores do sistema rodoviário, bem como da população em geral. Isto se deve a percepção dos elevados custos sociais inerentes aos acidentes de trânsito. Contudo, a realização de ações, que têm como objetivo a segurança viária, está intensamente relacionada ao nível de conhecimento sobre os problemas referentes ao trânsito (Cardoso, 2006).

Sinay e Tamayo (2005), em sua interpretação mais ampla, descrevem a segurança viária como sendo o conjunto de condições e fatores interligados que propiciam a circulação e interação dos diferentes elementos do tráfego na via sob níveis aceitáveis de risco e de forma suficientemente segura.

É necessário então, conhecer as possíveis causas de ocorrência dos acidentes. O primeiro passo para a redução da acidentalidade viária é a análise detalhada dos acidentes já ocorridos, identificando-se padrões de ocorrência, fatores ambientais e viários, principais causas e demais características pertinentes, podendo conduzir à elaboração de medidas de prevenção de acidentes e mitigação das externalidades causadas por eles (IPEA, 2003).

Conforme ABNT (1989) acidente de trânsito "é todo evento não premeditado de que resulte dano ao veículo ou na carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público". De forma complementar, Araújo (2009) afirma que acidente de trânsito é um evento não intencional que produz ferimentos ou danos, podendo ser classificado em acidente: i) sem vítima - onde o acidente produz danos materiais, sem que destes resultem fisicamente feridas as pessoas envolvidas; ii) acidente com vítimas - acidente com ferimentos resultantes, em maior ou menor grau, de pelo menos uma das partes envolvidas .

Sayed e Abdelwahab (1997) afirmam que os acidentes ocorrem essencialmente devido a três fatores, isolados ou de forma combinada, sejam eles: fatores humanos, fatores viário-ambientais e, fatores veiculares. Para a redução da ocorrência de acidente de trânsito é necessário compreender os fatores de risco que o influenciam de forma mais significativa. Esta compreensão dos fatores leva a adotar medidas para reduzi-las ou então eliminá-las, refletindo nas taxas globais e custos dos acidentes. Conhecer os diferentes tipos e causas de acidentes de trânsito pode contribuir para a definição de políticas de prevenção (Cardoso, 2006).

Wrigth e Paquette (1993 *apud* Panitz, 1999) dividem o acidente em três momentos: pré-colisão, colisão e pós-colisão, sendo que dentro de cada fase, os três elementos causais (homem, via, veículo) contribuem de alguma forma ou proporção para que ocorra o acidente ou para a alteração de suas consequências. Assim, para os autores um acidente é uma ocorrência composta de nove fatores de falhas. Isso é o que William Haddon Jr. Preconizou ao criar a Matriz de Haddon, conforme Figura 1.

	FATOR		
FASE	HUMANO	VEÍCULO E EQUIPAMENTOS	AMBIENTE
Pré-evento	Informação Atitudes Condição física comprometida Fiscalização	Boas condições técnicas Iluminação Freios Dirigibilidade Controle da velocidade	Projeto e traçado viário Limites de velocidade Recursos para o deslocamento de pedestres
Evento	Utilização de mecanismos de retenção	Mecanismos de retenção dos ocupantes Outros recursos de segurança Design com proteção aos impactos	Dispositivos de proteção aos choques nas margens das vias
Pós-evento	Primeiros socorros e acesso ao atendimento médico	Facilidade de acesso Risco de incêndio	Serviços de resgate Congestionamento

Figura 1: Matriz de Haddon
Fonte: OPAS (2012)

O cerne da segurança viária está na compreensão do acidente de trânsito, possibilitando que medidas efetivas para sua prevenção ou redução de severidade. O estudo adequado do cenário do acidente é aquele que parte da compreensão de que esses acontecimentos têm suas causas inseridas em diversos contextos, aliando as causas diretas e indiretas na análise da ocorrência e dos fundamentos do acidente (Henrique, 2002).

Os dados devem ser organizados de forma a inter-relacionar itens como gravidade das ocorrências, condições gerais e especiais da pista, fases do dia, existência ou não de obras no local, condições meteorológicas, possíveis restrições a visibilidade, dentre outras (NEA, 2006).

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1. Base de dados

Em termos metodológicos, inicialmente foi escolhido o cenário de estudo, tendo como objeto de análise os dados de acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras, haja vista a proporção destas na malha rodoviária nacional e a disponibilidade de dados.

Na sequência, procedeu-se à coleta dos dados, os quais foram disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF) e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Como base de dados desta pesquisa, foram utilizados dados de acidentes de trânsito ocorridos no período de janeiro de 2014 a julho de 2015. Tencionava-se utilizar uma série histórica de cinco anos, no entanto, devido à falta de padronização dos dados coletados em anos anteriores, não foi possível. Uma limitação do estudo é a utilização de uma base sem que seja assegurada a qualidade e consistência dos dados, especialmente quanto a causa do acidente. Essa causa é presumida pelo agente policial e é baseada em sua avaliação pessoal do acidente o que, mesmo com treinamento, insere grande subjetividade e incerteza nos dados registrados.

Por fim, fez-se um tratamento preliminar nos dados, excluindo-se dados inconsistentes, faltantes ou não padronizados. Dentre os dados disponíveis, alguns parâmetros foram utilizados como fatores significativos para a ocorrência dos acidentes, são eles: causa do acidente, tipo de acidente, traçado da via, uso do solo e fase do dia. Todos estes estão associados à variável-resposta que é a classificação do acidente. A Tabela 1 traz a descrição de cada variável e opções associadas.

A partir destas variáveis, com a abordagem de RBC, é possível definir uma métrica de similaridade global por parâmetros, tais como número máximo de casos apresentados após o cálculo da similaridade e o percentual mínimo de similaridade.

A garantia dos resultados se dá pela correta aplicação dos algoritmos utilizados na recuperação dos casos. O algoritmo compara parâmetros pré-determinados entre o caso recuperado e o novo caso para modificar a solução armazenada na direção correta. Diversas combinações possíveis entre estes parâmetros são testadas e por fim, os resultados são comparados ao algoritmo, para verificação de sua eficácia.

Tabela 1: Descrição e opções das variáveis utilizadas

Variável	Descrição	Opções
Dependente		
Classificação do acidente	É a classificação do acidente em termos da gravidade de lesões dos envolvidos.	• Com vítimas fatais • Com vítimas feridas • Sem vítimas
Independente		
Causa do acidente	É a causa presumida do acidente, imputada pelo agente policial responsável pelo registro, sem recorrer à análise pericial.	• Animais na Pista • Defeito mecânico em veículo • Defeito na via • Desobediência à sinalização • Dormindo • Falta de atenção • Ingestão de álcool • Não guardar distância de segurança • Ultrapassagem indevida • Velocidade incompatível
Tipo de acidente	É a classificação do acidente por tipo de ocorrência.	• Atropelamento de animal • Atropelamento de pessoa • Capotamento • Colisão com bicicleta • Colisão com objeto fixo • Colisão com objeto móvel • Colisão frontal • Colisão lateral • Colisão Transversal • Colisão traseira • Danos Eventuais • Derramamento de Carga • Incêndio • Queda de motocicleta / bicicleta / veículo • Saída de Pista • Tombamento
Traçado da via	É a caracterização do segmento onde ocorreu o acidente.	• Reta • Curva • Cruzamento
Uso do solo	É a classificação do tipo de uso do solo da rodovia, no local do acidente.	• Rural • Urbano
Fase do dia	É a fase do dia em que ocorreu o acidente.	• Amanhecer • Anoitecer • Plena noite • Pleno dia

Fonte: PRF (2016)

2.2. Raciocínio Baseado em Casos (RBC)

Fernandes (2003) afirma que Raciocínio Baseado em Casos (RBC) é uma ferramenta de raciocínio da inteligência artificial. A filosofia básica desta técnica é a de buscar a solução para uma situação atual através da comparação com uma experiência passada semelhante. RBC é uma abordagem para solução de problemas e aprendizado por meio da reutilização de casos anteriores já conhecidos. Urnau, *et al.* (2010) afirmam que o RBC representa um modelo cognitivo de raciocínio onde basicamente sua técnica é utilizar experiências passadas, para encontrar soluções aos novos problemas.

Para Aamodt e Plaza (1994), o RBC requer um conjunto bem trabalhado de métodos para extrair conhecimento relevante da experiência, integrar um caso em uma estrutura de conhecimento existente, e indexar o caso para mais tarde ser combinado com casos

semelhantes. As tarefas centrais que todos os métodos de RBC têm de lidar são: identificar a corrente situação-problema, encontrar um caso passado semelhante ao novo, usar esse caso para sugerir uma solução para o problema atual, avaliar a solução proposta, e atualizar o sistema, aprendendo com isso.

Um ciclo de um sistema RBC é dividido em quatro etapas (os quatro R's). São elas: recuperar, reusar, revisar e reter, conforme Aamodt e Plaza (1994). A Figura 2 traz a representação deste ciclo.

Vitorino (2009) explica cada uma destas etapas, como mostrado abaixo.

- Recuperação: mediante a apresentação ao sistema de um novo problema é feita a recuperação na base de casos daquele mais parecido com o problema em questão. Isto é feito a partir da identificação das características mais significantes em comum entre os casos;
- Reuso: a partir do caso recuperado é feita a reutilização da solução associada àquele caso. Geralmente a solução do caso recuperado é transferida ao novo problema diretamente como sua solução;
- Revisão: ocorre quando a solução não pode ser aplicada diretamente ao novo problema. O sistema avalia as diferenças entre os problemas (o novo e o recuperado), quais as partes do caso recuperado são semelhantes ao novo caso e podem ser transferidas adaptando assim a solução do caso recuperado da base à solução do novo caso;
- Retenção: é o processo de armazenar o novo caso e sua respectiva solução para futuras recuperações. O sistema irá decidir qual informação armazenar e de que forma.



Figura 2: Funcionamento do sistema RBC
Fonte: Vitorino (2009)

A partir da disponibilidade de uma base de dados a ser investigada, é possível analisá-la de forma a extrair conhecimento que seja aplicável na tomada de novas decisões. Conforme Wangenheim e Wangenheim (2003), as etapas mais importantes do processo de desenvolvimento de um sistema RBC são: aquisição de conhecimento; representação de caso; indexação; recuperação de casos e adaptação de casos.

3. ESTUDO DE CASO

Como referido, o estudo de caso teve como base todos os acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras e registrados pela Polícia Rodoviária Federal. Para a abordagem de

Raciocínio Baseado em Casos, recorreu-se ao JColibri 2, que é um *framework* orientado a objetos que facilita a construção de sistemas RBC. Foi desenvolvido pelo GAIA (*Group for Artificial Intelligence Applications*) em linguagem de programação Java. As ferramentas de trabalho utilizadas nesta pesquisa são distribuídas como *softwares* livres.

Para cada unidade da Federação do Brasil (UF) foi organizada uma base de dados para criação de sistema RBC. Desta forma, foram constituídas 27 bases de dados, correspondentes aos 26 Estados e Distrito Federal.

Com o uso de RBC, objetivou-se simular cenários com diferentes opções das variáveis independentes, de forma a verificar qual a classificação do acidente correspondente a cada situação. Para cada UF foram processadas 10 opções de combinação lógica de variáveis, sendo que cada combinação contém uma causa diferente de acidente.

Mediante o lançamento dos casos, o *software* define a métrica de similaridade global por parâmetros e calcula a probabilidade de ocorrência de acidente com determinada classificação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do lançamento de cada caso (combinação de variáveis associada a cada um dos dez diferentes tipos de acidentes), tem-se o retorno das cinco maiores probabilidades dos casos similares ao caso originalmente apresentado ao sistema. Na Figura 2, por exemplo, tem-se: o primeiro caso com 46,77% de probabilidade de ocorrência de acidente com vítimas, o segundo com 46,77% de probabilidade de acidente sem vítimas, o terceiro com 46,77% de probabilidade de resultar num acidente com vítimas feridas e o quarto e quinto casos com 43,55% de probabilidade de resultarem em acidentes com vítimas feridas. Para cada caso lançado, escolheu-se aquele que apresentou a maior probabilidade de ocorrência e, em casos de mesma probabilidade, os casos mais lógicos.

Nesse texto são apresentados os resultados de 11 UFs, como compilação de amostras representativas de cada região do Brasil. O Brasil é composto por cinco regiões geográficas, são elas: Centro-oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul. A região Centro-oeste é constituída pelos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e pelo Distrito Federal, ou seja, composta por quatro unidades da Federação. Dentre elas, nas Figuras 3 e 4 estão apresentados os resultados do Distrito Federal e estado de Goiás, respectivamente. Em todas as figuras de resultados, sequencialmente, de cima para baixo, as linhas correspondem à: classificação do acidente, uso do solo, traçado da via, tipo de acidente, fase do dia e causa do acidente.

Para melhor entendimento, considere o primeiro caso de Goiás. Trata-se do seguinte cenário: acidente em rodovia rural, trecho em curva, no amanhecer (6h01 às 12h), com atropelamento de animais e tendo como causa presumida animais na pista. Neste caso, com esta combinação de fatores contribuintes, existe 66,66% de probabilidade de ocorrência de um acidente sem vítimas.

Pela Figura 3 verifica-se que a maioria dos resultados dos casos é lógica e coerente com outros estudos de análise de acidentes, no entanto, algumas situações parecem ser um contrassenso. O primeiro caso do Distrito Federal, por exemplo, indica que todos os acidentes em rodovias em áreas urbanizadas, em curva, durante a noite, envolvendo colisão traseira e

causados por falta de atenção resultarão em vítimas feridas. Isto implica que neste cenário, não há possibilidade do acidente resultar em ilesos ou mortos, o que não é razoável. Na Figura 4, no segundo caso de Goiás, existe uma situação similar com acidente em rodovia urbana, numa reta, durante o dia, envolvendo colisão traseira e causado por falha mecânica do veículo. Nesta situação existe 83,33% de chances do acidente resultar em ilesos. Esta divergência pode ser creditada à diferença entre o traçado da via, fase do dia e causa presumida dos dois casos em questão. Ainda assim, acredita-se que a maior parcela de diferença decorra da diferença do sistema e classificação funcional das vias das duas UFs. No Distrito Federal, existem diversas rodovias em áreas urbanas, inclusive na área central e com limite de velocidade de até 80 km/h, o que justificaria a maior probabilidade de acidentes com vítimas feridas quando comparado à casos similares no estado de Goiás que, em geral, tem rodovias nas periferias das cidades e com limites de velocidade mais restritivos.

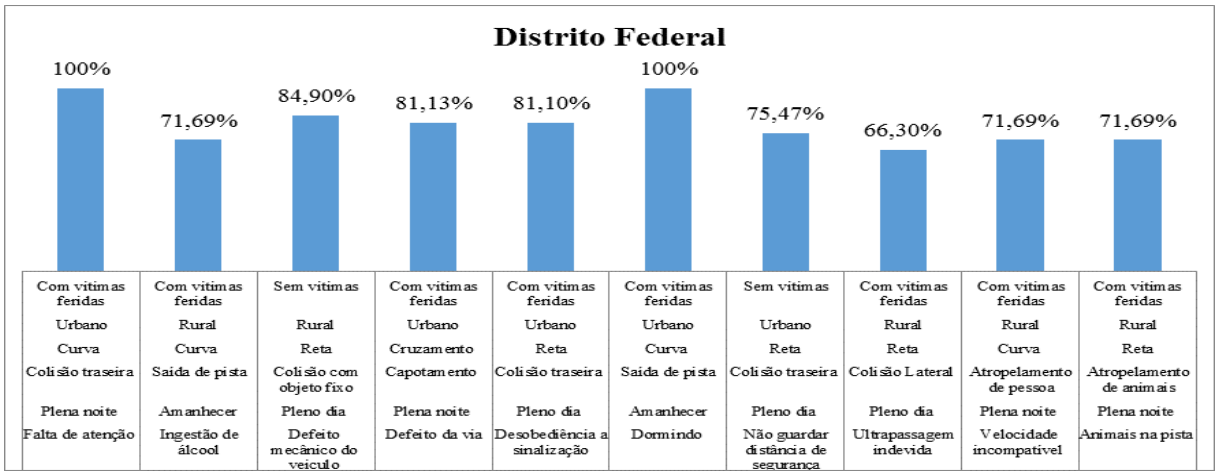


Figura 3: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, no Distrito Federal

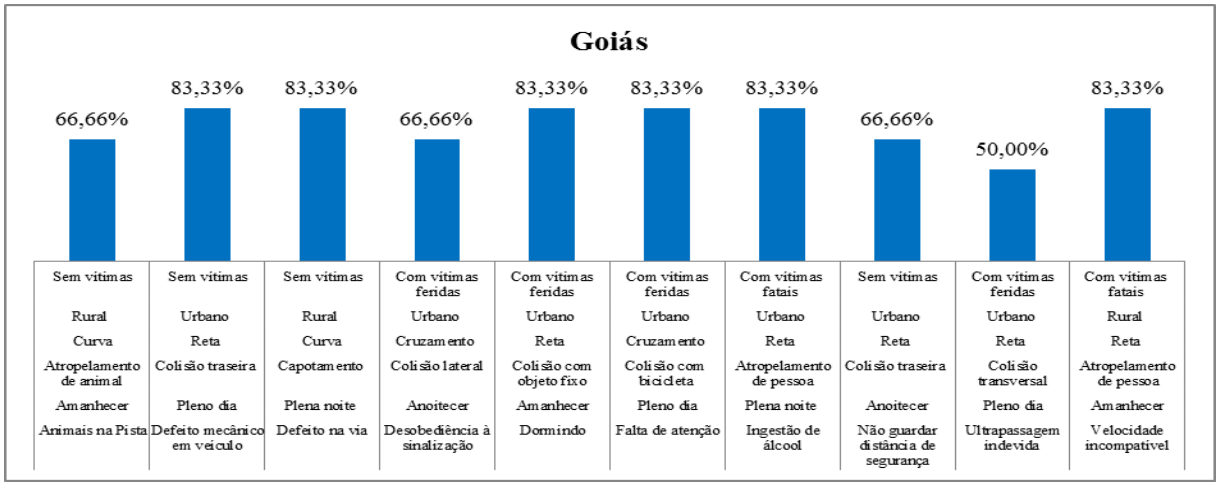


Figura 4: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, em Goiás

Da região Nordeste, composta por nove estados, são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7 os resultados dos estados de Alagoas, Piauí e Sergipe, respectivamente. Maior parte dos resultados dos referidos estados faz sentido, no entanto, são verificados diversos casos com probabilidade de 100% de ocorrência de determinada classificação de acidente, o que exclui a possibilidade, mesmo que ínfima, de os acidentes resultarem noutros dois níveis de gravidade de lesão dos envolvidos, o que, a primeira vista, não parece procedente.

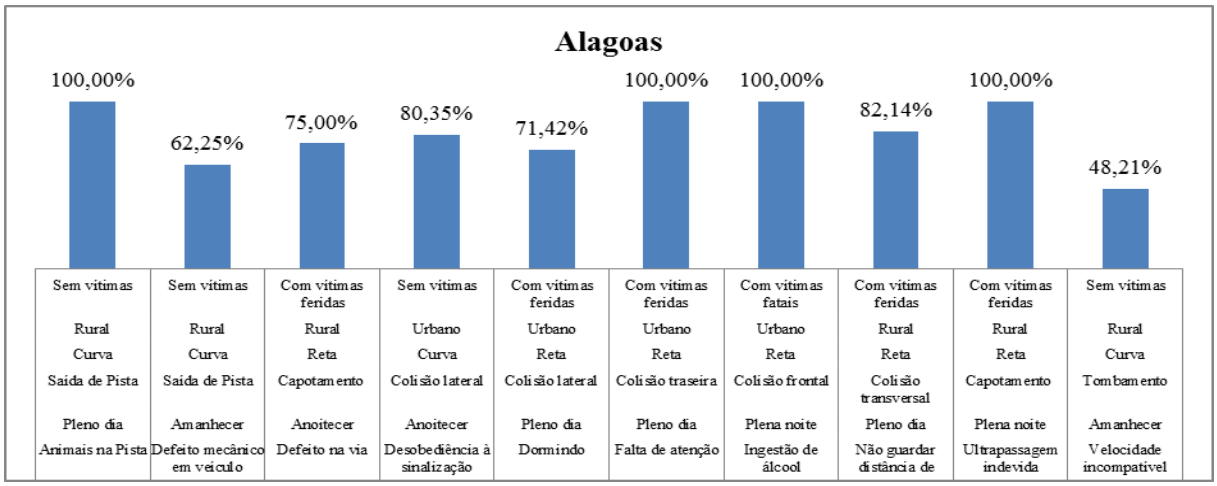


Figura 5: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, em Alagoas

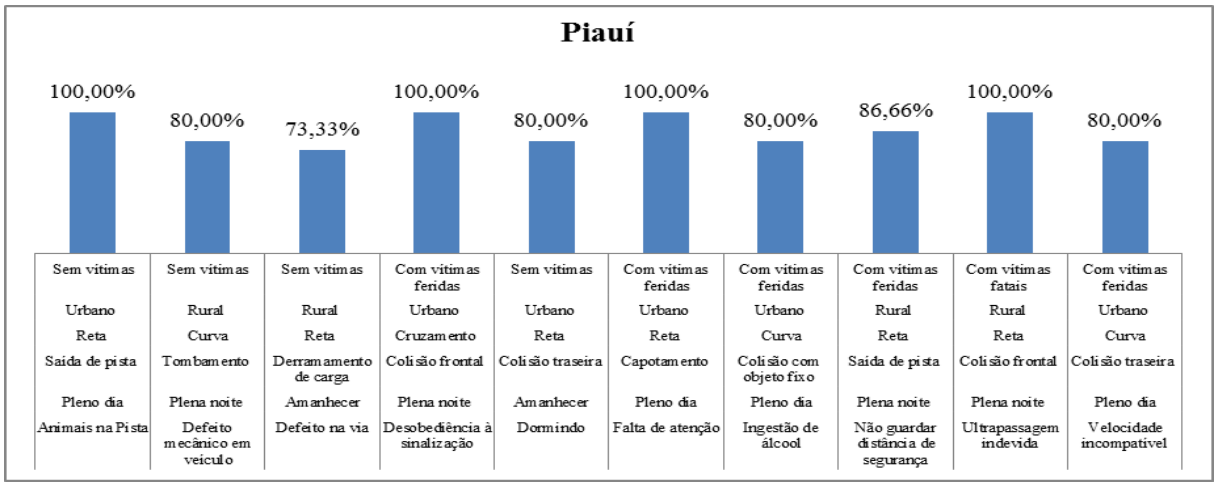


Figura 6: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, no Piauí

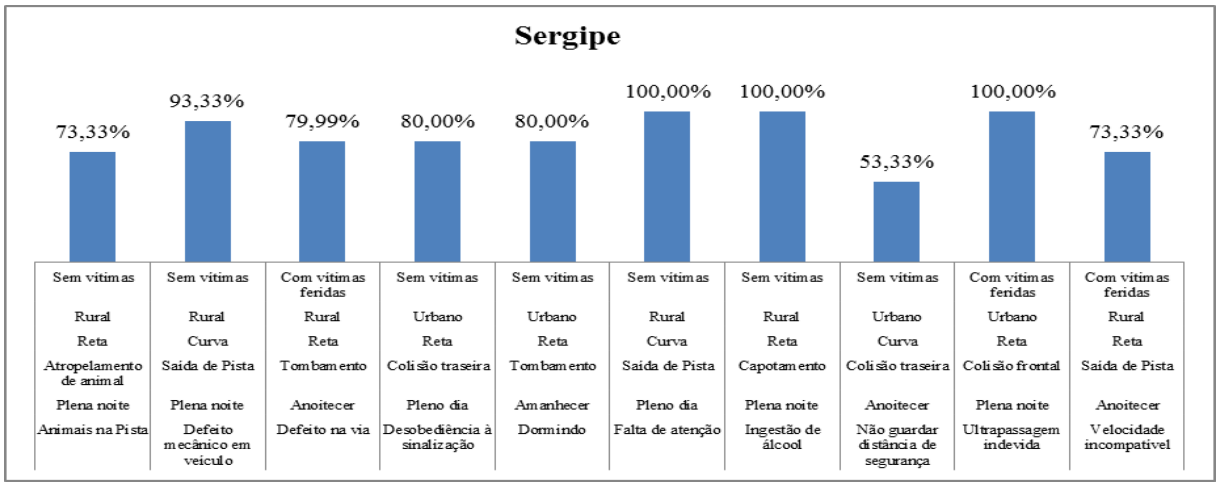


Figura 7: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, em Sergipe

Na sequência, são apresentados os resultados dos estados de Amazonas, Amapá e Roraima, pertencentes à região Norte, que contempla sete estados. Por meio das Figuras 8, 9 e 10 verifica-se a congruência dos resultados obtidos. Ainda assim, os casos com probabilidade

igual a 1, antes de extração de conclusões, devem ser analisados com cautela.

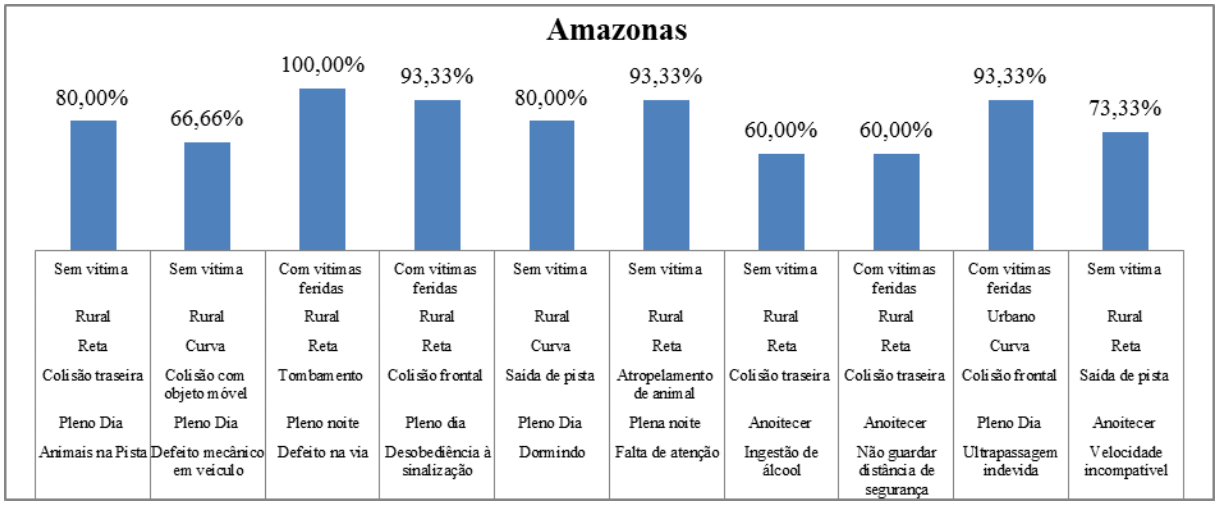


Figura 8: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, no Amazonas

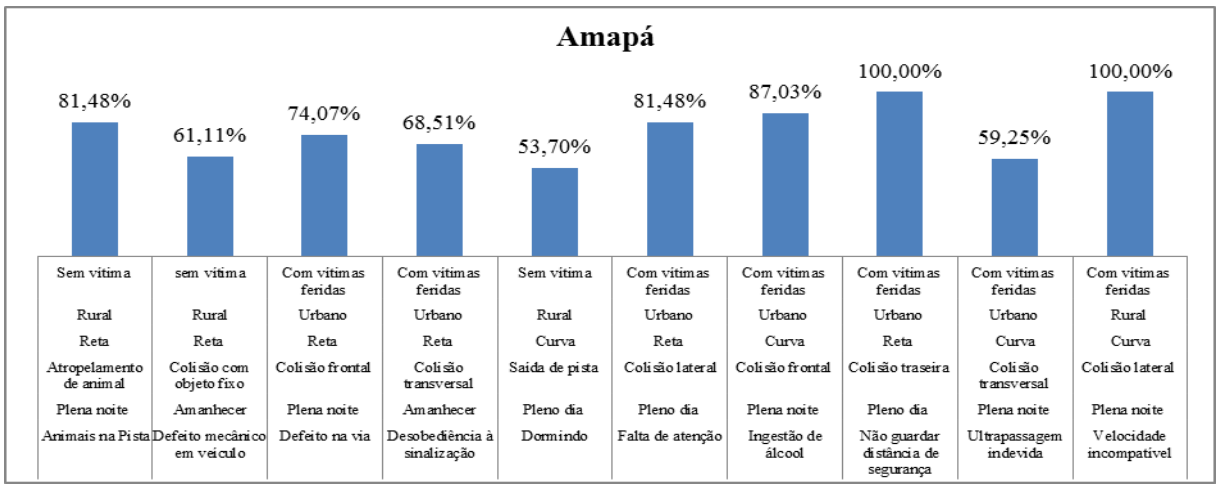


Figura 9: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, no Amapá

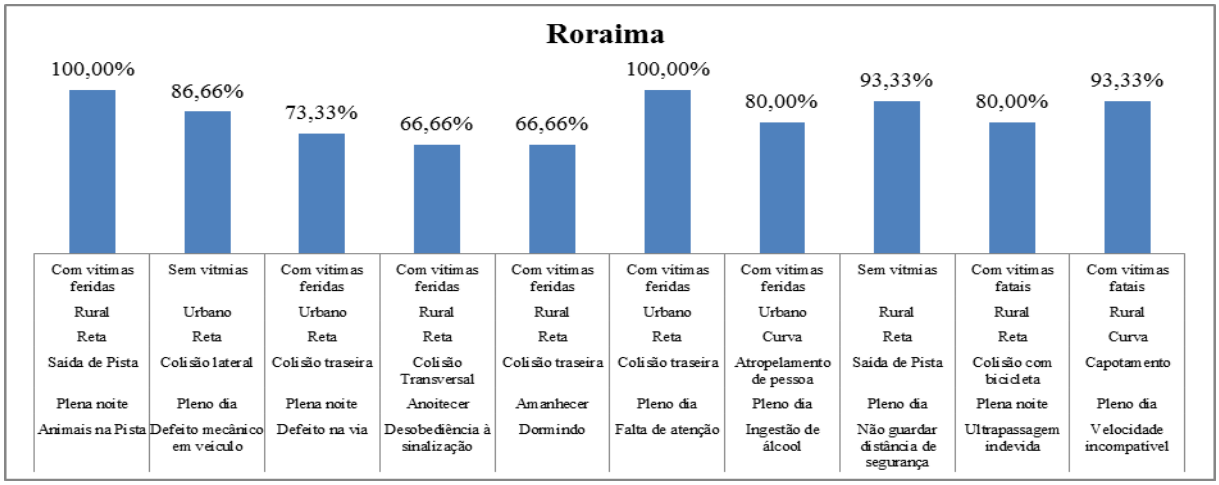


Figura 10: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, em Roraima

Na região Sudeste, composta por quatro estados, são apresentados os resultados dos estados

do Espírito Santo e Minas Gerais, respectivamente nas Figuras 11 e 12. Os resultados se revelaram lógicos e coerentes, não havendo inclusive, nenhum caso com 100% de probabilidade de ocorrência de determinada classificação de acidentes.

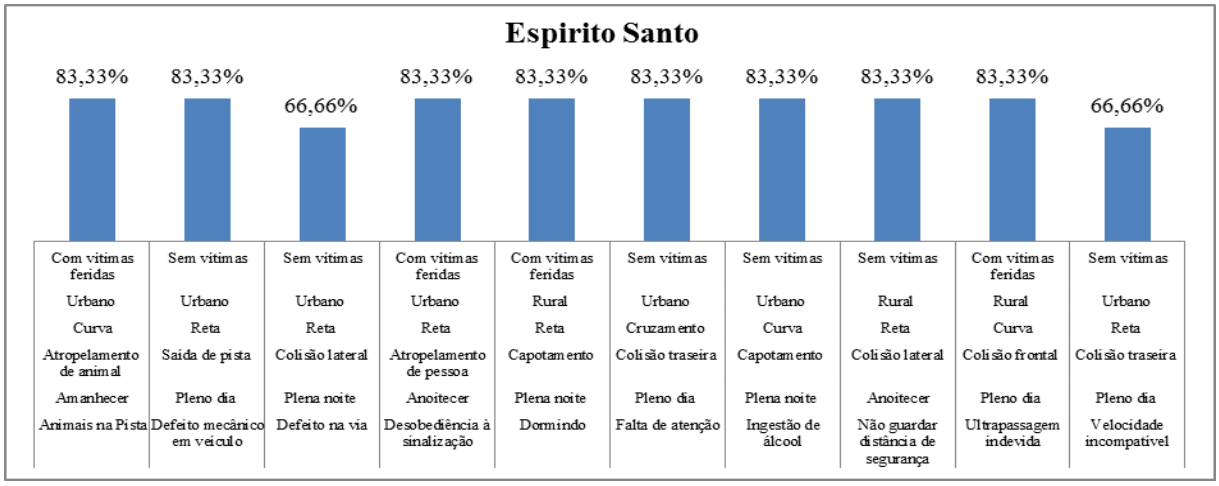


Figura 11: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, no Espírito Santo

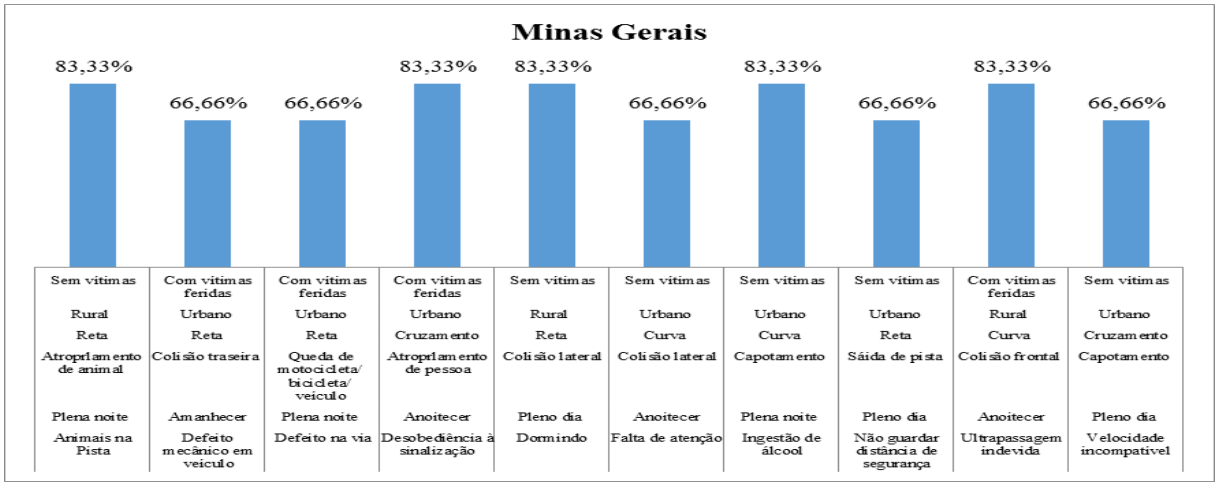


Figura 12: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, em Minas Gerais

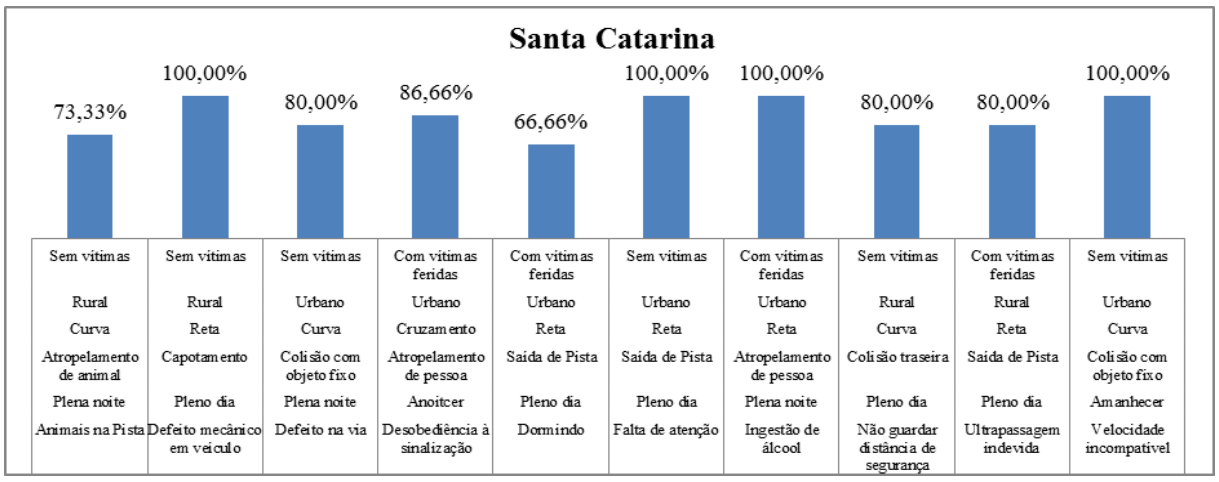


Figura 13: Probabilidade de ocorrência de acidentes, conforme caso, em Santa Catarina

Por fim, representando a região Sul, composta por três estados, são apresentados os resultados do estado de Santa Catarina na Figura 13. Constatou-se a adequação lógica dos resultados, merecendo, no entanto, atenção aos casos com probabilidade de ocorrência igual a 1. Em especial, refere-se o sétimo caso em que existe 100% de chances de resultar em um acidente com vítimas feridas (rodovia em área urbana, reta, atropelamento de pessoa, plena noite, causada por ingestão de álcool). A conclusão pode fazer sentido quando consideramos que, geralmente, no ambiente urbano são praticadas velocidades mais baixas, no entanto, por envolver atropelamento de pessoa e causada pela ingestão de álcool, admite-se ser factível haver certa probabilidade do acidente resultar em mortes e não apenas em vítimas feridas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de sistema de Raciocínio Baseado em Casos se mostrou razoavelmente adequada para a análise de acidentes de trânsito ocorridos em rodovias federais brasileiras, inclusive nas UFs com resultados não apresentados neste artigo. No entanto, algumas ressalvas devem ser feitas:

- RBC é uma técnica consistente para solução de novos problemas a partir da recuperação, aprendizado e reutilização de casos anteriores. Entretanto, diferente de outras técnicas de IA, não possui capacidade de generalização, ou seja, não consegue criar um solução para um problema inédito, a partir do aprendizado de máquina. O sistema RBC apenas retorna os casos de maior similaridade (extraídos do banco de casos) com o caso apresentado ao sistema.

- As probabilidades de ocorrência de determinada classificação de acidente, mediante uma combinação de fatores, estão associadas à similaridade do caso apresentado aos casos do banco de casos e com as respostas que os casos anteriores tiveram. Assim, o resultado de um caso, que pode parecer um contrassenso, pode ser decorrente da “solução” dos casos anteriores constantes no banco de casos.

- Embora, de antemão, não pareça muito razoável a probabilidade igual a 1, em alguns casos pode ser aceitável. O terceiro caso do estado do Amazonas, por exemplo, teve 100% de chances de resultar em acidente com vítimas feridas, o que pode ser factível quando é considerado o caso de tombamento de veículo por defeito na via. O tombamento de veículo geralmente gera, mesmo que mínima, lesão a algum ocupante do veículo, descartando a probabilidade de ilesos, por outro lado, não tem alto potencial de gerar fatalidade uma vez que o acidente é do tipo tombamento e não capotamento (em que o veículo gira em torno si mesmo em qualquer sentido).

- Os erros e inexatidões inerentes ao registro dos acidentes, especialmente quanto às causas dos acidentes, também podem ter contribuído para que alguns resultados não fossem tão coerentes. Como não é explicitado no banco de dados os limites das fases do dia, foram estabelecidos: plena noite (0h às 6h), amanhecer (6h01 às 12h), pleno dia (12h01 às 18h) e anoitecer (18h às 23h59). A divergência entre o estabelecido e o que realmente é adotado no momento do registro do acidente também pode ajudar a explicar alguns resultados incoerentes obtidos.

- No sistema RBC é importante possuir variáveis que caracterizem bem o acidente (incorrendo em um número maior de parâmetros, em geral) e, muitas vezes, desagregar parâmetros (severidade do acidente em cinco classes, por exemplo: ilesos/danos materiais,

feridos leves, feridos moderados, feridos graves e fatalidades). Por outro lado, quanto mais desagregadas e mais variáveis constituírem o sistema, mais difícil será encontrar casos com alta similaridade ao caso apresentado, reduzindo o desempenho do modelo.

Destarte, o sistema RBC mostrou-se adequado para análise de acidentes, mas carece de aperfeiçoamentos para melhoria nos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aamodt, A.; Plaza, E. (1994) Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. In: *AICOM – Artificial Intelligence Communications*. Vol. 7. Ed. IOS Press, EUA.

ABNT (1989) *NBR 10697 – Pesquisa de acidentes de trânsito*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

Araújo, F. C. C. (2009) *Redução dos Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito Através da Engenharia de Baixo Custo*. Trabalho de Conclusão de Curso, Pós-Graduação em Administração Pública, FGV.

Cardoso, G. (2006) *Modelos Para Previsão de Acidentes de Trânsito em Vias Arteriais Urbanas*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

Fernandes, A. M. R. (2003) *Inteligência Artificial: noções gerais*. Ex. 2. Ed. Visual Books, Florianópolis.

Henrique, M. C. (2002) *Anos potenciais de vida perdidos: a herança dos acidentes de trânsito para as futuras gerações – uma abordagem interdisciplinar*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

IPEA (2003) *Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras: relatório executivo*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: ANTP, Brasília.

IPEA (2015) *Acidentes de Trânsito Nas Rodovias Federais Brasileiras: Caracterização, Tendências e Custos Para a Sociedade*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: ANTP, Brasília.

NEA (2006) *Metodologia para Tratamento de Acidentes de Tráfego em Rodovias*. Núcleo de Estudos Sobre Acidentes de Tráfego em Rodovias, Florianópolis.

OPAS (2012) *Relatório mundial sobre prevenção de lesões causadas pelo trânsito*. Organização Pan-Americana da Saúde, Brasília.

Panitz, M. A. (1999) *A Segurança Viária e o Fator Humano. Verificação da presença de Álcool – Direção no Sistema de Transporte Rodoviário do RGS*. Dissertação (Mestre em Engenharia). Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS.

PRF (2016) *Acidentes*. Dados abertos. Polícia Rodoviária Federal, Brasil.

Sayed, T.; Abdelwahab, W. (1997) Using accident correctability to identify accident-prone locations. *Journal of Transportation Engineering*, v. 123m n. 2, p. 107-113.

Sinay, M. C. F.; Tamayo, A. S. (2005) Segurança Viária: Uma Visão Sistémica. In: *Anais do Rio de Transportes III*, Rio de Janeiro.

Vitorino, T. A. S. (2009) *RACIOCÍNIO BASEADO EM CASOS: CONCEITOS E APLICAÇÕES*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Urnau, E.; Kipper, L. M.; Frozza, R. (2010) Técnica de raciocínio baseado em caso para auxiliar processos de toma da de decisão estratégica. *Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – XXX ENEGEP*, São Carlos.

Wangenheim, C. G.; Wangenheim, A. (2003) *Raciocínio baseado em casos*. Ed. Manole, Barueri.

Philippe Barbosa Silva (philippe.silva@ifgoiano.edu.br)
Curso de Engenharia Civil, Campus Rio Verde, Instituto Federal Goiano
Rodovia Sul Goiana, km 01, s/ nº, Zona Rural – Rio Verde, GO, Brasil
Rosemary Janneth Llanque Ayala (jannethllanque@gmail.com)
Michelle Andrade (maccivil@gmail.com)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Riberio, SG-12, Asa Norte – Brasília, DF, Brasil
Maria de Jesus Silva Nascimento (mg.dudy@hotmail.com)
Ittalo Wilker Côrrea Machado (ittalowilker@gmail.com)
Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário do Planalto do Distrito Federal
Av. Pau Brasil, Lote 2, Águas Claras – Brasília, DF, Brasil

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 dar 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 esta 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 quarteirões (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).

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

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):

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

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 especificas 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	
Dependentes		*Média*	*Desvio Padrão*	*Média*	*Desvio Padrão*
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 *buffer*.	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 (nº)	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 *buffer*.	0,29	0,17	0,29	0,16
CompLink (m)	Média entre os comprimentos dos trechos viários dentro de cada *buffer*.	151,99	98,33	151,19	98,72
DecliveAB (%)	Desnível médio das vias no *buffer*.	0,02	0,02	0,02	0,02
DensComServ (nº/km²)	Número de estabelecimentos de comércio e serviço por quilômetro quadrado dentro de cada *buffer*.	1594,55	1656,04	1649,13	1690,19
DensPop (hab/km²)	Número médio de habitantes por km² dentro de cada *buffer*.	8559,12	4621,47	8522,32	4587,73
DensDom (dom/km²)	Número de domicílios por quilômetro quadrado dentro de cada *buffer*.	3641,67	2254,76	3624,85	2253,34
NEscolas (nº)	Número de instituições de ensino presente em cada *buffer*.	0,73	0,82	0,73	0,83
FTEscGrad (nº)	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 (nº)	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 (nº)	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 (nº)	Presença de pelo menos um semáforo no *buffer*.	1,23	1,06	1,28	1,05
Menor18 (nº)	Número de habitantes de cada *buffer* 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	
Independentes		*Média*	*Desvio Padrão*	*Média*	*Desvio Padrão*
Maior65 (nº)	Número de habitantes de cada *buffer* 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 *buffer*.	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 *buffer*.	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 *buffer*.	0,37	0,22	0,36	0,21
PIluminacao (%)	Percentual de domínio viário incluindo elementos de iluminação dentro de cada *buffer*.	0,95	0,10	0,95	0,10
PPavimento (%)	Percentual de domínio viário incluindo pavimentação das faixas de rolamento dentro de cada *buffer*.	0,93	0,15	0,93	0,16
PCalcada (%)	Percentual de domínio viário incluindo infraestruturas para pedestres dentro de cada *buffer*.	0,91	0,19	0,91	0,19
PArborizacao (%)	Percentual de domínio viário incluindo arborização dentro de cada *buffer*.	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	*Moto*	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	AcIntersecao	Registro do acidente indica ocorrência em meio de quadra ou em interseção.
Modelo binomial negativo – Frequência de atropelamentos	*Onibus*	Registro de envolvimento de ônibus urbanos ou metropolitanos no acidente.
	Moto	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	IDiv	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 Frequência de acidentes totais *AIC*: 1099,50 *Deviance:* 15,59 Amostra: 101	*Const.*	3,339	180,458	0,000		
	AcIntersecao (0;1)	0,012	7,807	0,005	1,00	0,74
	Moto (0;1)	0,034	8,303	0,004	1,00	1,50
MODELO 2 Frequência de atropelamentos *AIC:* 628,86 *Deviance:* 25,12 Amostra: 101	*Const.*	0,113	0,084	0,772		
	Onibus (nº)	0,051	7,366	0,007	1,00	0,13
	Moto (0;1)	0,035	7,321	0,007	1,00	0,09
	IDiv (%)	1,275	3,557	0,059	0,04	3,25

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. Adriazola; 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. Hoye. e M. Sorensen (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*. Wrold 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.

AVALIAÇÃO DO REALISMO E DA SENSAÇÃO DE MAL-ESTAR (*SIMULATOR SICKNESS*) NO USO DE SIMULADOR IMERSIVO DE DIREÇÃO

Christine Tessele Nodari
Maurício Castilhos de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia de Produção
Mauricio Roberto Veronez
Fabiane Bordin
Luiz Gonzaga Jr.
Universidade do Vale dos Sinos
Advanced Visualization Laboratory
Ana Paula Camargo Larocca
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Carlo Framarim

RESUMO
Este artigo tem por objetivo avaliar o realismo e a possível sensação de mal-estar (s*imulator sickness*) de um cenário desenvolvido para teste em um simulador de direção imersivo. O uso de simuladores de direção tem se mostrado uma ferramenta importante em pesquisas sobre segurança viária, permitindo estudar cenários ainda não existentes com controle sobre as variáveis de interesse e sem os riscos associados a testes em ambiente real. Acredita-se que simuladores de imersão proporcionam uma experiência realista ao condutor, o que é importante para avaliar como será seu comportamento em um ambiente real. Os testes realizados neste estudo, envolvendo 16 condutores voluntários, indicaram a necessidade de melhorias no realismo que estão associadas à percepção das velocidades e à redução da percepção do mundo real quando do uso do simulador. Quanto ao mal-estar provocado pela condução no simulador, o cenário estudado mostrou provocar sintomas de intensidade leve a moderada.

ABSTRACT
This paper aims at evaluating the realism and the potential simulator sickness of a scenario developed for testing in an immersive driving simulator. The use of driving simulators has shown to be an important tool in road safety research, allowing the study of not yet existing scenarios with control over the variables of interest and without the risks associated with tests in real environment. It is believed that immersion simulators provide a realistic driving experience, which is important in evaluating how drivers will behave in a real life environment. The tests performed in this study, involving 16 volunteer drivers, indicated the need for improvements in realism that are associated with the perception of velocities and the reduction of real world perception when using the simulator. As for the simulator sickness due to driving on the simulator, the scenario studied caused mild to moderate intensity symptoms.

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos na área computacional oferecem um conjunto de ferramentas de apoio às pesquisas de segurança viária. A possibilidade de testar diferentes configurações de cenários e avaliar o desempenho de motoristas nestes cenários por meio de simuladores de direção é um exemplo do uso de tecnologia para o avanço do conhecimento na área de segurança viária.

Visto que o nível de segurança de uma via é função da combinação dos elementos viário-ambiental, veicular e humano, torna-se importante entender como se dá, na prática, a interação desses elementos. O uso de simuladores de direção em estudos sobre a interação via/veículo/homem se apresenta como uma importante ferramenta para o desenvolvimento de melhorias no ambiente viário ambiental e na sua interface com os usuários das vias. O conhecimento gerado por esses estudos é capaz de fornecer informações confiáveis para a

promoção de ambientes viários mais seguros, uma vez que é possível, no ambiente virtual, especificar os níveis das variáveis de interesse permitindo um maior controle do pesquisador sobre tais variáveis, quando comparado ao que ocorre em estudos observacionais. Nesses últimos, os efeitos de variáveis de interesse sobre a segurança são investigados a partir da análise de circunstâncias reais, onde ocorreram mudanças em alguma variável. Usando simuladores de direção é possível desenhar cenários controlados com combinações de níveis e de tipos de variáveis. O caráter experimental desse estudo aumenta a quantidade de informações obtidas e amplia as possibilidades de análises.

O uso de simuladores se torna especialmente interessante em pesquisas onde são investigados cenários ou situações ainda não existentes. Assim, pode-se desenhar tais cenários ou situações e, por meio do ambiente virtual, avaliar o comportamento dos usuários do sistema viário nesse ambiente. As vantagens da adoção de simuladores de direção no estudo da segurança viária têm sido amplamente defendidas em estudos científicos e práticos (Bella, 2008). Em parte dos estudos, também são elencadas seus desafios e suas limitações. Entre os principais desafios, destaca-se a capacidade dos simuladores de gerarem uma percepção realista a cerca das velocidades e das distâncias praticadas no ambiente virtual e da sensação de controle do veículo (FHWA, 2015). A principal limitação dos simuladores de direção está associada ao chamado *simulator sickness,* que é a sensação de mal-estar provocado pelo uso do simulador (Classen *et al*., 2011).

Nesse contexto, este artigo objetiva testar, a partir do desenvolvimento de um cenário rodoviário, o realismo do cenário desenvolvido e a sensação de mal-estar enfrentada pelos condutores voluntários no uso do simulador. Este artigo está organizado em 5 seções incluindo essa introdução. A seção 2 dedica-se a apresentar o embasamento teórico sobre simuladores de direção e seu uso em estudos de segurança viária. Na seção 3, é apresentado o desenvolvimento do estudo realizado. Por fim, as seções 4 e 5 apresentam, respectivamente, as análises dos resultados obtidos e as conclusões geradas pelo estudo.

2. OS SIMULADORES DE DIREÇÃO E SEU USO EM ESTUDOS DE SEGURANÇA VIÁRIA

Um simulador de direção consiste de um sistema que simula um veículo equipado com controles normais como volante, embreagem, pedais de acelerador e freio permitindo que uma determinada pessoa possa conduzir um veículo por uma rodovia (Vieira e Larocca, 2017); Lucas *et al*., 2013; Benedetto *et al*., 2011). Segundo Bella (2008), inúmeras pesquisas têm demonstrado que o uso de simuladores de condução são uma boa alternativa em relação a estudos de campo por diversas razões, como sua eficiência, baixo custo, segurança, controle experimental e facilidade de coleta de dados. Já são encontrados, atualmente, alguns estudos que utilizam simuladores de direção como metodologia prática para resolução de problemas de diferentes naturezas (Xiong *et al*., 2007; Kelly *et al*., 2007; FHWA, 2015).

Dentre as razões que justificam o uso de simuladores de direção nos estudos de tráfego estão: (i) permitir a análise de alterações no projeto geométrico; (ii) permitir a investigação do efeito de dispositivos de segurança e de sinalização que ainda não existem e são caros para serem construídos apenas para teste e (iii) auxiliar no estudo do comportamento do usuário na via. Outra razão bastante forte para usar simuladores de direção se apoia no fato de que nele as situações potencialmente perigosas podem ser investigadas sem riscos à vida. Adicionalmente, os motoristas podem ser repetidamente confrontados com eventos que podem ocorrer raramente na realidade (Lucas *et al*., 2013).

Para garantir a consistência de um cenário de um simulador de direção, deve-se identificar quais fatores influenciam o comportamento do condutor para replicar as circunstâncias essenciais em cada experimento. A partir da simulação de cenários, onde as propriedades das rodovias e os padrões de tráfego são controlados, é possível estimar as diversas características normativas do comportamento dos motoristas que são difíceis de analisar a partir dos estudos de observação do mundo real. Desta forma, as respostas de um condutor podem ser medidas, estimadas e controladas para diversos cenários de investigação em um simulador apropriado (Figueira *et al*., 2014; Papantoniou *et al*., 2013; Andersen, 2011).

Nessa última década, o simulador de condução tornou-se uma ferramenta importante para auxiliar no desenvolvimento de projetos geométrico de rodovias (Papantoniou *et al*., 2013), bem como para estudar as performances do motorista sob diferentes condições de tráfego (Yannis *et al*., 2011; Bruyas *et al*., 2009; Reimer *et al*., 2010; Kaber *et al*., 2012; Rakauskas *et al*., 2008; Young *et al*., 2008), em questões cognitivas para avaliar o comportamento humano na tarefa de condução sob efeito do álcool, drogas e fadiga (Rakauskas *et al*., 2008; Harrison *et al*., 2011; Young *et al*., 2008), em análises do ambiente rodoviário (Laberge *et al*., 2004; Liang *et al*., 2010; Muhrer *et al*., 2011; Metz *et al*., 2011; Kaber *et al*., 2012), no estudo da segurança de tráfego em interseções sinalizadas (Bella, 2008; 2009), na investigação de distrações causadas por telefone celular, música, conversação e sinais de advertências (Kass *et al*., 2007; Drews *et al*., 2008; Schlehofer *et al*., 2010; Kaber *et al*., 2012; Maciej *et al*., 2011; Young *et al*., 2009).

De acordo com a FHWA (2015), os simuladores podem ser utilizados tanto de maneira formal, por meio de experimentos controlados, quanto informalmente, quando os projetistas utilizam simuladores de condução para testar seus projetos e avaliar rodovias implantadas e em funcionamento. Como exemplo de avaliação formal, pode-se citar os estudos realizados por Kelly *et al*. (2007), Xiong *et al*. (2007), Figueira *et al*. (2014) e Vieira e Larocca (2017), para avaliar inconsistências de projeto de uma rodovia e para definir modelos de previsão de velocidades de aceleração e desaceleração, fator de atrito e distâncias de visibilidade extraídos do simulador.

A adequada fidelidade do simulador, que inclui o *hardware* e *software*, bem como a modelagem do ambiente 3D realístico, são componentes importantes para se utilizar simuladores de direção no planejamento e na operação de infraestrutura de transportes (FHWA, 2015). Usualmente, os simuladores são classificados de acordo com a tecnologia empregada e com o tipo de aplicação realizada. Para a visualização e simulação tridimensional, existem diversos tipos de simuladores, mas basicamente podem ser divididos em simuladores convencionais com uso de monitores ou projeção e simuladores de imersão ou realidade virtual (Kühn e Hendrick, 2010; Tori *et al*., 2006; Pinho e Rebelo, 2006).

Utiliza-se o termo realidade virtual para definir uma imagem ou ambiente tridimensionais gerados por computador, nos quais uma pessoa pode interagir por meio de equipamentos eletrônicos e multissensoriais de visualização, tais como um *Head Mounted Display* (HMD). Os dispositivos HMD podem reproduzir a sensação de imersão em um mundo virtual (Freina e Ott, 2015). Freina e Ott (2015) dizem que, para uma completa sensação de imersão, nossos cinco sentidos devem estar envolvidos. Apesar disso, a maioria dos dispositivos de imersão atuais, como os HMDs, estimulam apenas a visão e a audição.

Ao se conduzir estudos com simuladores de direção, inevitavelmente, os participantes apresentam problemas de mal-estar, como náusea, desorientação e distúrbios no sistema motor ocular (Kennedy *et al*., 1993). Segundo Classen *et al*. (2011), *Simulator Sickness* (SS) – mal-estar provocado pela simulação – é derivado de *Motion Sickness* (MS) – mal-estar provocado pela movimentação –, sendo a ocorrência de SS ocasionada devido "à incapacidade de simular o ambiente em movimento com precisão suficiente" (Johnson, 2005, p. 22).

Existem três populares teorias que buscam explicar a ocorrência de MS e SS. Usualmente, a mais aceita é a teoria do conflito sensorial, que propõe a ocorrência de MS e SS devido à desarmonia entre os diferentes sistemas sensoriais, principalmente os sistemas motor e vestibular (Reason e Brand, 1975, *apud* Brooks *et al*., 2010). A teoria da estabilidade postural propõe que as forças que atuam sobre o corpo para manter o equilíbrio são intimamente relacionadas com o ambiente ao redor, e a necessidade de aprender a manter o equilíbrio em um ambiente novo faz surgir MS (Riccio e Stoffregen, 1991). Conforme a teoria do movimento ocular de Ebenholtz (1992), certos estímulos visuais causam movimentos oculares que geram tensões na musculatura dos olhos, propiciando a astenopia e, por consequência, o surgimento de MS.

Money (1970) faz um profundo estudo sobre os efeitos causados por MS. Entre os mais relevantes, vê-se: inatividade, diminuição da espontaneidade, da coordenação muscular, do desempenho em diversas tarefas psicomotoras e da capacidade de estimar o tempo. Já entre os sintomas mais comuns gerados por SS estão: desconforto geral, fadiga, dor de cabeça, fadiga ocular, dificuldade de foco, salivação excessiva, transpiração, náuseas, dificuldade de concentração, visão turva, tonturas, vertigem, falta de apetite e eructação (Kennedy *et al*., 1993). Além disso, fatores que propiciam a ocorrência de SS também foram estudados (Classen *et al*., 2011; Johnson, 2007; Kennedy e Frank, 1985; Kolasinski, 1995).

Classen *et al*. (2011) concluiu que existem inúmeros fatores relacionados ao SS, tais como fatores humanos (idade e gênero dos participantes da pesquisa), fatores do ambiente (taxas baixas de quadros por segundo na tela, horizontes muito claros e/ou muito detalhados, não calibração das partes mecânicas do simulador) e fatores de atividade (direção em alta velocidade, propiciando a ocorrência de vecção). Conforme Klüver (2016), SS afeta a validação do simulador, desvalorizando alguns dos parâmetros de desempenho, conforme o que estudos anteriores haviam concluído (Kennedy e Frank, 1985; Uliano *et al*., 1986; Warner, 1993).

3. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Para atender ao objetivo deste estudo, foram realizados testes de condução usando simulador de direção imersivo em um cenário rodoviário caracterizado pela presença de um desvio em uma rodovia de pista dupla. O estudo foi realizado em 4 macro etapas. Primeiramente, foi construído o cenário de estudo; em seguida, o cenário desenvolvido foi percorrido por um grupo de condutores voluntários. A terceira etapa consistiu em submeter os condutores voluntários a uma pesquisa sobre a experiência de condução no simulador e, por fim, na quarta etapa, foram analisadas as respostas aos questionários desenvolvidos para a pesquisa do realismo do cenário desenvolvido e da sensação de mal-estar enfrentada pelos condutores voluntários no uso do simulador.

3.1. O simulador "Vizlab"

O simulador de direção imersivo utilizado no estudo foi desenvolvido pelo *Advanced Visualization & Geoinformatics Lab* (VizLab) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Ele foi amparado na nova geração do Óculus Rift (Oculus, 2017) que foi idealizado, inicialmente, para fins de jogos digitais e que vem sendo empregado para diferentes finalidades associadas a diversas áreas do conhecimento. O simulador consiste do Óculus Rift integrado ao sistema Logitech G27 Racing Wheel (Figura 1) como uma alternativa econômica para avaliar projetos geométricos de rodovias e simulações em transportes em ambiente imersivos.



Figura 1: Ilustração dos Óculos Rift e do sistema Logitech G27 Racing Wheel (fonte: Oculus, 2017; Playseat, 2017)

O sistema para integração do Rift com Logitech G27 foi a plataforma Unity. A abordagem exigiu uma configuração do *dual-motor force feedback mechanism* – o comando de troca de marchas bem como os pedais de aceleração e embreagem –, além do desenvolvimento de novas ferramentas para a renderização, animação e interação em ambiente imersivo 3D. O desenvolvimento dos cenários para os testes de condução foi integrado ao simulador imersivo com auxílio de *Head Mounted Display* (HMD) conforme ilustra a Figura 2.



Figura 2: Simulador de direção imersivo desenvolvido pelo *Advanced Visualization & Geoinformatics Lab* (VizLab/UNISINOS)

3.2. Desenvolvimento do cenário de estudo

O cenário de análise no simulador foi baseado no estudo de Domenichini *et al*. (2017) com algumas adaptações para a realidade rodoviária brasileira – principalmente em relação à legislação de sinalização vertical. Para isto, utilizou-se o Manual de Sinalização de Obras e Emergência em Rodovias e o Manual de Sinalização Rodoviária (DNIT, 2010a; DNIT, 2010b).

O trecho rodoviário desenvolvido no estudo, apresentado esquematicamente na Figura 3, possui 2 faixas em cada sentido mais acostamento no lado direito, além de um canteiro central. A largura de cada faixa é de 3,75 m, do acostamento de 3 m e do canteiro central de 2,60 metros. O limite máximo de velocidade definido para o trecho é de 110 km/h sendo reduzido ao se aproximar da zona de desvio. As condições climáticas no simulador são de luz do dia e pavimento seco.

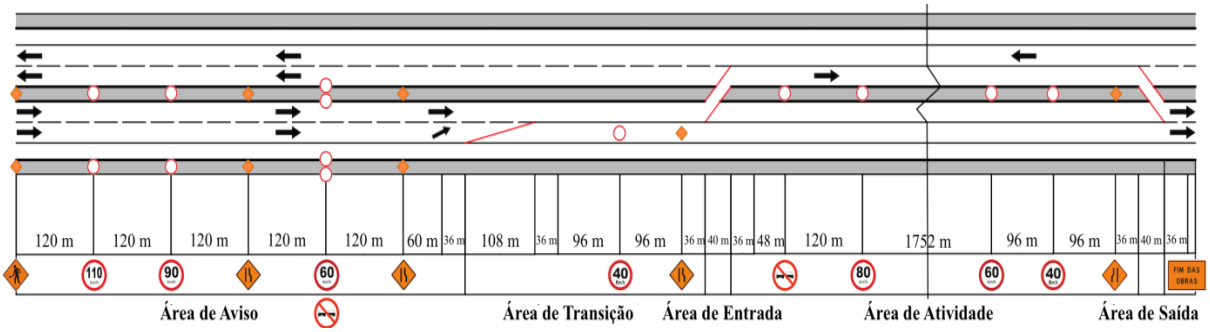


Figura 3: Croqui esquemático do trecho estudado

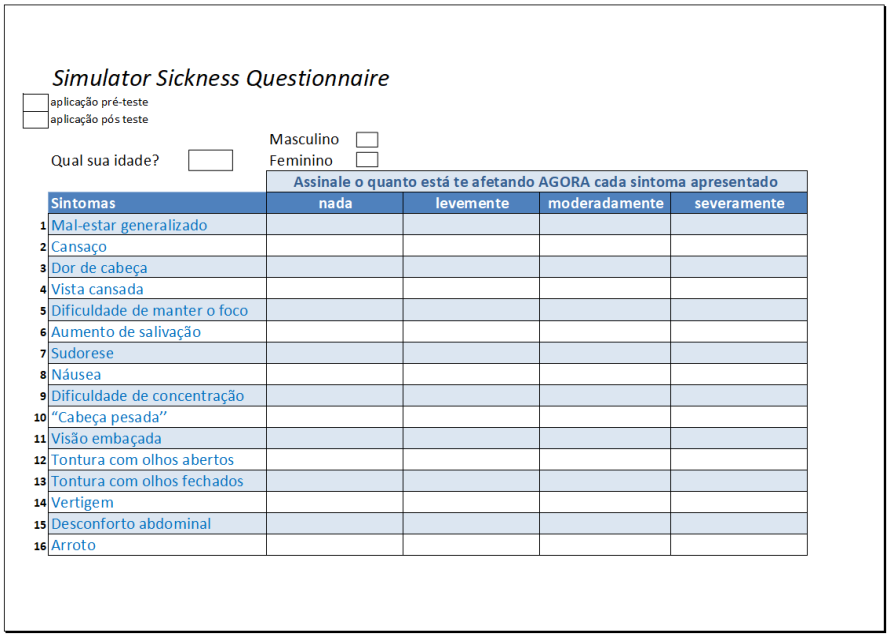
3.3. Participantes

O estudo foi realizado com uma amostra de 16 condutores (7 mulheres e 9 homens) dentre alunos e professores da Universidade do Vale dos Sinos (UNISINOS) e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As idades variaram de 22 a 52 anos (média: 31 anos; desvio padrão: 10,05 anos). O menor tempo relatado de possessão de Carteira Nacional de Habilitação (CNH) foi de 2 anos e o maior de 33 anos (média: 11,67 anos; desvio padrão: 10,06 anos). Sete participantes relataram que dirigem menos de 1 vez por semana, um disse que conduz entre 1 e 3 vezes por semana e os outros oito declararam que dirigem de 4 a 7 vezes por semana.

3.4. Coleta de dados sobre realismo e mal-estar no uso do simulador

A coleta de dados para a avaliação do realismo do cenário desenvolvido e da sensação de mal-estar decorrente da condução no ambiente simulado foi feita por meio de questionários respondidos pelos condutores voluntários. A sensação de mal-estar decorrente da condução foi medida utilizando-se uma adaptação do *Simulator Sickness Questionnaire*, proposta por Carvalho *et al*. (2011), originalmente desenvolvido por Kennedy *et al*. (1993) conforme apresentado na Figura 4.

O questionário de avaliação do realismo do cenário (Figura 5) foi desenvolvido a partir dos requisitos que definem um simulador de condução realista, apresentados pela *Federal Highway Administration* (FHWA, 2015). São eles: (i) a percepção de distâncias, velocidade e tempo de reação do motorista ao visualizar objetos em um ambiente simulado; (ii) o controle de velocidade do carro a partir dos dispositivos de aceleração e frenagem incorporados no simulador e (iii) a resposta do veículo às ações do condutor.



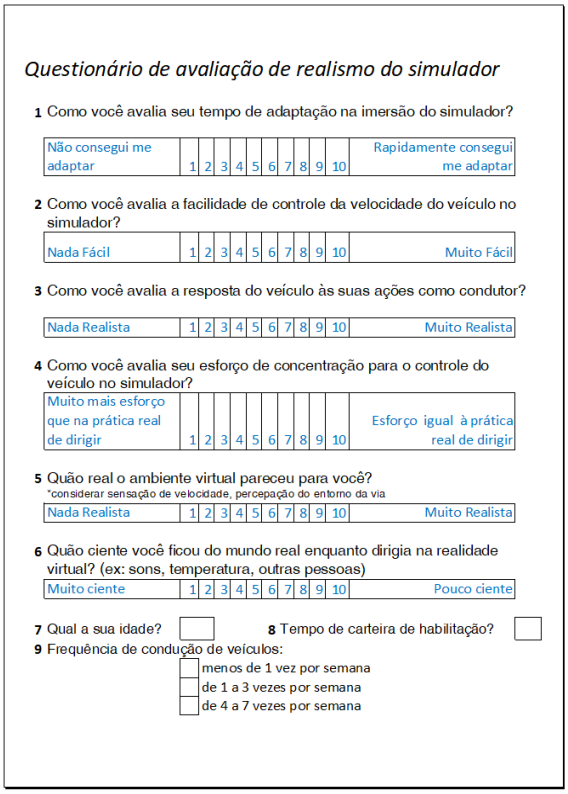
Simulator Sickness Questionnaire

☐ aplicação pré-teste
☐ aplicação pós teste

Qual sua idade? ☐ Masculino ☐ Feminino ☐

	Sintomas	Assinale o quanto está te afetando AGORA cada sintoma apresentado: nada	levemente	moderadamente	severamente
1	Mal-estar generalizado				
2	Cansaço				
3	Dor de cabeça				
4	Vista cansada				
5	Dificuldade de manter o foco				
6	Aumento de salivação				
7	Sudorese				
8	Náusea				
9	Dificuldade de concentração				
10	"Cabeça pesada"				
11	Visão embaçada				
12	Tontura com olhos abertos				
13	Tontura com olhos fechados				
14	Vertigem				
15	Desconforto abdominal				
16	Arroto				

Figura 4: Questionário usado na avaliação do mal-estar decorrente do uso do simulador (fonte: adaptado de Carvalho *et al*., 2011)



Questionário de avaliação de realismo do simulador

1 Como você avalia seu tempo de adaptação na imersão do simulador?

Não consegui me adaptar | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | Rapidamente consegui me adaptar

2 Como você avalia a facilidade de controle da velocidade do veículo no simulador?

Nada Fácil | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | Muito Fácil

3 Como você avalia a resposta do veículo às suas ações como condutor?

Nada Realista | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | Muito Realista

4 Como você avalia seu esforço de concentração para o controle do veículo no simulador?

Muito mais esforço que na prática real de dirigir | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | Esforço igual à prática real de dirigir

5 Quão real o ambiente virtual pareceu para você?
*considerar sensação de velocidade, percepção do entorno da via

Nada Realista | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | Muito Realista

6 Quão ciente você ficou do mundo real enquanto dirigia na realidade virtual? (ex: sons, temperatura, outras pessoas)

Muito ciente | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 | Pouco ciente

7 Qual a sua idade? ☐ **8** Tempo de carteira de habilitação? ☐

9 Frequência de condução de veículos:
☐ menos de 1 vez por semana
☐ de 1 a 3 vezes por semana
☐ de 4 a 7 vezes por semana

Figura 5: Questionário usado na avaliação do realismo da condução no cenário teste

3.5. Procedimentos adotados no experimento

Cada voluntário que participou do experimento foi submetido ao questionário adaptado do SSQ – *Simulator Sickness Questionnaire* – e ao questionário de avaliação de realismo. O questionário de avaliação do mal-estar foi respondido antes (pré-teste) e depois (pós-teste) da condução no simulador. Após responder questionário SSQ, cada condutor percorreu o trecho

uma vez para ambientação antes de iniciar o teste de condução propriamente dito. Essa ambientação tem por objetivo adaptar o condutor ao uso do simulador. Após esse primeiro contato com o simulador, o condutor voluntário foi avisado sobre o início do teste e, em seguida, percorreu novamente todo o cenário. O percurso do cenário desenvolvido, seguindo as velocidades recomendadas, é realizado em aproximadamente 8 minutos. Esse valor inclui o percurso de adaptação e de teste. Ao final da condução, os condutores responderam aos questionários de avaliação do mal-estar e de avaliação do realismo do simulador.

4. RESULTADOS DOS QUESTIONÁRIOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos partir dos questionários aplicados na pesquisa estão organizados na Figura 6 e na Figura 7. Quanto à sensação de mal-estar decorrente da condução no ambiente simulado, foi constatado que, após o uso do simulador, houve um pequeno aumento da intensidade da maioria dos sintomas nos voluntários exceto “cansaço”, “dor de cabeça”, “aumento de salivação”, “arroto”, “dificuldade de manter o foco” e “dificuldade de concentração”. Para os dois últimos, houve relato de diminuição de intensidade.

A análise foi realizada por uma média ponderada das frequências de respostas considerando as notas 1, 2, 3 e 4 para “nada”, “levemente”, “moderadamente” e “severamente” respectivamente. Desta forma, o círculo de raio 1 na Figura 6 indica a menor intensidade possível da escala. Na região de cor azul, é mostrada as médias ponderadas dos sintomas relatados pelos participantes antes da condução no simulador. Já pela linha vermelha é possível visualizar o aumento dos sintomas, após o teste, pela distância até a região azul.

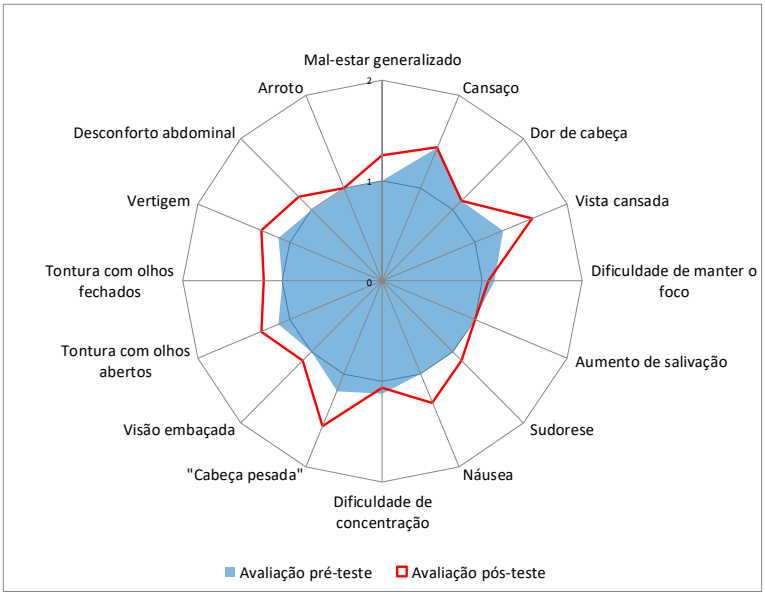


Figura 6: Resultado do questionário sobre mal-estar decorrente da condução em simulador

Esses resultados indicam que vários participantes sentiram pelo menos algum mal-estar após utilizar um simulador de imersão conforme amplamente relatado na literatura. Percebe-se que sintomas relacionados à atenção tiveram uma redução de intensidade após o uso do simulador. A “vista cansada”, “náusea” e “cabeça pesada” foram os sintomas que tiveram as maiores variações de intensidade para pior após o teste.

Importante destacar que, considerando a escala semântica de respostas utilizada (nada,

levemente, moderadamente e severamente), as respostas se concentraram entre “nada” e “levemente”. Nenhum dos sintomas foi indicado como severo. Os sintomas reportados como moderados após uso do simulador foram: “mal-estar generalizado” (1 voluntário), “cansaço” (1 voluntário), “vista cansada” (2 voluntários), “sudorese” (1 voluntário), “náusea” (1 voluntário), “vertigem” (2 voluntários) e “desconforto abdominal” (1 voluntário). Isso sugere que os sintomas presentes não foram de grande severidade para o cenário e para período de tempo de imersão testado. A intensidade desses sintomas está diretamente associada à duração da exposição ao ambiente imersivo. Portanto, o tempo de realização dos testes é uma variável importante de ser controlada para evitar tais problemas.

Quanto à avaliação das percepções dos condutores voluntários sobre o realismo do cenário testado, foram realizadas médias aritméticas da escala de 1 a 10 das respostas do questionário. O item mais bem avaliado pelos voluntários foi o “tempo de adaptação no simulador” com nota 8,63 e desvio-padrão 0,96. A nota sugere que os voluntários não tiveram dificuldade para se adaptar ao uso do simulador. O item “resposta do veículo às ações do condutor”, com nota 8,44 e desvio-padrão 1,21, foi o segundo item mais bem avaliado e reflete um bom desempenho do simulador quanto à interação entre veículo e usuário.

Os itens “esforço de concentração para controle do veículo”, “realidade do ambiente virtual” e “facilidade de controle de velocidade” tiveram notas finais 7,38, 7,38 e 7,31 e desvios-padrão 1,89, 1,67 e 1,96 respectivamente, indicando que melhorias nesses quesitos têm grande potencial de impacto no incremento do realismo do simulador estudado. O item “percepção do mundo real”, que buscou medir o quanto o voluntário estava ciente do que ocorria fora da imersão, teve nota 5,75 e desvio-padrão 2,35 – a nota foi a mais baixa entre os itens avaliados. Pela avaliação desse quesito, percebe-se a importância do controle das condições do ambiente de entorno onde o simulador é utilizado evitando ruídos não compatíveis com os encontrados no ambiente imersivo simulado.

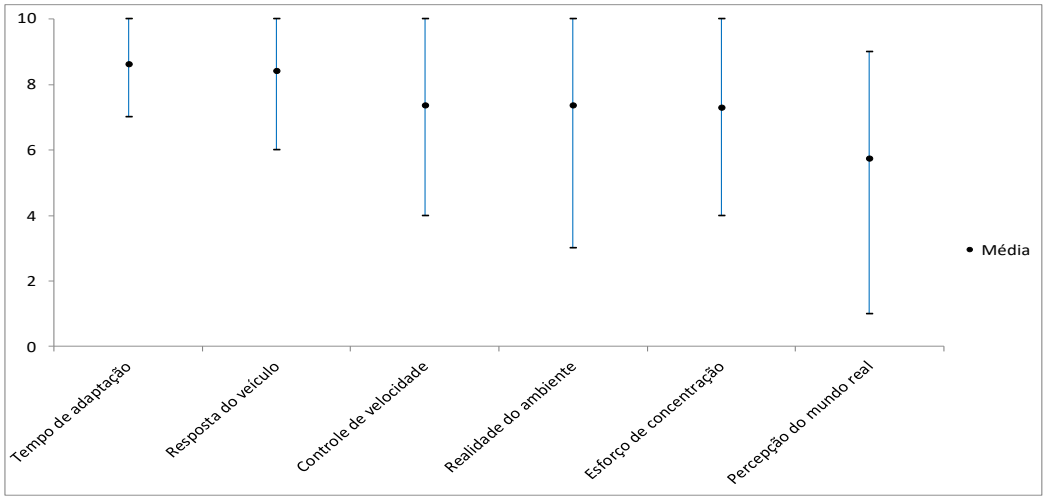


Figura 7: Resultado do questionário sobre realismo no simulador

As notas médias e as maiores e menores notas de cada questão estão indicadas na Figura 7. A observação dos pontos de notas mínimas indica a importância de concentrar esforços em prover melhorias que atendam à redução da percepção do mundo real enquanto o condutor estiver realizando os testes em ambiente imersivo.

Seis entre os dezesseis condutores incluíram no questionário comentários referentes à sensação da velocidade no simulador ser inferior à velocidade mostrada no velocímetro. Este aspecto contribui para a redução do realismo no cenário testado.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo realizar uma avaliação do realismo de um cenário rodoviário implementado em simulador de direção imersivo e verificar a sensação de mal-estar enfrentada por condutores voluntários no cenário estudado. O cenário implementado para avaliação consistiu de um trecho rodoviário de 5,4 km de pista dupla com um desvio decorrente de obras na pista.

Os simuladores de direção têm tido uso crescente em estudos sobre segurança viária. Entre as vantagens do seu uso estão a possibilidade de investigação do efeito de dispositivos de segurança e de sinalização que ainda não existem e o baixo custo em comparação a testes realizados em ambiente real. Entre as principais dificuldades, destacam-se a limitada capacidade dos simuladores de gerarem uma percepção realista a cerca das velocidades e das distâncias praticadas no ambiente virtual e a sensação de mal-estar provocado pelo uso do simulador.

Para atender o objetivo do artigo, 16 condutores voluntários foram submetidos ao cenário rodoviário desenvolvido. Os condutores responderam a dois questionários: (i) sobre realismo do simulador e (ii) sobre o mal-estar provocado por ele. Entre os resultados obtidos, destacam-se os seguintes aspectos:

- os principais efeitos relacionados a mal-estar do condutor foram: “vista cansada”, “cabeça pesada”, “cansaço”, “vertigem” e “náusea”. Tais efeitos são relatados como frequentes pela literatura revisada;
- a sensação de mal-estar no cenário testado, onde os condutores foram submetidos a período de uso do simulador de aproximadamente 8 minutos, foi predominantemente avaliada entre leve e moderada;
- 6 entre 16 condutores relataram sensação de velocidade abaixo da velocidade indicada pelo velocímetro do veículo;
- o realismo da condução foi satisfatoriamente avaliado para fins de pesquisa e treinamento (notas acima de 7 em escala de 1 a 10) exceto pela questão de percepção do mundo real durante o teste;
- acredita-se que um dos fatores que impactaram na baixa nota atribuída para percepção do mundo real durante o experimento foi o fato de que os voluntários conversaram na sala onde o simulador se encontrava enquanto os demais voluntários realizavam o teste. Isso caracteriza um problema protocolar que deve ser corrigido em estudos futuros e que pode ter comprometido a avaliação do quesito “percepção do mundo real”, no entanto não afetou a avaliação do mal-estar.

Cabe destacar que o uso de simulador de direção é uma ferramenta importante nas pesquisas sobre segurança viária permitindo estudar cenários com um alto nível de controle sobre as variáveis de interesse e sem os riscos associados a testes em ambiente real. Os resultados dos testes realizados com os 16 condutores voluntários indica que o simulador testado necessita de melhorias, prioritariamente, no realismo da sensação de velocidade praticada e na redução da percepção do mundo real quando do uso do simulador. Por fim, os resultados sugerem que

tempos de condução no ambiente imersivo na ordem de 8 minutos resultam em baixo impacto na sensação de mal-estar decorrente do uso do simulador (*simulator sickness*).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andersen, G. J. (2011) Sensory and Perceptual Factors in the Design of Driving Simulation Displays. *In*: Fisher, D. L.; M. Rizzo; J. K. Caird e J. D. Lee. *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology*. CRC Press, Taylor & Francis Group. 8-1.

Bella, F. (2008) Driving Simulator for Speed Research on Two-Lane Rural Roads. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40, p. 1078-1087.

Bella, F. (2009) Can the Driving Simulators Contribute to Solving the Critical Issues in Geometry Design. Paper No. 09-0152, CD-ROM, 88th Annual Conference of the Transportation Research Board, Washington, D.C., Jan.

Benedetto, S.; M. Pedrotti; L. Minin; T. Baccino; A. Re e R. Montanari (2011) Driver Workload and Eye Blink Duration. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 199-208.

Brooks, J. O.; R. R. Goodenough; M. C. Crisler; N. D. Klein; R. L. Alley; B. L. Koon; W. C. Logan Jr.; J. H. Ogle; R. A. Tyrrell e R. F. Wills (2010) Simulator Sickness During Driving Simulation Studies. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42(3), p. 788–796.

Bruyas, M.; C. Brusque; S. Debailleux; M. Duraz e I. Aillerie (2009) Does Making a Conversation Asynchronous Reduce the Negative Impact of Phone Call on Driving? *Transportation Research Part F*, v. 12, p. 12-20.

Carvalho, M. R. de; R. T. da Costa e A. E. Nardi (2011) Simulator Sickness Questionnaire: Tradução e Adaptação Transcultural. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, v. 60(4), p. 247-252.

Classen, S.; M. Bewernitz e O. Shechtman (2011) Driving Simulator Sickness: An Evidence-Based Review of the Literature. *The American Journal of Occupation Therapy*, v. 65(2), p. 179–188.

DNIT (2010a) Manual de Sinalização de Obras e Emergência em Rodovias. Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro.

DNIT (2010b) Manual de Sinalização Rodoviária. Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro.

Domenichini, L.; F. la Torre; V. Branzi e A. Nocentini (2017) Speed Behaviour in Work Zone Crossovers. A Driving Simulator Study. *Accident Analysis and Prevention*, v. 98, p. 10-24.

Drews, F. A.; M. Pasupathi e D. L. Strayer (2008) Passenger and Cell Phone Conversations in Simulated Driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, v. 14, p. 392-400.

Ebenholtz, S. M. (1992) Motion Sickness and Oculomotor Systems in Virtual Environments. *Presence*, v. 1(3), p. 302–305.

FHWA (2015) Federal Highway Administration. *Making Driving Simulators More Useful for Behavioral Research - Simulator Characteristics Comparison and Model-Based Transformation: Summary Report*. Brian Philips and Tom Morton (*eds.*). U.S. Department of Transportation, 36p.

Figueira, A. C.; A. P. C. Larocca; J. A. Quintanilha e F. I. Kabbach Jr (2014) The Use of Three-Dimensional Visualization Tools to Detect Deficiencies in Geometric Roadway Designs. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 20(1), p. 54-69.

Freina, L. e M. Ott (2015) A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State of the Art and Perspectives. *Proceedings of the 11th International Scientific Conference eLearning and Software for Education Bucharest*, April 23-24.

Harrison, E. e M. Fillmore (2011) Alcohol and Distraction Interact to Impair Driving Performance. *Drug and Alcohol Dependence*, v. 117, p. 31-37.

Johnson, D. M. (2005) *Introduction to and Review of Simulator Sickness Research* (Report No. 1832). Arlington, VA: US. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.

Johnson, D. M. (2007) *Simulator Sickness Research Summary*. Ft. Rucker, AL: US. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.

Kaber, D.; Y. Liang; Y. Zhang; M. Rogers e S. Gangakhedkar (2012) Driver Performance Effects of Simultaneous Visual and Cognitive Distraction and Adaptation Behaviour. *Transportation Research Part F*, v. 15, p. 491-501.

Kass, S.; K. Cole e C. Stanny (2007) Effects of Distraction and Experience on Situation Awareness and Simulated Driving. *Transportation Research Part F*, v. 10, p. 321-329.

Kelly, M. J.; S. Lassacher e Z. Shipstead (2007) A High-Fidelity Driving Simulator as a Tool for Design and Evaluation of Highway Infrastructure Upgrades. The State of Montana Department of Transportation, 27p.

Kennedy, R. S. e L. H. Frank (1985) *A Review of Motion Sickness with Special Reference to Simulator Sickness* (Report No. NAVTRAEQUIPCEN 81-C-0105-16). Orlando, FL: Naval Training Equipment Center.

Kennedy, R. S.; N. E. Lane; K. S. Berbaum e M. G. Lilienthal (1993) Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, v. 3(3), p. 203–220.

Klüver, M.; C. Herrigel; C. Heinrich; H. Schöner e H. Hecht (2016) The Behavioral Validity of Dual-Task Driving Performance in Fixed and Moving Base Driving Simulators. *Transportation Research Part F*, v. 37, p. 78–96.

Kolasinski, E. M. (1995) *Simulator Sickness in Virtual Environments* (Report No. 1027). Alexandria, VA: US. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.

Kühn, W. e V. Hendrick (2010) *Using Visulization for the Design Process of Rural Road*.

Laberge, J.; C. Scialfa; C. White e J. Caird (2004) Effects of Passenger and Cellular Phone Conversations on Driver Distraction. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1899, p. 109-116.

Liang, Y. e J. D. Lee (2010) Combining Cognitive and Visual Distraction: Less than the Sum of its Parts. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42 (3), p. 881-890.

Lucas, F. R.; L. E. A. Russo; R. S. Kawashima; A. C. Figueira; A. P. C. Larocca e F. I. Kabbach (2013) Uso de Simuladores de Direção Aplicado ao Projeto de Segurança Viária. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 19(2), p. 341-352.

Maciej, J.; M. Nitsch e M. Vollrath (2011) Conversing While Driving: The Importance of Visual Information for Conversation Modulation. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 512-524.

Metz, B.; N. Schömig e H. Krüger (2011) Attention During Visual Secondary Tasks in Driving: Adaptation to the Demands of the Driving Task. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 369-380.

Money, K. (1970) Motion Sickness. *Physiological Review*, v. 50, p. 1–39.

Muhrer, E. e M. Vollrath (2011) The Effect of Visual and Cognitive Distraction on Driver's Anticipation in a Simulated Car Following Scenario. *Transportation Research Part F*, v. 14, p. 555-566.

Mullen, N. W.; B. Weaver; J. A. Riendeau; L. E. Morrison e M. Bédard (2010) Driving Performance and Susceptibility to Simulator Sickness: Are They Related? *American Journal of Occupation Therapy*, v. 64(2, SI), p. 288–295.

Oculus (2017) *Oculus Rift*. Disponível em: <https://www.oculus.com/rift/>. Acesso em: 06 jul. 2017.

Papantoniou, P.; E. Papadimitriou e G. Yannis (2013) Assessment of Driving Simulator Studies on Driver Distraction. *Road Safety and Simulation International Conference-RSS*, 22-25 October, Rome, Italy, p. 1-17.

Pinho, M. S. e I. B. Rebelo (2006) *Interação em Ambientes Virtuais Imersivos*. Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual ou Aumentada.

Playseat (2017) *Logitech G27 Racing Wheel*. Disponível em: <www.playseat.com>. Acesso em: 06 jul. 2017.

Rakauskas, M.; N. Ward; E. Boer; E. Bernat; M. Cadwallader e C. Patrick (2008) Combined Effects of Alcohol and Distraction on Driving Performance. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40, p. 1742-1749.

Reimer, B.; B. Mehler; L. D'Ambrosio e R. Fried (2010) The Impact of Distractions on Young Adult Drivers with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, p. 842-851.

Riccio, G. E. e T. A. Stoffregen (1991) An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Stability. *Ecological Psychology*, v. 3(3), p. 195–240.

Schlehofer, M.; S. Thompson; S. Ting; S. Ostermann; A. Nierman e J. Skenderian (2010) Psychological Predictors of College Students Cell Phone Use While Driving. *Accident Analysis and Prevention*, v. 42, p. 1107-1112.

Tori, R.; C. Kirner e R. A. Siscoutto. *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*. Editora SBC, 2006.

Uliano, K.; E. Lambert; R. Kennedy e D. Sheppard (1986) *The Effects of Asynchronus Visual Delays on Simulator Flights Performance and the Development of Simulator Sickness Symptomatology* (Report No. NAVTRASYSCEN 85-D-0026-1). Orlando, FL: Naval Training Systems Center.

Vieira, F. e A. P. C. Larocca (2017) Drivers Speed Profile at Curves Under Distraction Task. *Transportation Research Part F*, v. 44, p. 12-19.

Warner, H. D. (1993) Flight Simulator-Induced Sickness and Visual Displays Evaluation (Report No. AL/HR-TR-1993-0056). Williams Air Force Base, AZ: Aircrew Training Research Division.

Xiong, J.; H. Wan e F. Guo (2007) Freeway Design Consistency Evaluation – a Case Study on Driving Simulator. *In*: International Co-operating on Theories and Concepts in Traffic Safety Extra Workshop, Beijing, p. 231–242.

Yannis, G.; E. Papadimitriou; C. Bairamis e V. Sklias (2011) Is it Risky to Talk, Eat or Smoke While Driving? Findings from a Driving Simulator Experiment. *Proceedings of the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation*, Indianapolis, September.

Young, M. S.; J. M. Mahfoud; G. H. Walker; D. P. Jenkins e N. A. Stanton (2008) Crash Dieting: The Effects of

Eating and Drinking on Driving Performance. *Accident Analysis and Prevention*, v. 40(1), p. 142-148.
Young, M. S.; J. M. Mahfoud; N. A. Stanton; P. M. Salmon; D. P. Jenkins e G. H. Walker (2009) Conflicts of Interest: The Implications of Roadside Advertising for Driver Attention. *Transportation Research Part F*, v. 12(5), p. 381-388.

Christine Tessele Nodari (piti@producao.ufrgs.br)
Maurício Castilhos de Oliveira (mauricio@alumni.ubc.ca)
Mauricio Roberto Veronez (veronez@unisinos.br)
Fabiane Bordin (fabianebor@unisinos.br)
Luiz Gonzaga Jr. (lgonzagajr@gmail.com)
Ana Paula Camargo Larocca (larocca.ana@usp.br)
Carlo Framarim (carlo.framarim@gmail.com)

AVALIAÇÃO DA MUDANÇA DA VELOCIDADE MÁXIMA PERMITIDA E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO DA SEGURANÇA VIÁRIA EM UM CORREDOR URBANO

Marcos William Sasaki
Francisco Edson Macedo Filho
Johny Alves Lira
Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO
A fluidez e segurança têm forte relação com a velocidade máxima permitida em corredores urbanos, o impacto na segurança da mudança dessas velocidades é de difícil estudo devido à falta de dados confiáveis de acidentes. Partindo do suposto que a microssimulação, bem calibrada e validada, reflete o desempenho da segurança em corredores, pode-se utilizá-lo como modelo válido do fenômeno. Foram simulados 3 cenários de operação com velocidades máximas de 40, 50 e 60 km/h. Utilizou-se para as simulações o microssimulador VISSIM e o plugin SSAM obtendo-se a quantidade, tipos e severidade dos conflitos. Os indicadores de segurança utilizados foram TTC e PET. Os resultados mostraram que a diminuição da velocidade máxima permitida ocasiona a diminuição do número de conflitos, sem mudança significativa nos indicadores de fluidez (tempo médio de viagem e atraso), de tal modo que a diminuição da velocidade possa compensar em termos de desempenho da segurança.

ABSTRACT
Fluidity and safety are strongly related to speed limits in urban corridors, the safety influence of changes in these speeds are difficult to study because the lack of reliable accident data. Based on the assumption that well calibrated and validated microsimulation reflects the safety performance in urban corridors, it can be assumes that the microsimulation can be a valid model for the phenomenon. Three scenarios were simulated with maximum speeds of 40, 50 and 60 km/h. VISSIM microsimulator and SSAM plugin were used to obtain quantity, types and severity of the conflicts. The safety indicators used were TTC and PET. Results showed that the reduction in speeds limits decreased the number of conflicts, without significant change in indicators of fluidity (average travel time and delay), in such a way that the reduction of the speed can be compensated in terms of safety performance.

1. INTRODUÇÃO

Os acidentes de trânsito no Brasil matam cerca de 43 mil pessoas ao ano e deixam mais de 300 mil pessoas gravemente feridas segundo dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (Datasus). Além dos traumas causados às vítimas e familiares, os acidentes de trânsito representam altos custos monetários para a sociedade. Em 2014, por exemplo, os acidentes nas rodovias federais somaram mais de R$ 12 bilhões em perdas econômicas. Nesse âmbito, não é difícil perceber que a diminuição da letalidade e frequência das ocorrências pode gerar ganhos consideráveis para a sociedade.

Apesar de, tradicionalmente, os acidentes terem sido utilizados como indicadores do desempenho da segurança viária, tomando como principais fontes de dados as frequências de acidentes coletadas ao longo dos anos, sua utilização pode estar associada a alguns problemas. De acordo com Hydén (1987), sabe-se que vários problemas estão ligados ao fenômeno acidentes e à sua coleta: acidentes são eventos raros na medida em que são resultados da convergência de uma série de fatores contribuintes; o fenômeno de acidentes possui uma grande variabilidade em relação à média; nem todos as ocorrências são registradas; as informações acerca dos aspectos comportamentais dos envolvidos durante os acidentes são difíceis de serem coletados.

Avanços na área da gestão do tráfego urbano possibilitaram o desenvolvimento de técnicas e ferramentas, tais como: semáforos inteligentes, faixas exclusivas para o transporte coletivo, zonas de velocidade reduzida, câmeras de videomonitoramento, entre outros; os quais tornaram possível uma melhor gerência do sistema de transporte e aumento da segurança viária. A aplicação dessas soluções pode demandar uma série de avaliações e simulações com a finalidade de comprovar sua viabilidade. Na maioria dos casos, é impossível ou demasiado oneroso realizar testes ou medir as diversas soluções possíveis para o fenômeno a partir de modelos experimentais ou por solução analítica. Uma das principais ferramentas auxílio à análise do desempenho de novas estratégias de controle do sistema de transporte são as micro-simulações de tráfego. Segundo Cunto & Loureiro (2011), um dos maiores atrativos deste tipo de abordagem é o fato de ser possível planejar experimentos em um ambiente controlado, evitando a real exposição de usuários a situações de risco.

Como alternativa à utilização de acidentes, estudou-se, neste trabalho, o desempenho da segurança viária de um corredor arterial urbano típico de Fortaleza por meio da análise de seus conflitos de tráfego. De acordo com Saunier & Sayed (2007), os conflitos de tráfego são considerados situações observáveis em que dois ou mais usuários aproximam-se um do outro no espaço e no tempo de tal maneira que existe um risco de colisão se seus movimentos permanecem sem alterações. Entende-se, dessa forma, os conflitos como resultantes das "interações de risco" entre os veículos, as quais podem culminar em acidentes de trânsito. Nesse contexto, objetiva-se avaliar o impacto da diminuição da velocidade máxima de uma via arterial de Fortaleza na segurança viária. Como objetivos específicos, têm-se:

- Modelar o sistema de tráfego atual de um corredor arterial urbano de Fortaleza no simulador VISSIM;
- Extrair, através do *plugin* SSAM (*Surrogate Safety Analysis Model*), indicadores de desempenho que revelem possíveis conflitos veiculares;
- Realizar uma análise comparativa quanto ao desempenho da segurança viária e a fluidez entre o cenário atual e os cenários em que a velocidade foi reduzida;
- Propor um *Conflict Modification Factor* (CfMF) para as intervenções propostas.

2. INDICADORES DE DESEMPENHO DA SEGURANÇA VIÁRIA

Hydén (1987) propôs uma abordagem para a interpretação de conflitos na qual afirma que o desempenho de segurança pode ser hierarquizado de forma que cada ocorrência possa corresponder à uma proporção de todos os eventos que podem expressar a segurança: interações veiculares; conflitos potenciais leves ou sérios e por fim os acidentes, como consta na Figura 01 abaixo.

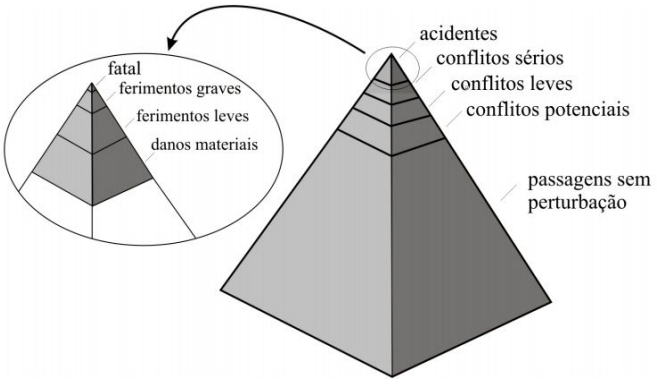


Figura 01: Pirâmide de Hydén. Fonte: Cunto (2011).

As medidas de risco de acidentes, também chamadas de indicadores, podem ser classificadas em três tipos a) Indicadores baseados no tempo para colisão ou indicadores temporais, b) Indicadores relacionados ao esforço de frenagem e c) Medidas baseadas em índices de segurança.

Pode-se destacar que os indicadores mais difundidos na literatura (Sayed & Zein, 1999; Archer, 2005; Mindehoud & Bovy, 2001; Cunto, 2008) para análise da segurança viária através de conflitos veiculares são: TTC (*Time To Collision*); TTA (*Time to Avoidance*); PET (*Post-Encroachment Time*); ROC (*Risk of Collision*); AHC (*Adaptive Headlamp Control*); TET (*Time Exposed Time-to-collision*); TIT (*time integrated time to collision*); CPI (*Crash Potential Index*). Saunier & Sayed (2007) utilizaram modelos ocultos de Markov para coletar conflitos de forma automatizada.

O *Time To Collision* (TTC) ou tempo para a colisão foi inicialmente proposto por Hayward (1972), tendo como base o tempo que dois veículos levam para colidirem assumindo que suas velocidades e trajetórias permaneçam inalteradas. Um dos problemas associados a esse índice é a deficiência em identificar a severidade de um conflito. Na prática é possível encontrar valores iguais de TTC para veículos com diferença de velocidades bastante distintas. Post-Encroachment Time (PET) pode ser definido pela diferença de tempo entre dois veículos que ocupam a mesma área de conflito. Esses indicadores podem ser utilizados para distinguir conflitos de tráfego de outras interações entre veículos. Para um determinado indicador, um conflito de tráfego é identificado quando uma interação entre dois veículos atinge um valor abaixo de um limite pré-estabelecido. Dessa forma, é possível diminuir a subjetividade dos observadores com relação às técnicas tradicionais de identificação de conflitos.

A qualidade dos resultados de uma avaliação de segurança viária com a microssimulação depende consideravelmente dos subsistemas e algoritmos utilizados pela plataforma. Nesse sentido espera-se que esses componentes consigam reproduzir com boa fidelidade, o processo de condução de veículos em uma corrente de tráfego.

3. O USO DA MICRO-SIMULAÇÃO NO ESTUDO DA SEGURANÇA VIÁRIA

O uso de técnicas de simulação tem possibilitado o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para a otimização do desempenho operacional dos sistemas de transportes. Mais recentemente, o potencial para uso da micro-simulação de tráfego em estudos do desempenho da segurança viária passou a ser investigado com maior interesse (Gettman & Head, 2003; Archer, 2005; Xin *et al.*, 2008).

De acordo com MAY (1990), a modelagem computacional tem como principais benefícios: i) capacidade de testar novas situações em vias existentes; ii) estudar o cenário em qualquer intervalo de tempo desejado; iii) capacidade de replicar situações e realizar comparações das melhores alternativas; iv) modificações de risco podem ser testadas em ambiente seguro para os usuários do sistema.

A análise microscópica exige uma maior quantidade de recursos computacionais. Em contrapartida, fornece dados mais detalhados da interação entre pares de veículos da mesma corrente de tráfego que podem ser utilizados para a determinação de várias medidas de desempenho. Por ser uma modelagem em um nível mais desagregado, a microssimulação revelou-se o melhor modelo para ser aplicado no ambiente urbano, onde a movimentação dos

elementos é muito complexa e a eficácia das intervenções operacionais não é possível ser verificada em níveis macroscópicos ou mesoscópicos.

Para que os micro-simuladores possam fornecer resultados válidos, é de extrema importância realizar a codificação e calibração detalhada do modelo antes da determinação dos indicadores. Esse processo consiste em representar a rede com um nível suficiente de detalhes e modificar os parâmetros do microssimulador com o objetivo de torná-lo o mais parecido com as condições do cenário real em estudo.

O software VISSIM se mostra bastante flexível com relação aos dados de saída que podem ser escolhidos para análises: tempo de viagem, tempo e tamanho de fila, atrasos, mudança de faixa, entre outros. Um ponto a ser destacado é o suporte do aplicativo a coleta de dados de segurança viária por meio do arquivo (*.trj*) utilizado pelo software SSAM (*Surrogate Safety Assessment Model*) desenvolvido pela FHWA (2004). Os indicadores principais que são exportados pelo SSAM são o TTC e o PET.

4. MÉTODO

O método utilizado na análise, como exposto na figura 02, conta com 6 etapas. No simulador VISSIM, foi codificada a rede, a qual foi calibrada e validada. Foram então simulados 3 cenários com diferentes velocidades. Por meio do aplicativo SSAM, foram extraídos os conflitos veiculares e os indicadores de segurança e fluidez. De posse dos conflitos foi possível analisá-los por tipo (Figura 03) e severidade (Tabela 01). Por fim, foi realizada uma comparação dos resultados dos cenários, gerando assim um fator de modificação de conflitos.

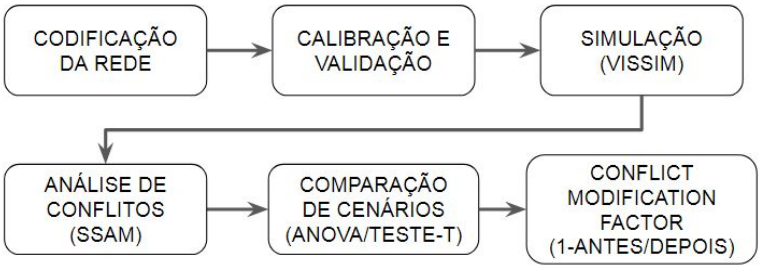


Figura 02: Metodologia proposta.

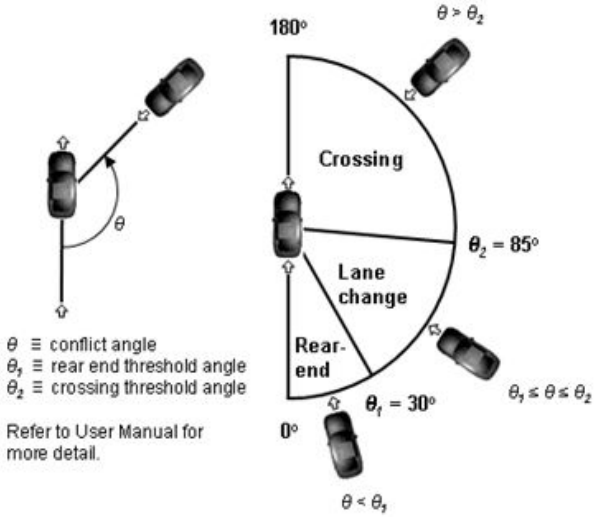


Figura 03: Tipos de conflitos veiculares.

Na Tabela 01 abaixo, está disposta a classificação dos conflitos de acordo com o TTC segundo o aplicativo SSAM.

Tabela 01: Classificação por severidade de conflitos veiculares.

Classificação dos conflitos por TTC		
0s < TTC < 0,5s	0,5s < TTC < 1,0s	1,0< TTC < 1,5s
Alto risco	Risco moderado	Baixo risco

5. CODIFICAÇÃO, CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DA REDE

Este trabalho selecionou um trecho da Avenida Santos Dumont com início no cruzamento com a Rua Carlos Vasconcelos e término no cruzamento com a Avenida Barão de Studart, na cidade de Fortaleza, totalizando aproximadamente 500m. O trecho em questão possui três interseções semaforizadas e duas não semaforizadas, ilustrado na Figura 04. Uso do solo misto entre comercial e residencial.



Figura 04 : Trecho da Avenida Santos Dumont.

Os atributos geométricos necessários para a codificação da rede no VISSIM foram obtidos com a utilização de mapas e visitas em campo. A coleta do fluxo, composição e direção veicular foi obtida com agregação temporal de 15 min por meio de câmeras do CTAFOR, órgão responsável por regular o controle de tráfego da cidade de Fortaleza, no período entre 7 e 8h da manhã da quarta-feira, dia 30 de abril de 2014. Os dados dos planos semafóricos foram fornecidos também pelo CTAFOR. (Lacerda & Castro Neto, 2014)

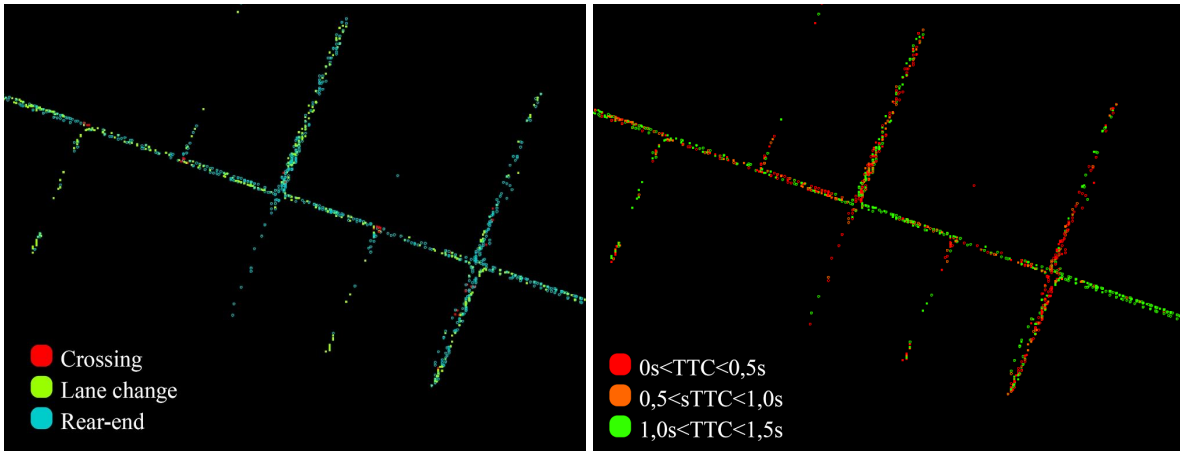
6. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO ATUAL

Atualmente, a via analisada encontra-se com velocidade máxima permitida de 60 km/h. Os valores de conflito base para a comparação com as duas outras velocidades são mostrados na Tabela 02, verifica-se que 65% dos conflitos encontrados na via eram do tipo *Rear-end*, 32% do tipo *Lane-change* e 3% do tipo *crossing*.

Tabela 02: Conflitos estimados pelo SSAM para o cenário atual.

	Tipo de conflito			
	Total	***Crosing***	***Rear-end***	***Lane change***
Média	170	5	110	55
Desvio Padrão		3,0	13,9	12,1

Nas Figuras 05 e 06 estão espacializados os conflitos por tipo e intervalo de TTC no corredor estudado. Observa-se a predominância de conflitos tipo *Rear-end* e *Lane change* nos perfis longitudinais das vias e *Crossing* nas aproximações das interseções semaforizadas. Os conflitos extraídos podem ser resultados de paradas bruscas pelos veículos seguidos, manobras repentinas de mudança de faixa ou avanços de veículos no final dos entreverdes.



Figuras 05 e 06: Distribuição espacial dos conflitos por tipo e TTC (60 km/h)

Pela distribuição dos conflitos por intervalo de TTC percebe-se que os conflitos de maior severidade se encontram nas vias secundárias e as de menor severidade (entre 1,0s e 1,5s) na avenida principal nas proximidades das interseções. Durante a análise dos TTC foram identificados diversos valores zero para o TTC, visto que o simulador não foi desenvolvido para a modelagem de acidentes, tais valores para TTC foram considerados falhas e retirados dos resultados.

O segundo indicador de segurança fornecido pelo SSAM foi o PET, como mostrado na figura 07. Como o indicador PET mostra a diferença de tempo entre dois veículos que ocupam a mesma área de conflito, a grande concentração de valores abaixo de 1,5s sugere que tal cenário possui grande número de interações graves ou até possíveis acidentes, podendo assim ser caracterizado como uma situação de risco.

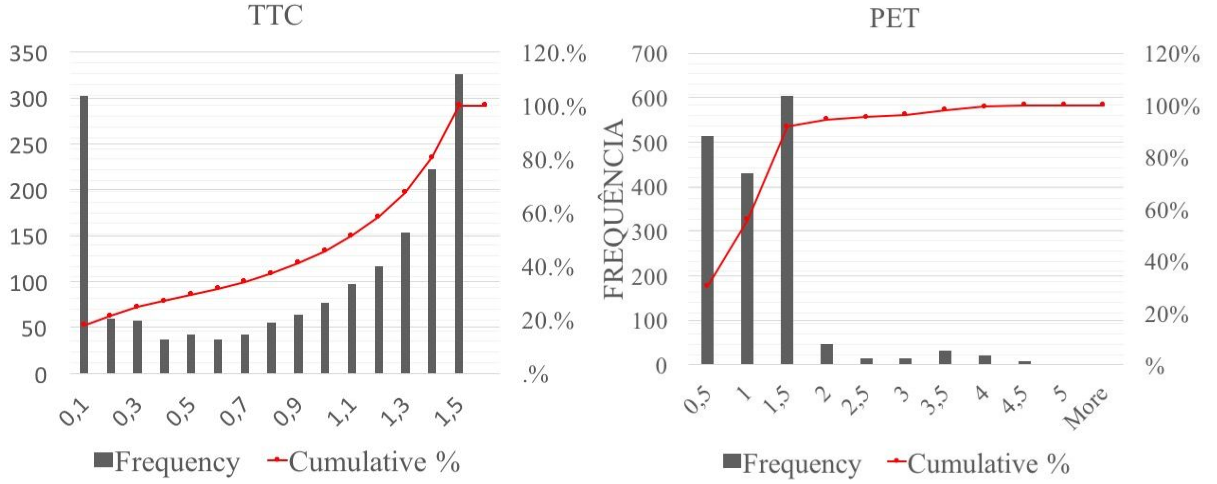


Figura 07: Distribuição dos conflitos em função do TTC e PET para 60km/h.

Na Figura 08 estão distribuídos os conflitos segundo seu TTC, a velocidade do veículo seguidor (MaxS) e os limiares de severidade propostos por Hydén (1987). Neste gráfico, Hydén inseriu linhas de severidade que servem para classificar os conflitos por gravidade, a qual pode ser descrita como a relação entre o tempo para a ocorrência de um acidente e a velocidade em que o conflito se sucedeu.

A linha vermelha presente na Figura 08 representa, segundo Hydén (1987), o limite entre os conflitos que são graves (esquerda superior) ou não (direita inferior). Observa-se que os conflitos em sua maior parte acontecem com veículos em alta velocidades (MaxS). A ocorrência de um expressivo número de conflitos envolvendo veículos com maior velocidade pode ser explicada pelo menor tempo disponível para os mesmos realizarem a frenagem a fim de evitar possíveis colisões e está associada a ocorrência de maior severidade.

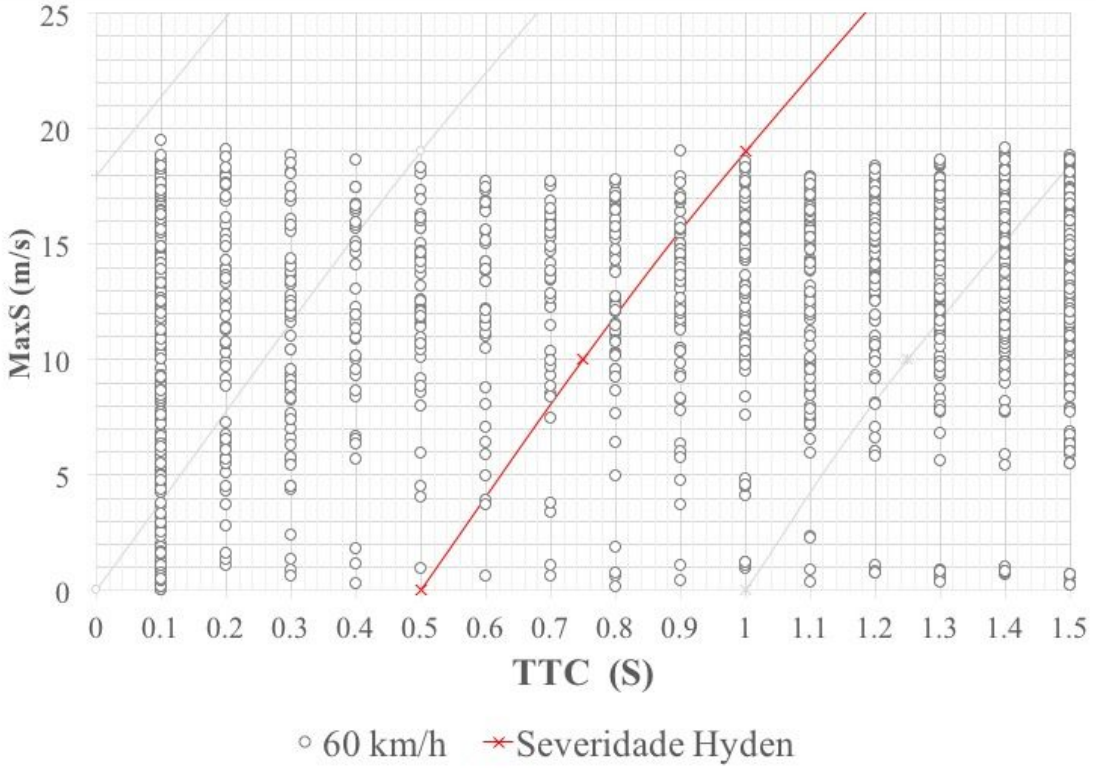


Figura 08: MaxS versus TTC para o cenário atual (60km/h).

7. COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS: SEGURANÇA VIÁRIA VERSUS FLUIDEZ

A tabela 03 mostra a quantidade de conflitos para cada um dos cenários propostos. Verificou-se uma diminuição em todos os tipos de conflitos à medida que a velocidade máxima permitida na via foi reduzida.

Os conflitos que tiveram maior redução nos cenários analisados foram os *Rear-end*, seguido pelo *Lane-change*. Entretanto, os conflitos de *Crossing* não tiveram variação relevante, podendo ser um indicativo da baixa influência da velocidade máxima nos conflitos localizados na travessia das interseções. Uma hipótese para a baixa variação dos conflitos de *crossing* nos cenários estudados é a existência de semáforos nas interseções, que ordenam a travessia dos veículos.

Tabela 03: Média de conflitos estimados pelo SSAM para cada cenário.

	Cenários		
Tipo	60 km/h (atual)	50 km/h (proposto)	40 km/h (proposto)
Rear-end	110	82	79
Lane changing	55	52	39
Crossing	5	4	6
Total	170	139	124

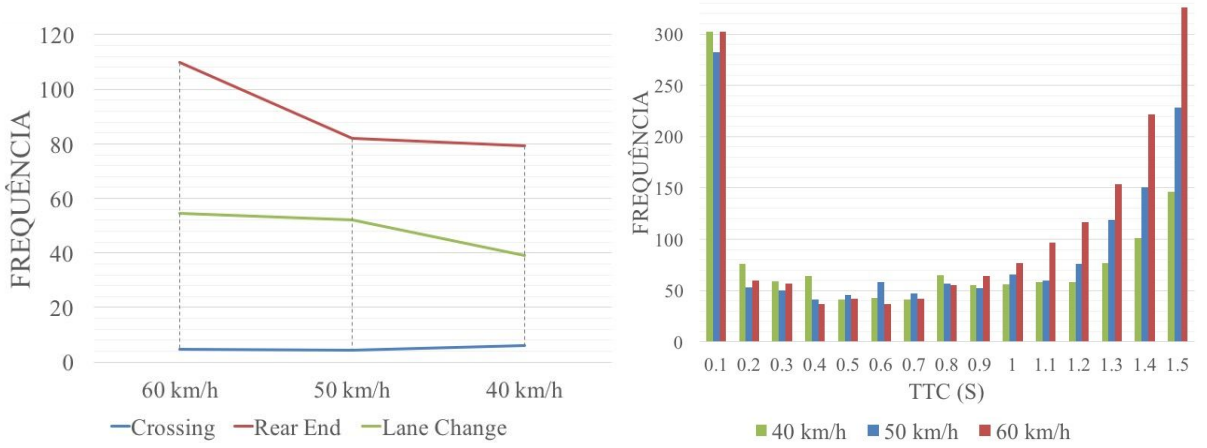
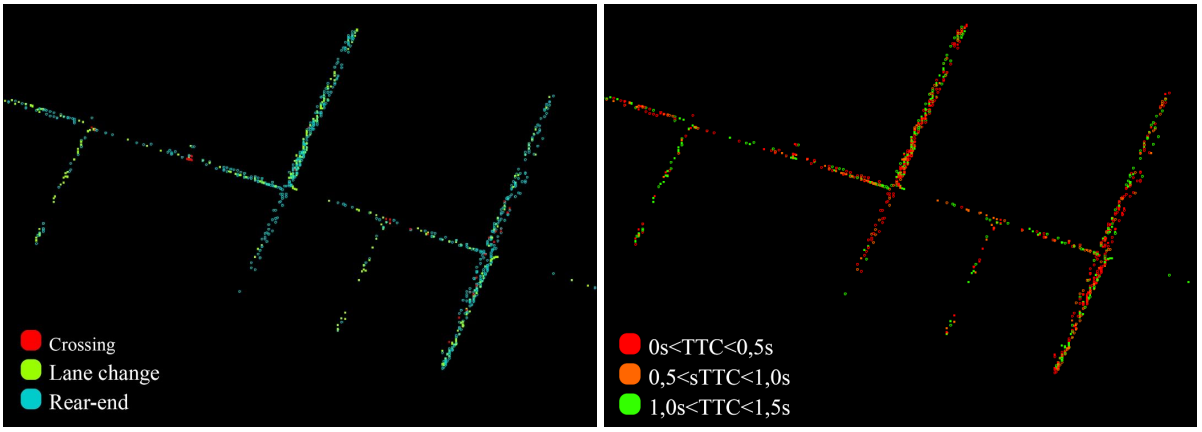


Figura 09: Conflitos estimados pelo SSAM por tipo e TTC para cada cenário.

A Figura 09 mostra a variação do indicador TTC para as diferentes velocidades analisadas. Nele podemos identificar uma diminuição dos conflitos *rear-end* e *lane-change* e um leve aumento para os conflitos de *crossing*. Nota-se na distribuição de frequência dos TTC's uma oscilação positiva para TTC acima de 1,0s com o aumento da velocidade. Apesar da diminuição do número total de conflitos para velocidades menores, os conflitos de maior severidade se mantiveram constantes.

A distribuição espacial dos conflitos para velocidade máxima de 40km/h pode ser verificada nas Figuras 10 e 11. Ao comparar, visualmente, a distribuição espacial dos conflitos para o cenário atual de velocidade máxima de 60km/h verifica-se uma diminuição expressiva da concentração conflitos na via principal.



Figuras 10 e 11: Distribuição espacial dos conflitos por tipo e TTC (40 km/h)

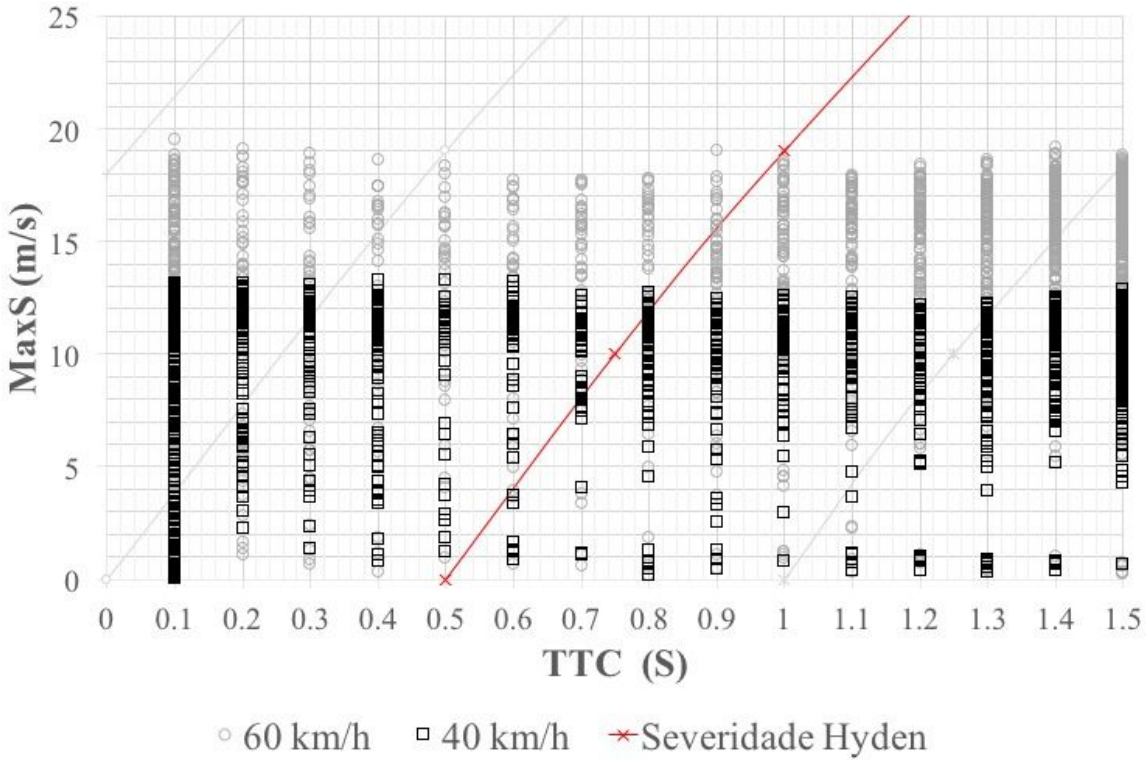


Figura 12: MaxS versus TTC para o cenário atual (60 km/h) e o proposto (40 km/h).

A sobreposição dos gráficos de diferença de velocidade e TTC para as velocidades de 40 e 60km/h revela a existência de maior número de conflitos com maior diferença de velocidade no cenário atual de 60 km/h. Nota-se também a diminuição da severidade dos conflitos de acordo com a linha de severidade proposta por Hydén (1987) para o cenário proposto de 40 km/h.

Para verificar a diferença significativa entre os cenários de 40, 50 e 60 km/h foi utilizado a ANOVA, onde medidas de valor-p próximos de zero mostram que é significativa a diferença entre os cenários analisados. O teste ANOVA resultou na rejeição da hipótese nula da igualdade das médias dos conflitos, TTC e PET para os 3 cenários conforme demonstrado na tabela 04. Pode-se então inferir, com 95% de certeza, que os cenários analisados apresentam diferença significativa entre as medidas do número de conflitos, TTC médio e PET médio.

Tabela 04: ANOVA para comparação entre cenários de 60, 50 e 40 km/h.

Comparação entre o cenário atual e os propostos			
ANOVA	**F**	**F crítico (95%)**	**Valor-p**
Conflitos	24,51	3,35	8,50 E-07
TTC (s)	133,70	3,35	9,83 E-15
PET (s)	80,11	3,35	4,42 E-12

Para o cenário de 60 e 40 km/h fez-se a análise estatística Teste-t (Tabela 05) que rejeitou a hipótese nula de igualdade de conflitos, TTC e PET para os dois cenários. O valor-p indica a existência de diferença significativa entre as medidas do número de conflitos, TTC médio e

PET médio. Ou seja, podemos inferir, com 95% de certeza, a diminuição do número de conflitos.

Tabela 05: Testes-t para comparação entre cenários de 60 e 40 km/h.

Comparação entre o cenário atual (60 km/h) e proposto (40 km/h)			
Teste t	**Valor t**	**t crítico (95%)**	**Valor-p**
Conflitos	6,05	1,77	2,02 E-05
TTC (s)	15,35	1,79	4,46 E-09
PET (s)	10,67	1,78	8,78 E-08

O tempo médio de viagem e o tempo médio de atraso podem ser verificados na tabela 06 e na figura 13 para os três cenários.

Tabela 06: Tempo médio das viagens em segundos.

	Tempos médios de Viagem	**Desvio Padrão**
40 Km/h	132.61	13.69
50 Km/h	131.92	20.85
60 Km/h	123.48	18.54

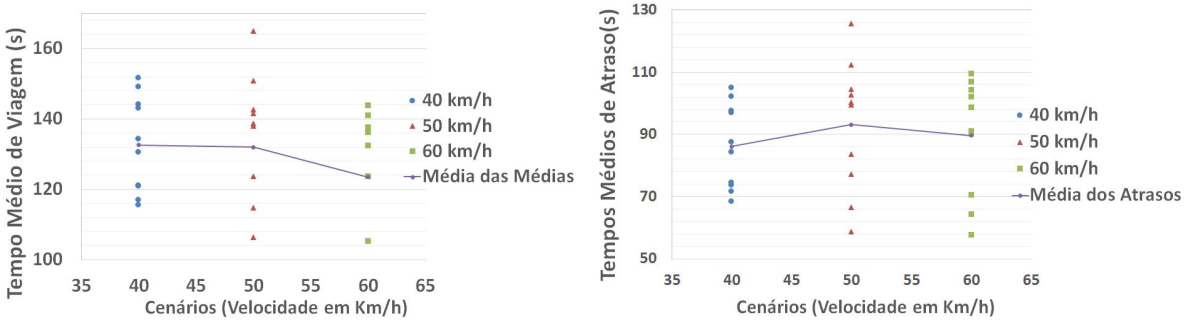


Figura 13: Tempos médios de viagem e atraso em cada cenário de operação.

Adicionalmente foi realizada a análise dos indicadores de fluidez da via para os 3 casos. O teste de ANOVA não rejeitou a hipótese nula de igualdade dos indicadores Tempo de Viagem e Atraso médio conforme mostrado na tabela 07. Como o valor-p para tempo de viagem e atraso médio foi maior que 0,05 podemos inferir com 95% de confiança que o desempenho operacional da via não sofre alterações com a diminuição da velocidade operacional máxima.

Tabela 07: ANOVA para comparação entre cenários de 60, 50 e 40 km/h.

Comparação entre o cenário atual e os propostos			
ANOVA	**F**	**F crítico (95%)**	**Valor-p**
Tempo de viagem	0,8	3,35	0,45
Atrasos	0,37	3,35	0,68

8. PROPOSIÇÃO DE CFMF

Coletados os conflitos veiculares por meio das simulações, foram propostos *Conflict Modification Factor (*CfMF) para os cenários alternativos analisados, os quais estão dispostos

na tabela 08 abaixo. Tais fatores indicam a variação do número de conflitos devido à mudança da velocidade máxima da via.

Tabela 08: CfMF's sugeridos para os cenários propostos.

	Fator de Modificação de Conflitos		
Tipo	**De 60 para 50**	**De 50 para 40**	**De 60 para 40**
Rear-end	0,75	0,96	0,72
Lane changing	0,95	0,75	0,71
Crossing	0,80	1,50	1,20
Total	0,82	0,89	0,73

Os CfMF encontrados indicam mudança positiva no desempenho para os cenários de redução de velocidade para todos os casos, exceto para o tipo de conflito *crossing*.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio atual dos modelos microscópicos ainda não permite a representação de acidentes de trânsito de forma confiável. Entretanto, podemos fazer uso de indicadores de proximidade espaço-temporal para representar os níveis de segurança por meio das interações veiculares, sendo, deste modo, uma importante ferramenta na determinação da segurança das vias.

Embora o VISSIM tenha se mostrado útil para a modelagem do desempenho da segurança viária, ressalta-se que há uma necessidade de melhoramento do *software* de modo a corrigir as falhas que ocorrem em relação a sobreposição de veículos, gerando um TTC igual a zero, por exemplo, o que pode pôr em dúvida a qualidade da modelagem. Para este trabalho os valores nulos foram descartados, sendo necessário investigações mais profundas para identificar suas reais causas. Ressalta-se também que a confiabilidade dos resultados expostos estão intimamente ligados à qualidade da calibração e genericidade da validação, fazendo com que os resultados sejam gerados de forma indireta, pois o processo é mecanicista e não totalmente empírico.

Este trabalho contribuiu para a afirmação de que o uso de conflitos veiculares se mostrou satisfatório para a determinação do desempenho da segurança viária. Os CfMFs calculados se mostraram próximos aos CMFs proveniente de estudos com acidentes antes e depois da implantação da redução da máxima velocidade permitida.

De forma geral, os dados extraídos indicaram uma redução do número de conflitos veiculares nas três situações (60 para 50, 50 para 40 e 60 para 40 km/h). A maior redução do número de conflitos encontrada foi de 10% no cenário de variação onde ocorreu a redução da velocidade máxima permitida de 60km/h para 40km/h. Tal redução também refletiu na menor gravidade dos conflitos detectados.

A mudança dos tempos de viagem e dos atrasos não se mostraram estatisticamente significativas. A redução máxima da média dos tempos de viagem foi de 9 segundos e houve um aumento máximo de 7 segundos nos atrasos médios por veículo. A partir desses resultados podemos inferir que não houve grande impacto na fluidez. Devido a relação existente entre o número de acidentes e o número de conflitos, pode-se deduzir que a redução da velocidade

máxima da via e consequente redução do número de conflitos pode ter efeito na melhoria da fluidez, uma vez que os acidentes de trânsito provocam redução da fluidez.

Este trabalho indicou uma tendência benéfica considerável no desempenho da segurança viária frente ao custo aos usuários em relação aos tempos médios de viagem e atrasos, os quais não mudaram significativamente. Espera-se que as reflexões propostas possam contribuir para a compreensão e progressão do enorme potencial existente de utilização de plataformas de microssimulação em análises do desempenho da segurança viária no contexto urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHER, J. (2005) *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections.* PhD thesis, Royal Institute of Technology.

CUNTO, F. J. C.; LOUREIRO, C. F. G. *O* (2011) *Uso da Microssimulação na Avaliação do Desempenho da Segurança Viária*. Transportes (Rio de Janeiro), v. 19.

CUNTO, F.; SACCOMANNO, F. F. (2008) *Calibration and validation of simulated vehicle safety performance at signalized intersections*. Accident Analysis and Prevention, 40:1171–1179.

FHWA (2004) *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. Federal Highway Administration.

GETTMAN, D. e HEAD, L. (2003) *Surrogate safety measures from traffic simulation models.* Federal Highway Administration report RD-03-050. McLean, VA, USA.

HAYWARD, J. C. (1972) *Near-miss determination through use of a scale of danger*. Highway Research Record.

HYDÉN, C. (1987) *The development of a method for traffic safety evaluation: The swedish traffic conflicts technique***.** Bulletin 70. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

LACERDA, V. M.; CASTRO NETO, M. M. (2014) *Considerações Sobre a Calibração do Modelo de Car-Following do Vissim para Vias Arteriais Urbanas***.** Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET.

MAY, A. (1990) *Traffic Flow Fundamentals***.** Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., EUA.

MINDERHOUND, M. M; BOVY, P. H. L. (2001) *Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment. Accident Analysis and Prevention***.**

SAUNIER, N.; SAYED, T. (2007) *Automated road safety analysis using video data*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.

SAYED, T.; ZEIN, S. (1999) *Traffic conflict standards for intersections.* Transportation Planning and Technology.

XIN, W., HOURDOS, J, MICHALOPOULOS, P., DAVIS, G. (2008) *The Less-than-perfect Driver: A Model of Collision-inclusive Car-following Behavior.* Transportation Research Board, Annual Meeting, Washington, D.C., January.

Marcos William Sasaki (sasaki@det.ufc.br)
Francisco Edson Macedo (macedo@det.ufc.br)
Johny Alves Lira (johny@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes - PETRAN - Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici - R. Prof. Armando Farias, 703, Bloco 703 - 60440-900, Fortaleza, CE, Brasil.

O USO DA MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO NA SEGURANÇA VIÁRIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Rogério Lemos Ribeiro
Carlos Magno da Silva Oliveira
Alex Heriberto Rojas Alvarado
Paulo Cesar Marques da Silva
Michelle Andrade
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
A simulação de tráfego é uma ferramenta indispensável para estudar seus efeitos antes da implantação de um projeto viário. Os acidentes de trânsito podem afetar o fluxo e segurança dos usuários devido as interações espaço temporal que acontecem no tráfego. Os microssimuladores de tráfego possuem a vantagem de viabilizar experimentos em um ambiente virtual, evitando exposição dos usuários a situações de risco. Este artigo tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de microssimuladores de tráfego na segurança viária. Os resultados mostram a importância de entender os acidentes através da microssimulação revelando o impacto que os congestionamentos podem provocar em um cenário de risco. Ao final, conclui-se que a microssimulação das condições operacionais que geram conflitos no tráfego pode permitir a adoção de uma abordagem mais eficaz na gestão da segurança viária.

Palavras-chave: microssimulação de tráfego, segurança viária, fluxo de tráfego, comportamento dos motoristas.

ABSTRACT
Traffic simulation is an indispensable tool to study its effects before implementing a road project. Traffic accidents can affect the flow and safety of users due to the temporal space interactions that happen in traffic. Traffic microsimulators have the advantage of planning experiments in a virtual environment, avoiding exposure of users to risk situations. This article aims to present a systematic review of the literature on the use of traffic micro-simulators in road safety. The results show the importance of understanding accidents through micro-simulation, revealing the impact that congestion can cause in a risk scenario. Finally, it is concluded that the microsimulation of operational conditions that generate conflicts in the traffic can allow the adoption of a more effective approach, reducing the need for observations and promoting diagnoses on road safety.

Keywords: traffic microsimulation, road safety, traffic flow, driver behavior.

1. INTRODUÇAO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2017), as lesões causadas pelos acidentes de tráfego são as principais causas de mortes por traumatismo no mundo. Um milhão, duzentas e cinquenta mil pessoas morrem e cinquenta milhões ficam feridas em acidente automobilístico a cada ano. Países como a Holanda, Dinamarca, Suíça, Grã-Bretanha, Canadá, Japão, Austrália, Nova Zelândia e os Estados Unidos incluíram como parte fundamental do seu planejamento de cidade a Engenharia de Tráfego (Almeida, 2004; Chaves, 2017). Esta área da engenharia busca a solução de uma gama variada de problemas relacionados com os veículos, infraestruturas e usuários do sistema que não dependem apenas de fatores físicos, mas frequentemente incluem o comportamento humano do motorista e do pedestre, e suas inter-relações com a complexidade do ambiente, afetando a segurança viária (Roess *et al*., 2011).

Autores como Gettman e Head (2003) mostraram que, para uma melhor compreensão e análises dessas relações, a engenharia de tráfego utiliza ferramentas de simulação, de forma a verificar como o uso de novas tecnologias voltadas para a otimização do desempenho operacional dos sistemas viários acaba melhorando a segurança dos usuários e o melhor aproveitamento da

infraestrutura viária para deslocamentos motorizados e não motorizados. Porém, estas ferramentas trabalham com pressupostos e limitações que, em certos casos, não conseguem representar a realidade que o modelador deseja (Vilarinho e Tavares, 2012). Por exemplo, suas aplicações têm sido limitadas a cenários sem colisões. Isso ocorre porque os microssimuladores existentes usam modelos que estão limitados à emulação do comportamento normal do motorista, o que exclui, na modelagem, a infração de regras de trânsito e acidentes. Os modelos convencionalmente empregado não conseguem representar as complexidades do comportamento individual nesses casos (Xin *et al.*, 2008). Assim, representar em um modelo matemático o efeito do comportamento dos motoristas em casos de acidentes de trânsito torna-se um desafio na engenharia de tráfego.

O objetivo principal deste artigo é apresentar uma revisão sistemática da literatura científica sobre o uso de microssimuladores de tráfego na segurança viária com o intuito de mostrar o estágio atual do conhecimento nessa área. Por fim, são feitas considerações acerca das possibilidades de utilização da simulação de tráfego na segurança viária e são propostas diretrizes para a realização de pesquisas para aplicação de plataformas de simulação que possam potencializar o uso da ferramenta em estudos de segurança viária.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para identificar estudos desenvolvidos até o momento e identificar lacunas sobre o uso da microssimulação na segurança viária, utilizou-se, como ferramenta metodológica a revisão sistemática da literatura (RSL).

A revisão de literatura relevante é uma característica essencial de todo projeto acadêmico. A elaboração de estudos bibliométricos busca examinar quantitativamente um conjunto de informações acerca de um grupo de artigos e documentos selecionados sobre determinado assunto (COSTA, 2010). Segundo Guedes e Borschiver (2005), a análise bibliométrica contribui com a criação e gestão de conhecimentos, possibilitando explorá-los e gerar relacionamentos entre eles. A realização de pesquisas que identifiquem a exploração de trabalhos científicos com a temática do uso de simuladores de tráfego na segurança viária se faz necessário para que se possam diagnosticar quais lacunas carecem de atenção e desenvolvimentos futuros.

Tranfield *et al*. (2003) ressalta que essa metodologia difere das tradicionais revisões narrativas por adotar um processo replicável, científico e transparente, que garante rigor, integridade e qualidade dos resultados, proporcionando um caminho passível de auditoria sobre as decisões, autores, os procedimentos adotados e as conclusões obtidas. Para a sua aplicação, o método sugerido por Soni e Kodali (2011) é a sequência de passos de pesquisa:

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

A Tabela 1 mostra a aplicação da metodologia nesse estudo.

Tabela 1: Aplicação da metodologia de Revisão Sistemática da Literatura

Passo	Descrição	Finalidade
Definição da questão de pesquisa	Qual é o panorama da literatura nacional e internacional sobre o uso da microssimulação na segurança viária?	O estágio atual do conhecimento relacionado à aplicação de microssimulador na segurança viária.
Definição da Estratégia de Pesquisa	Horizonte temporal: 2007 a 2017	Abranger o recente período de publicações até o corrente ano, em bases de dados tradicionais e identificar publicações relacionadas, mediante a duas palavras clássicas sobre o tema.
	Base de pesquisa: SCOPUS e Science Direct, Revista Transportes, Anais Anpet, bibliotecas digitais de teses e dissertações.	
	Identificação de estudos: busca de trabalhos publicados sobre o tema (no título, palavras chave e resumo), por meio de combinações dos termos de busca: *road safety, traffic safety; traffic simulator, microsimulator*.	
Definição de critérios para inclusão ou exclusão de trabalhos	Critérios de exclusão: todos os trabalhos que não sejam artigos científicos; trabalhos repetidos.	Limpeza da base de dados, eliminando trabalhos repetidos e não classificados como artigo.
	Critérios de inclusão: todos os artigos científicos que atendam aos requisitos da definição da estratégia de pesquisa.	Identificar estudos que abordem aplicações da microssimulação na segurança viária.
Seleção dos artigos	Critérios de seleção: Artigos científicos que atendam totalmente ao objetivo do trabalho, ou seja, que possuam aplicação da microssimulação na segurança viária.	Selecionar artigos que abordem o uso da microssimulação na segurança viária.
Análise dos artigos selecionados	Elementos para análise: Relação de artigos publicados por revista; evolução das publicações por ano; evolução das publicações por país; análise espacial abordada; quanto ao objeto; e, análise de estudos que tratem de microssimulação aplicação à segurança viária.	Ampliar a compreensão sobre a temática, mediante a uma análise da literatura internacional.
Apresentação dos resultados	Resultado: apresentação de artigo científico.	Apresentar os resultados, destacando as lacunas e pesquisas futuras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação de tráfego tem seu início na engenharia de transportes em meados dos anos 1980, quando o uso de programas computacionais se popularizou pela eficiência mostrada no tratamento de dados (Cunto, 2008; Cunto e Loureiro, 2011). Com a evolução constante dos processadores, o uso dos simuladores começou a ganhar campo nas pesquisas acadêmicas, pelas vantagens que apresentaram no controle das características físicas e operacionais, as mesmas que permitiram sua aplicabilidade em estudos de segurança viária (Archer, 2005; Barceló *et al*., 2003; Cunto, 2008).

Segundo Rivera (2005) a simulação de tráfego pode ser classificada em três tipos, cada uma delas consoante com os objetivos que se pretendem atingir:

- Simulação Macroscópica: descreve entidades, suas atividades e interações com um nível baixo de detalhe.
- Simulação Mesoscópica: representa entidades com um alto nível de detalhe e descreve interações e atividades com um detalhamento superior ao obtido na macroscópica.
- Simulação Microscópica: considera as entidades, suas atividades e interações de forma altamente detalhada.

Várias são as vantagens encontradas na literatura acerca do uso destas ferramentas. Dentre as principais vantagens destaca-se a flexibilidade que possuem para comparar diferentes cenários (Vilarinho e Tavares, 2012). Por outro lado, Gregoriades *et al*. (2010) afirmam que uma das

questões mais importantes na gestão da segurança viária é a falta de métodos confiáveis para prever a probabilidade de acidentes. No entanto, para os referidos autores, a simulação de tráfego viário auxilia na validação dos requisitos de segurança dos projetos rodoviários.

3.1. O emprego da microssimulação de tráfego na segurança viária

De forma geral, observa-se que publicações que abordam o tema de microssimulação e segurança viária vêm crescendo nos últimos anos. Observa-se um incremento da produção no último ano de 2016, com 21 publicações nessa temática. Os anos anteriores mostram um crescimento sucessivo, sendo que nos últimos 10 anos, apenas os anos 2008, 2012, 2014 e 2015 registraram uma produção inferior ao ano que o antecede.

Nessa revisão foram observados vários trabalhos envolvendo as temáticas de segurança viária, simuladores de tráfego e microssimulação. No entanto, vários desses estudos possuíam uma abrangência muito ampla no assunto, razão pela qual utilizou-se as seguintes palavras-chave e operadores: "*road safety" OR "traffic safety" OR "highway safety" AND "traffic simulator" OR "traffic simulation*" OR "*microsimulator*". Os operadores *Booleanos* (AND e OR) foram utilizados para restringir a pesquisa bibliográfica no objetivo definido.

As buscas foram realizadas nas bases digitais das bibliotecas universitárias e nos anais dos principais congressos brasileiros relacionados com esta temática. No período analisado e com o uso das palavras-chave mencionadas, foram localizados 152 artigos publicados em periódicos internacionais e nacionais, 2 dissertações e 1 tese. Das publicações encontradas, 72,3 % são difundidas em periódicos especializados da engenharia e o restante em áreas como as ciências sociais, medicina, meio ambiente, computação. Os principais países que publicaram na temática foram China, Estados Unidos, Alemanha e Austrália, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Publicações por países

País	**Nº de Publicações**
China	37
Estados Unidos	34
Alemanha	19
Austrália	14
Japão	10
Canada	7
Itália	7
Holanda	7
Coreia do Sul	6
Suécia	6

Fonte: Scopus (2017)

Observou-se que esses países registram suas publicações preferencialmente, nos periódicos "*Accident Analysis and Prevention", "Advanced in Transportation Studies"* e *"Transportation Research Record*".

3.2. Estudos Selecionados

Para selecionar os artigos para leitura foi realizada uma nova classificação de elegibilidade. Esta classificação foi baseada em vários parâmetros, tais como: artigos que foram revisados por pares, artigos publicados na área de engenharia e horizonte temporal de 10 anos. Após a classificação foram selecionados 53 artigos para revisão, os quais compuseram a base teórica para o presente estudo de RSL.

3.3. Discussão dos resultados

Em se tratando dos resultados obtidos na revisão da literatura, foi constatado um equilíbrio e hegemonia de pesquisas relacionadas com o tema nos últimos 10 anos. No âmbito do uso de microssimuladores de tráfego na segurança viária, as universidades européias, chinesas e americanas, historicamente, lideram a produção científica. No período da revisão realizada, destacam-se a universidade alemã *Technische Universitat Munchen*, com 8 publicações, a *Shanghai Jiaotong University* (China), com 6 publicações, e as *Delft University of Techology* (Holanda) e *RMTI University* (Austrália), ambas com 5 publicações cada.

O Brasil não figura em posições de destaque quando comparado a outros países, no entanto, é possível identificar a presença crescente de produções acadêmicas nesta temática. Artigos resultantes de pesquisas produzidas por autores como Cunto (2008), Cunto e Loureiro (2011), Junior *et al.* (2011) e Sousa (2012), são pioneiros, no Brasil. Suas pesquisas são de grande relevância sobretudo na investigação e emprego de *softwares* como o Vissum, CORSIM e TWOPAS. Os resultados obtidos são encorajadores para a realização de simulação em cenários onde a segurança viária é a principal motivação. A seguir, é apresentada uma síntese dos resultados encontrados na revisão realizada.

4. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os simuladores de tráfego apresentam grandes vantagens no planejamento tático e operacional. Segundo Sousa (2012) as análises produzidas pelos simuladores no desempenho da segurança viária permitem avaliar uma série de cenários possíveis em um ambiente virtual evitando assim gastos de recursos econômicos com a implantação de uma determinada ação. As análises indicadas por Sousa (2012) e efetuadas pelos simuladores de tráfego estão baseadas em indicadores do tipo *proxy* de segurança, que por sua vez tomam como base as análises de problemas de tráfego junto com indicadores de base continua de segurança com o objetivo de representar uma rede simulada de veículos dentro de um espaço temporal de interação (Archer, 2005; Gettman e Head, 2003; Huguenin *et al*., 2005; Hydén, 1987). Na concepção dos autores, a segurança viária ganha relevância e os conflitos de tráfego passam a ser vistos como um fenômeno espaço-temporal das interações veiculares que acontecem no tráfego, deixando de ser uma simples medida estática que relaciona acidentes fatais produzidos numa determinada rodovia. Nesse sentido a segurança viária adiciona um novo conceito baseado na relação espaço-temporal que leva refletir sobre como o risco das interações culminam em acidentes (Cunto, 2008; Cunto e Loureiro, 2011).

4.1 Efeito do comportamento dos motoristas nos acidentes e no fluxo do tráfego

A literatura mostra uma série de pesquisas realizadas em diversos países em que o uso de microssimuladores de tráfego têm auxiliado o planejamento. Ozbay *et al*. (2008), por exemplo, afirmam que o avanço das técnicas de conflito de trânsito, combinado com a microssimulação, oferecem uma forma potencialmente inovadora de conduzir a avaliação da segurança dos sistemas de trânsito, mesmo antes que as melhorias de segurança sejam implementadas. Essa conclusão é compartilhada por Archer e Young (2010), que indicaram que o desenvolvimento de modelagem de simulação de tráfego realizada de forma sistemática, partindo da coleta de dados, calibração e validação do modelo, para estudar o impacto das medidas de segurança de uma forma rigorosa e transparente, está se tornando cada vez mais viável à medida que os modelos melhoram a compreensão do comportamento dos condutores.

Umedu *et al*. (2010) analisaram o comportamento de condutores que violam o limite de

velocidade permitida, conforme o desempenho do protocolo de detecção de veículos perigosos (DVDP), usando um simulador que executa simulação de tráfego, levando em conta modelos de pista e velocidades reais, posição e erros de localização. Os resultados da simulação revelaram que a probabilidade de detecção do DVDP é superior a 80% quando a densidade do veículo está acima de 40 veículos/min. Quando a densidade do veículo é baixa, a implantação de pontos de retransmissão pode ajudar a melhorar ainda mais a probabilidade de detecção.

Van Driel e Van Arem (2010) conduziram um estudo que procurou conhecer o impacto do assistente de congestionamento sobre a eficiência e a segurança do tráfego. O assistente de congestionamento é um sistema no qual um suporte para pedal do veículo é acionado em casos de congestionamento. Os autores utilizaram uma ferramenta de simulação de fluxo de tráfego denominada *Modeller ITS* com o objetivo de estudar o efeito do congestionamento causado em casos de estreitamento de pista, usando medições de fluxo de tráfego em um segmento de uma estrada holandesa. Como resultado, os experimentos de simulação, em diferentes taxas de penetração e configurações do assistente de congestionamento, mostraram que, em situações de operação do tipo "ande e pare", o uso do assistente de congestionamento leva a uma diminuição de até 30% no tempo de viagem em comparação com o uso constante do acelerador numa faixa de tráfego em condições normais (medidas em função do tempo de viagem), apresentando menores acelerações acentuadas e desacelerações bruscas, o que implica maior segurança no transito e conforto do motorista.

Os motoristas que possuem comportamentos de risco no trânsito estão envolvidos, efetivamente, na maioria dos acidentes. Habtemichael e De Picado-Santos (2013) analisaram as tipologias de motoristas em comportamentos de risco, os erros comuns de condução de "alto risco" (velocidade, não manter distância de segurança entre veículos, mudança abrupta de faixa e condução perigosa), suas consequências de segurança e o uso de dispositivos tecnológicos para sua detecção e correção. Foi proposto limitar o grau de condução da liberdade dos condutores de "alto risco" e os seus benefícios na segurança, bem como nas operações de trânsito. Isso incluiu o uso obrigatório de dispositivos ITS (*Intelligent Transportation Systems*) que diminuem as decisões de condução dos motoristas, como por exemplo limitar a velocidade e mudanças bruscas de faixas de rolamento. Foi realizada a simulação de tráfego com o modelo microscópico VISSIM em várias proporções de motoristas de "alto risco" (4%, 8% e 12%). A avaliação dos benefícios de segurança foi realizada utilizando a técnica de conflitos de veículos simulados e a redução do tempo de viagem foi utilizada para quantificar os benefícios operacionais. As conclusões implicam que limitar a liberdade dos condutores de alto risco resultou em uma redução de acidentes em 12%, 21% e 27% respectivamente, nas condições de tráfego congestionadas; 9%, 13% e 18% em condições de tráfego ligeiramente congestionadas e 9%, 10% e 17% em condições de tráfego não congestionadas. Além disso, os indicadores de desempenho *proxy* de segurança mostraram que houve uma redução nos níveis de gravidade do acidente. Os benefícios operacionais representaram economias de quase 1% no tempo de viagem para todas as proporções de motoristas de "alto risco" considerados. O estudo concluiu que limitar a liberdade dos condutores de alto risco tem benefícios operacionais e de segurança.

Rong *et al.* (2011), por sua vez, desenvolveram um método integrado de simuladores de condução e de tráfego para investigar os efeitos do comportamento de condução sobre o fluxo viário, com a classificação desses em três categorias: agressivo, conservador e moderado. Os *softwares* usados para a simulação foram o ARTEMIS, VISSIM, PARAMICS e AIMSUN. Foram ajustados os parâmetros de comportamento de condução dos três tipos de condutores

para modelos de simulação de tráfego utilizando os dados experimentais recolhidos num simulador de condução sendo que os efeitos do comportamento de condução sobre o fluxo de tráfego foram analisados por técnicas de simulação de tráfego. Os resultados mostraram que os condutores agressivos têm menos estabilidade, afetando negativamente o fluxo de tráfego.

Quando da ocorrência de semaforização em rodovias, a geometria é, em geral, representada por uma via principal e uma via secundária, em que os volumes de pedestres são baixos. Essas interseções geralmente mostram longos tempos de verde para os veículos da via principal, dificultando a passagem de pedestres, independentemente do volume de pedestres e veículos.

A fim de resolver esse problema, Lee *et al*. (2013) avaliaram os efeitos detalhados da introdução de sinais semi-atuados e botões de pedestres usando um modelo de simulação de tráfego microscópico calibrado, o VISSIM. A pesquisa avaliou três cenários, incluindo i) controle semafórico por tempo fixo em uso em um local de teste selecionado (cenário 1), ii) controle semafórico semi-atuado (cenário 2) e iii) controle semafórico semi-atuado acoplado com botoeira para pedestres (cenário 3). A partir da simulação para diversas condições de tráfego, os três cenários resultaram um nível semelhante de atrasos médios em toda a rede. Em comparação com o cenário 1, o cenário 2 mostrou melhorias de 2,7% no atraso. Além disso, em comparação com o cenário 1, o cenário 3 mostrou melhorias de 13,0% em média. Finalmente, o cenário 3 mostrou melhorias de 10,5% em relação ao cenário 2. Em termos de segurança do tráfego, o cenário 1 mostrou a menor frequência de conflitos de tráfego.

4.1.1 Simulação do comportamento dos motoristas em diferentes tipos de veículos
No estudo de Siuhi e Kaseko (2016) foram utilizados veículos mistos nos modelos "*car following*". Foram estimados modelos para respostas de aceleração e desaceleração através de três diferentes combinações de tipos de veículos: automóvel seguindo automóvel, automóvel seguindo caminhão, e caminhão seguindo automóvel. Os resultados indicaram que o comportamento dos motoristas foi significativamente diferente entre os diferentes pares de veículos. Além disso, a magnitude dos parâmetros estimados depende do tipo de veículo a ser conduzido e/ou seguido. Esse resultado pode ajudar os profissionais de transporte a melhorar os modelos de simulação de tráfego utilizados para avaliar o impacto de diferentes estratégias de segurança e desempenho de rodovias. Além disso, as estimativas de atraso de tempo de resposta dos motoristas podem ser usadas para calcular os parâmetros de projetos importantes, como distância de visibilidade de parada em curvas horizontais e verticais.

Separar os veículos mistos podem reduzir os conflitos de trânsito e melhorar a segurança viária. Isto foi constatado por Chun *et al*. (2014) onde, em uma abordagem experimental de modelagem de simulação de tráfego microscópico, exploraram os efeitos de segurança rodoviária quando da implementação de pistas de ônibus em um corredor rodoviário na Austrália. Os modelos compararam os padrões de conflito de trânsito de três configurações de tráfego: tráfego misto, faixa exclusiva de ônibus adaptada e nova faixa exclusiva para ônibus. Para cada configuração, o desempenho de segurança do corredor rodoviário, incluindo abordagens de interseção e locais de parada de ônibus, foi medido com dois indicadores de desempenho de segurança: taxa de desaceleração para evitar acidente e índice de potencial de colisão. Os resultados mostraram que as faixas exclusivas de ônibus reduziram as ocorrências de conflito nas proximidades de interseção e locais de parada de ônibus, apontando ainda reduções de colisão traseira e lateral.

4.2. Simulação do tráfego e comunicação

A descrição matemática e a simulação computacional da interação dinâmica de veículos têm sido discutidos no que tange à segurança de tráfego, sobretudo para o desenvolvimento de pistas segmentadas (Wang *et al*., 2010). Essa ideia foi compartilhada por Biddlestone *et al.* (2012) que indicaram que algumas normas de segurança viária foram projetadas para a facilitar a comunicação inter-veicular com o objetivo de reduzir acidentes de trânsito. Os autores indicaram que a concepção de simuladores de tráfego pode ser utilizada para validar modelos.
O *Velocity Limiting System* (VLS) é um sistema capaz de gerenciar as mudanças no limite de velocidade em uma seção de rodovia sob variadas condições de tráfego, com o objetivo de homogeneizar o fluxo do tráfego, melhorar a segurança e/ou reduzir o estresse do motorista. Hellinga e Mandelzys (2011) utilizaram um modelo de simulação para avaliar a sensibilidade dos impactos de segurança e os impactos operacionais de um sistema VLS para o condutor. Foram projetados diversos cenários para medir o nível de conformidade do condutor utilizando o simulador de tráfego microscópico PARAMICS. Os resultados indicaram que os impactos do VLS são muito sensíveis ao nível de conformidade do condutor, onde a segurança está positivamente correlacionada com o nível de complacência e, negativamente com o tempo de viagem no trecho considerado.

Schönhof *et al*. (2006) introduziram um sistema de informação de trânsito em rodovias por meio de comunicação inter-veicular. Através das simulações foi verificado que os algoritmos para reconhecimento de trechos de congestionamento, transmissão de mensagens e processamento preveem de forma confiável a existência e localização de pontos de congestionamentos. Os resultados mostram que esses sistemas de comunicação inter-veicular podem melhorar a segurança e a capacidade rodoviária. Nessa mesma linha, Henclewood e Hall (2009) destacam que um dos avanços necessários para os simuladores é a representação da dinâmica do veículo na simulação de tráfego de modo que os efeitos de estratégias melhoradas de direção e cooperação entre motoristas possam ser examinados detalhadamente. Os modelos atuais de veículos dinâmicos não são adequados para uma simulação de tráfego que envolve grandes volumes veiculares. Reforça ainda que o desenvolvimento das tecnologias de comunicação interveiculares têm motivado muitas aplicações inovadoras visando a melhoria da segurança viária.

A simulação de tráfego também pode ser empregada para avaliar o uso de equipamentos de apoio à condução veicular. Hegeman *et al*. (2009) realizaram estudo de microssimulação de tráfego usando o modelo de simulação RutSIM para o caso de emprego de assistente de ultrapassagem em rodovias de duas faixas de trânsito. Os resultados indicam que o assistente de ultrapassagem pode proporcionar benefícios de segurança em termos de aumento do tempo médio de colisão durante manobras de ultrapassagem.

Com vistas a estimar o efeito do *Adptative Cruise Control* ou controle de velocidade adaptativo (ACC) na segurança e fluxo de tráfego, Pauwelussen e Feenstra (2010) realizaram ensaios para o desenvolvimento de um modelo de simulação de tráfego, onde participantes foram observados por um tempo determinado. Os condutores desativaram o ACC pressionando o pedal do freio, diminuindo a distância a distância de segurança. A retomada do ACC, ativando o sistema ou soltando o acelerador depois de ultrapassar o veículo, resultou em uma maior distância entre os veículos. Os condutores normalmente desativam o controle de velocidade para realizar as ultrapassagens. Esse comportamento também foi verificado por Okamura *et al.* (2011), onde um sistema de apoio à condução usando uma simulação de tráfego microscópica foi modificada

adicionando a função de processo de resposta perceptiva, a fim de avaliar o sistema de controle de velocidade adaptativo (ACC) e *Automated Platoon System* ou sistema automatizado de pelotão (APS) para veículos de grande porte em uma via expressa urbana. Foi possível observar que o uso do ACC tende a minimizar as situações de risco diminuindo também a taxa de fluxo de tráfego. Já o uso do APS também atua reduzindo as situações de risco, porém, aumenta a taxa de fluxo de tráfego.

Com o objetivo de estudar a relação entre as condições de tráfego e o risco experimentado pelos condutores num fluxo veicular, a aplicação do modelo microscópico de risco baseado na percepção do indivíduo considera os acidentes de forma endógena através da lógica de mudança de faixa e fornece um indicador da segurança relativo da via. Talebpour *et al*. (2012) avaliaram seis cenários rodoviários com diferentes níveis de risco. Os resultados mostram a importância de entender os acidentes através da simulação revelando o impacto que os congestionamentos podem ter em um cenário de risco. Para Astarita *et al.* (2012), a reprodução através da simulação do comportamento do condutor, sob diferentes condições de fluxo e geometria, pode identificar um perigo potencial de acidente e permitir adotar medidas apropriadas em pontos específicos da via. O modelo microscópico permite estimar o desempenho da segurança viária através de uma série de indicadores (Taxa de desaceleração para evitar colisão, Tempo de colisão, Proporção de distância de parada), representando interações em tempo real entre diferentes pares de veículos. Os autores utilizaram o modelo microscópico TRITONE, em que avaliaram a validade de uma estrutura microscópica para identificar as interações potencialmente inseguras do movimento dos veículos com base no protocolo de comportamento dos motoristas, fornecendo um vínculo entre indicadores de desempenho de segurança simulados e interações de veículos de alto risco observadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A imprevisibilidade dos acidentes de trânsito, de uma maneira geral, está relacionada também à incipiência de técnicas para avaliar o desempenho da segurança viária que pode ser superada com o uso de microssimuladores de tráfego. Esse trabalho propôs revisar a literatura atual referente ao uso de simuladores na segurança viária para uma melhor compreensão do potencial de utilização dessas ferramentas para esse propósito. Com a revisão realizada foi possível identificar diferentes abordagens bem como lacunas que abrem oportunidades para pesquisas futuras, sobretudo em modelos de simulação que viabilizem a adequada representação comportamental dos usuários do sistema viário.

Os microssimuladores atualmente disponíveis não foram concebidos para modelar a ocorrência de acidentes de trânsito. Todavia, a simulação computacional das condições operacionais que geram conflitos no tráfego pode permitir a adoção de uma abordagem mais eficaz, reduzindo a necessidade de observações e viabilizando realizar o diagnóstico da segurança viária. Essa conclusão está embasada na crítica conceitual aqui realizada dos trabalhos analisados, na qual se constata o desenvolvimento do uso de simulação na segurança viária, o que propicia a obtenção de maneira econômica e eficiente das informações necessárias à sua determinação enquanto ferramenta confiável e oportuna de pesquisa nessa área.

Os resultados mostram ainda a importância de entender os acidentes de trânsito através da simulação, revelando o impacto que os congestionamentos podem ter em um cenário de risco. A revisão detalhada da literatura identificou os *softwares* VISSIM, PARAMICS, TRITONE, AIMSUN, CORSIM e TWOPAS, como as ferramentas de microssimulação mais utilizadas em

pesquisas voltadas à segurança viária. Nesses estudos diferentes cenários de tráfego e diferentes modelos de simulação puderam ser avaliados. Assim, os simuladores mostram-se como uma importante ferramenta para validar soluções de segurança viária antes da sua aplicação.

Estudos voltados ao uso de dispositivos de apoio à condução tais como ACC e APS, buscam reduzir a influência do fator humano na ocorrência de acidentes e aumentar a capacidade das vias. Os resultados dessas pesquisam sugerem um elevado potencial da simulação especialmente nos casos em que procura representar o comportamento individual dos motoristas.

Em resumo, a revisão da literatura permitiu observar uma série abordagens e oportunidades na utilização de simuladores de tráfego na segurança viária. Destaca-se que os simuladores permitem representar a dinâmica dos diferentes componentes de uma rede em diferentes cenários, trazendo desde informações da geometria da via até informações complexas relacionadas com o comportamento humano e o impacto de diferentes cenários no fluxo viário e segurança do tráfego.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. R. S. (2004). Análise das condições de aplicabilidade de medidas de acalmia de tráfego. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.

ARCHER, J. (2005) Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections. Tese de Doutorado, Department of Infrastructure. Royal Institute of Technology, Sweden.

ARCHER, J., E YOUNG, W. (2010) Signal Treatments to Reduce the Likelihood of Heavy Vehicle Crashes at Intersections: Microsimulation Modeling Approach. Journal of Transportation Engineering, 136(7), 632–639. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000125

ASTARITA, V., GUIDO, G., VITALE, A., e GIOFRÉ, V. (2012) A new microsimulation model for the evaluation of traffic safety performances. European Transport - Trasporti Europei, (51), 1–16. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.817

BARCELÓ, J., A. DUMONT, L. MONTERO, J. PERARNAU e A. TORDAY (2003) Safety indicators for microsimulation–based assessments. In Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.

BIDDLESTONE, S., MEMBER, S., REDMILL, K., e MEMBER, S. (2012) An Integrated 802 . 11p WAVE DSRC and Vehicle Urban (LOS and NLOS) Propagation Models. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13(4), 1–11.

CHAVES, F. C. (2017) Avaliação do desempenho de medidas de acalmia de tráfego através de micro simulação de tráfego. Dissertação de mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação. Instituto Politécnico de Viseu. Portugal.

CHUN, K., GOH, K., CURRIE, G., SARVI, M., e LOGAN, D. (2014) Investigating the Road Safety Impacts of Bus Priority Using Experimental Micro-Simulation Modelling. Transportation Research Board 93rd Annual Meeting. January 12-16, Washington, D.C., 50(2402), 1–16. doi:10.3141/2402-02

COSTA, H. G. (2010) Modelo para webibliomining: proposta e caso de aplicação. Revista da FAE, v. 13, n. 1, p. 115-126.

CUNTO, F. J. C. (2008) Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation. Tese de Doutorado, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Ontário, Canadá.

CUNTO, F. J. C. e C. F. G. LOUREIRO (2011) O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária. Revista Transportes.

GETTMAN, D. e L. HEAD (2003) Surrogate safety measures from traffic simulation models. Federal Highway Administration ‘report RD-03-050. McLean, VA, USA.

GREGORIADES, A., SUTCLIFFE, A., PAPAGEORGIOU, G., e LOUVIERIS, P. (2010) Human-Centred Safety Analysis of Prospective Road Designs. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A, 40(2), 236–250.

GUEDES, V. L.S.; BORSCHIVER, S. (2005) Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação

e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica.Encontro Nacional de Ciência da Informação, v. 6, p. 1-18, 2005.

HABTEMICHAEL, F. G., e DE PICADO-SANTOS, L. (2013) The impact of high-risk drivers and benefits of limiting their driving degree of freedom. Accident Analysis and Prevention, 60, 305–315. doi:10.1016/j.aap.2013.05.013

HEGEMAN, G., TAPANI, A., e HOOGENDOORN, S. (2009) Overtaking assistant assessment using traffic simulation. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 17(6), 617–630. doi:10.1016/j.trc.2009.04.010

HELLINGA, B., e MANDELZYS, M. (2011) Impact of Driver Compliance on the Safety and Operational Impacts of Freeway Variable Speed Limit Systems. Journal of Transportation Engineering, 137(4), 260–268. doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000214

HENCLEWOOD, D., e HALL, M. (2009) A dynamic interactive vehicle model for modelling traffic beyond the microscopic level. International Journal of Vehicle Information and Communication Systems, X(Xxxx). doi:http://dx.doi.org/10.1504/IJVICS.2009.027745

HUGUENIN, F., A. TORDAY e A. G. DUMONT (2005) Evaluation of traffic safety using microsimulation. In Proceeding of the 5th Swiss Transport Research Conference.

HYDÉN, C. (1987) The development of a method for traffic safety evaluation: The swedish traffic conflicts technique. Bulletin 70. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

LEE, C. K., YUN, I., CHOI, J. H., KO, S. JIN, e KIM, J. Y. (2013) Evaluation of semi-actuated signals and pedestrian push buttons using a microscopic traffic simulation model. KSCE Journal of Civil Engineering, 17(7), 1749–1760. doi:10.1007/s12205-013-0040-7

OKAMURA, M., A. FUKUDA, H. MORITA, H. SUZUKI, e M. NAKAZAWA, (2011) Impact Evaluation of a Driving Support System on Road Safety and Simulation. On: 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, September 14-16, 2011, Indianapolis, USA.

OZBAY, K., YANG, H., BARTIN, B., e MUDIGONDA, S. (2008) Derivation and Validation of New Simulation-Based Surrogate Safety Measure. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2083, 105–113. doi:10.3141/2083-12.

PAUWELUSSEN, J., e FEENSTRA, P. J. (2010) Driver behavior analysis during ACC activation and deactivation in a real traffic environment. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 11(2), 329–338. doi:10.1109/TITS.2010.2043099

RIVERA, R. G. (2005) Calibración del Microsimulador AIMSUN para flujo ininterrumpido en la ciudad de Concepción. Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de Ingeniero Civil. UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO. Chile.

ROESS, R. P., PRASSAS, E. S., & MCSHANE, W. R. (2011). Traffic engineering. (4th ed.) Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.

RONG, J., MAO, K., e MA, J. (2011) Effects of Individual Differences on Driving Behavior and Traffic Flow Characteristics. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2248, 1–9. doi:10.3141/2248-01.

SCHÖNHOF, M., TREIBER, M., KESTING, A., e HELBING, D. (2006) Autonomous detection and anticipation of jam fronts from messages propagated by inter-vehicle communication., 3–12. doi:10.3141/1999-01.

SIUHI, S., e KASEKO, M. (2016) Incorporating vehicle mix in stimulus-response car-following models. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 3(3), 226–235. doi:10.1016/j.jtte.2016.05.002.

SONI, G. E R. KODALI (2011). A CRITICAL ANALYSIS OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT CONTENT IN EMPIRICAL RESEARCH. BUSINESS PROCESS MANAGEMENT JOURNAL, V. 17, N. 2, P. 238-266. DOI: 10.1108/14637151111122338.

SOUSA, J. Q. (2012). Modelagem microscópica aplicada na avaliação do desempenho da segurança viária em interseções urbanas. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Fortaleza.

TALEBPOUR, A., MAHMASSANI, H. S., e HAMDAR, S. H. (2012) Safety First Microsimulation Approach to Assessing Congestion Effects on Risk Experienced by Drivers. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2316, 106–113. doi:10.3141/2316-12.

TRANFIELD, D.; D. DENYER e P. SMART (2003). Toward a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review. British Journal of Management, n. 14, p.207-222. DOI: 10.1111/1467-8551.00375.

UMEDU, T., ISU, K., HIGASHINO, T., e TOH, C. K. (2010) An intervehicular-communication protocol for distributed detection of dangerous vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 59(2), 627–637. doi:10.1109/TVT.2009.2035041.

VAN DRIEL, C. J. G., e VAN AREM, B. (2010) The Impact of a Congestion Assistant on Traffic Flow Efficiency

and Safety in Congested Traffic Caused by a Lane Drop. Journal of Intelligent Transportation Systems, 14(4), 197–208. doi:10.1080/15472450.2010.516226.

VILARINHO, C., & TAVARES, J. P. (2012). Traffic Model Calibration: A Sensitivity Analysis. In Procedings of EWGT2012: 15th meeting of the EURO working group on transportation.

WANG, W.-H., DING, C.-X., FENG, G.-D., e JIANG, X.-B. (2010) Simulation modelling of longitudinal safety spacing in inter-vehicles dynamics interactions. Journal of Beijing Institute of Technology (English Edition), 19(SUPPL. 2), 55–60.

WHO (2017) Number of road traffic death in 2010. Disponível em: <http://www.who.int/gho/road_safety/mortality/traffic_deaths_number/en/> Acesso em: junho de 2017.

XIN, W., HOURDOS, J., MICHALOPOULOS, P., e DAVIS, G. (2008) The Less-Than-Perfect Driver: A Model of Collision-Inclusive Car-Following Behavior. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2088*, 126–137. doi:10.3141/2088-14

Rogério Lemos Ribeiro (rogerio.ribeiro@ufu.br)
Carlos Magno da Silva Oliveira (carlosmagno.oliveira@uol.com.br)
Alex Heriberto Rojas Alvarado (alessi1985@hotmail.com)
Paulo Cesar Marques da Silva (pcmsilva@unb.br)
Michelle Andrade (michelleandrade@unb.br)
Laboratório de Transporte e Tráfego - LTT
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

IMPACTO DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS ADVERSAS NA VELOCIDADE DE FLUXO LIVRE E DE FLUXO DE SATURAÇÃO EM VIAS URBANAS

Rodrigo Marinho Moreira
Sued Lacerda Costa
Flávio José Craveiro Cunto
Departamento de Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará

RESUMO
O aspecto comportamental no processo de condução é bastante susceptível a variações, o que tende a influenciar na capacidade e na segurança viária. Em especial, as mudanças nas condições meteorológicas provocam a adaptação comportamento do condutor para compensar, por exemplo, a pista escorregadia em virtude da ocorrência de chuvas. Assim, objetivando caracterizar de uma maneira objetiva as duas situações distintas, horários de pluviosidade recorrente ou não, este trabalho propôs dois métodos de estudo e análise com base em dois parâmetros comumente usados, a velocidade de fluxo livre (VFL) e o fluxo de saturação (S). Os resultados indicaram redução média da velocidade de fluxo livre de aproximadamente 2% e redução média do fluxo de saturação em 6%. Estes valores encontrados corroboram com a hipótese de que os condutores ajustam levemente seu tipo de condução, adotando um perfil um pouco mais cauteloso ao conduzir o veículo na condição chuvosa.

Palavras-chave: comportamento do condutor, condições ambientais adversas, velocidade de fluxo livre, fluxo de saturação

ABSTRACT
The behavioral aspect in the driving process is very susceptible to variations, which tends to influence on both capacity and road safety. Specially, changings in environmental conditions may cause drivers' adaptation to compensate, for instance, slippery road during rainy hours. Thus, in order to characterize these two different situations, dry pavement and wet pavement after rainy conditions, this work proposes two methods of study and analysis based on two commonly used parameters: free flow speed and saturation flow. The results indicated that there was an average free-flow speed reduction of approximately 2% and an average saturation flow reduction of 6%. These results corroborate the hypothesis that drivers slightly adjust their driving style, adopting more cautious ways of conducting their vehicles when driving under rainy conditions.

Key-words: driver behavior, adverse climate conditions, free-flow speed, saturation flow

1. INTRODUÇÃO

O aspecto comportamental no processo de condução é bastante susceptível a variações, o que tende a influenciar na capacidade e na segurança viária. O comportamento do condutor vem sendo consistentemente relacionado aos fatores contribuintes dos acidentes de trânsito (Evans, 2004). Em especial, as mudanças nas condições meteorológicas durante o processo de condução provocam a adaptação do condutor para compensar aspectos como menor visibilidade e pista escorregadia em virtude de situações de chuva e neve (Oh *et al.*, 2002; Prevedouros *et al.*, 2003).

Dentre os parâmetros mais influenciados pelas condições meteorológicas estão a velocidade de fluxo livre (VFL) e o fluxo de saturação (S). Como a VFL leva em conta situações sem influência de impedâncias no tráfego, ela, então, pode sofrer variações devido a condições ambientais a qual os veículos estão dispostos. Por exemplo, a VFL para momentos chuvosos tende a ser menor do que em horas de pavimento seco, pois o motorista, em situações de pavimento molhado, tende a ser mais cauteloso e cuidadoso na velocidade desenvolvida na via (Oh *et al.*, 2002; Prevedouros *et al.*, 2003; Evans, 2004).

Considerando o fluxo veicular em regime interrompido, o fluxo de saturação (S) ou o

headway de saturação (h_s) são os principais indicadores utilizados para avaliar o comportamento de condução na capacidade da via e também podem ser influenciados pela presença de condições adversas. Neste caso, um comportamento mais cauteloso seria evidenciado em condições de chuva ou de neve pela redução do S ou pelo aumento de h_s (Agbolosu-Amison *et al.*, 2004; Asamer *et al.*, 2011).

Apesar da importância da compreensão do impacto dessas condições no comportamento do condutor, estudos focados nessa compreensão aplicados ao ambiente urbano das cidades brasileiras ainda não estão amplamente disponíveis. Este trabalho tem por objetivo avaliar o impacto de condições adversas de tráfego (chuva) na velocidade de fluxo livre e no fluxo de saturação no ambiente urbano brasileiro através de uma aplicação para a cidade de Fortaleza.

2. IMPACTO DE CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO FLUXO VEICULAR

As condições adversas de tempo (chuva e neve) tendem a impactar diretamente ao condutor, ao veículo e às rodovias. Esses efeitos podem ser observados sobremaneira na VFL desenvolvida, além de influenciarem na capacidade viária do trecho estudado, já que o *headway* entre os veículos tende a aumentar. No estudo realizado em vias de fluxo ininterrupto, Prevedouros *et al*. (2003) observaram uma redução de cerca de 10% na VFL para pluviosidade leve e 16% para situações de pluviosidade intensa (intensidades definidas a partir dos dados da *Federal Highway Administration*). No tocante à capacidade, a média de redução para condições de pluviosidade leve foi de 8,4%, chegando a 20% em condições de chuva intensa.

Oh *et al.* (2002) investigaram a influência de situações de neve e chuva na VFL e na velocidade média durante o dia e noite. O estudo ocorreu em duas pontes de fluxo ininterrupto localizadas na Coréia do Sul, a partir de dados do sistema de tráfego inteligente operante nas vias. Mais uma vez, os resultados encontrados foram a redução do valores de VFL, mais abruptamente para situações de neve (7%) quando comparadas ao cenário de chuva (2% de redução). Os autores também realizaram uma comparação referente às mesmas situações citadas anteriormente dessa vez durante a noite, obtendo reduções na VFL de 5% para neve e 6% para chuva.

Para trechos urbanos ressalta-se o trabalho de Asamer *et al.* (2010) que teve como foco avaliar o impacto de chuva e neve na capacidade e VFL em vias arteriais urbanas de Viena, Áustria, utilizando-se de dados de trinta e cinco sensores fixos na pista com um minuto de agregação. Como resultados, foram notadas reduções significativas na capacidade e VFL das vias estudadas, com destaque para a comparação feita entre a situação de neve e pavimento seco apresentando uma redução de aproximadamente 40%.

Com relação ao fluxo interrompido, o fluxo de saturação (S) como medida que representa a taxa de fluxo máxima que pode ser obtida na descarga da fila na aproximação (Setti, 2002), tem sido constantemente utilizada para representar o nível de agressividade no processo de condução. Agbolosu-Amison *et al.* (2004) propuseram um estudo sobre a influência de variadas condições meteorológicas no fluxo de saturação e tempo perdido inicial para uma interseção semaforizada escolhida em Burlington, Estados Unidos. Foram coletadas 30 horas de filmagens dentro de um período de três meses. A análise foi feita para seis diferentes situações, variando desde pavimento completamente seco à condição de neve. Os resultados obtidos não foram categóricos para o tempo perdido inicial, já que a diferença apresentada,

depois de estudos estatísticos, foi quase nula. Entretanto, para o S, a variação chegou a ser de 18%, quando comparadas as condições de pavimento seco e pavimento com neve severa.

Em um estudo visando a calibração de microssimuladores de tráfego, Asamer *et al.* (2011) estimaram o S para cinco categorias de condição superficial, desde pavimento seco a chuva intensa e pavimento com neve. Foram avaliadas três interseções semaforizadas para um período amostral de quatro dias. Como resultados relevantes os autores encontraram uma redução do S em até 30% para vias totalmente cobertas por neve, e de até 20% com neve derretida. Em relação às condições de pavimento molhado, entretanto, houve redução estatisticamente significativa (14,8%) para apenas uma das três interseções.

Apesar da aparente consistência observada na literatura internacional a respeito de haver diferenças nos indicadores de VFL e S para as diversas condições meteorológicas, indicando uma tendência de redução desses indicadores para os cenários de pavimento seco e molhado, os estudos apresentam alguma variabilidade em termos da magnitude dessa redução. Além disso, o impacto dessas condições meteorológicas no comportamento de condução no ambiente urbano das cidades brasileiras ainda não foi amplamente estudado.

3. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

A seguir serão discutidas as etapas de trabalho executadas para a avaliação da VFL e S em condições de pavimento seco e molhado em áreas urbanas de Fortaleza.

3.1. Velocidade de Fluxo Livre

O método de estimação da VFL implementado foi baseado no dados de fiscalização eletrônica disponibilizados pelo Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR) em vias arteriais urbanas de fluxo ininterrupto. A sequência de atividades desenvolvidas foi: a) Seleção dos trechos arteriais ininterruptos; b) Seleção das amostras para situações com e sem precipitação; c) Filtragem dos dados para isolar os automóveis com observações válidas e; d) Estimação da VFL e análise comparativa para os dois cenários meteorológicos (Figura 1).

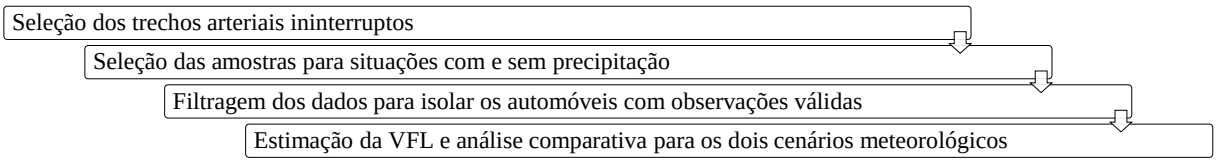


Figura 1: Fluxograma do método utilizado para determinação da velocidade de fluxo livre

3.1.1 Seleção dos trechos arteriais ininterruptos

Para selecionar o pareamento ideal para coleta e análise da VFL, foram utilizados os seguintes critérios: foram selecionados trechos com geometria (largura e número de faixas) constante de vias urbanas com fluxo ininterrupto, e que apresentassem dois equipamentos de fiscalização subsequentes; no trecho não deveria constar a presença de quaisquer equipamentos de controle tráfego (semáforos) ou interseções não-semaforizadas; e, uma vez que a proposta de avaliar o trecho para situações chuvosas também foi apresentada, o trecho deveria estar a uma proximidade de até 10 km de distância da Plataforma de Coleta de Dados (PCD), local onde são registrados e coletados os dados de precipitações. Com os pares definidos, as distâncias entre os fotossensores foram obtidas utilizando-se o *Google Earth Pro* (Figura 3).

3.1.2 Seleção das amostras para situações com e sem precipitação

Para avaliar os horários chuvosos, bem como suas respectivas intensidades, foi necessária a coleta dos dados de precipitação por hora. Essas informações meteorológicas foram disponibilizadas pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), a partir do registro e armazenamento de dados de pluviometria horária feitos pela PCD, instalada no *campus* da Universidade Estadual do Ceará (UECE).

As chuvas consideradas de influência significativa no comportamento do condutor e na caracterização do pavimento como escorregadio foram aquelas com pluviometria acima de 1,0 mm/h. A partir disso, as precipitações foram agrupadas segundo faixas de intensidade propostas por Billot *et al.* (2009): a) leve, abaixo de 2,0 mm/h; b) moderada, de 2,0 a 3,0 mm/h; c) intensa, acima de 3,0 mm/h. Por último, foi feita a seleção dos dias com horas sem nenhuma precipitação coletada (0,0 mm/h) de maneira aleatória e que apresentassem semelhança no número de dados das amostras de condição chuvosa.

Após essa filtragem dos dados para ambas as situações estudadas, partiu-se, então, para a seleção dos dias correspondentes no banco de informações de fiscalização eletrônica disponibilizadas pelo CTAFOR. Visando agilizar as etapas posteriores, realizou-se uma filtragem dos dados selecionando apenas os referentes a veículos de passeio e cujos registros tivessem sido coletados por um dos seis fotossensores delimitados no item 3.1.1.

3.1.3 Filtragem dos dados para isolar os automóveis com observações válidas

Com os dados de fiscalização eletrônica filtrados da etapa anterior, utilizou-se de um programa escrito em linguagem *python* para facilitar a organização e a análise deles. A rotina desenvolvida seguiu a seguinte lógica de organização: o programa primeiro identifica todas as vezes em que a placa é registrada mais de uma vez, e as agrupa; a seguir, ele separa esse agrupamento agora com base nos pares de fotossensores estudados, sempre organizando-os par a par; por último, ele realiza uma checagem sobre o tempo levado para percorrer o determinado espaço entre o par, já que, em algumas situações, esse tempo era superior a três horas, o que indica que o veículo pode ter sido registrado apenas uma vez na ida e outra na volta. Nesse caso, esse registro é desconsiderado da análise subsequente.

3.1.4 Estimação da VFL e análise comparativa para os dois cenários meteorológicos

Primeiramente, os dados registrados para cada situação foram analisados, no intuito de avaliar se o volume veicular poderia ser classificado como baixo o suficiente para se enquadrar na situação definida como sendo de fluxo livre. Para esta avaliação, considerou-se que o fluxo veicular de até 300 veic/h/fx poderia ser considerado como de fluxo livre, podendo desprezar a possiblidade de formação de fila como efeito de veículos pesados. Os horários selecionados para análise foram de 23h00 da noite às 04h00 da madrugada, por serem a faixa horária que satisfizeram o limite atribuído para admitir a situação de fluxo livre.

A VFL foi obtida através da extração dos tempos de viagens dos n veículos passantes em cada um dos pares avaliados. Uma vez conhecida a distância entre cada par, foi determinada a velocidade média no espaço para cada veículo registrado. Em seguida, avaliou-se se a VFL apresentava alguma relação ou tendência com a intensidade das precipitações. Para isso, foram determinados vários parâmetros de estatística descritiva no intuito de melhor caracterizar as amostras coletadas (tamanho amostral, média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, gráficos de distribuição acumulada, variados percentis). Além disso, foram feitos testes de probabilidade no intuito de saber se a diferença encontrada para cada

situação poderia ser considerada estatisticamente aceitável. Partindo da premissa da normalidade amostral, realizou-se teste de hipótese bicaudal t, com grau de confiança (α) de 5%, sendo a igualdade das médias a hipótese nula (H_0).

3.2. Fluxo de Saturação/*Headway* de Saturação

O método adotado foi baseado no Apêndice 6 do Manual de Sinalização Semafórica do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2014), porém utilizando ferramentas de processamento de vídeo semiautomático a partir das câmeras de circuito fechado (CFTV) disponibilizadas pelo CTAFOR, tanto para dias de chuvas quanto para dias sem pluviosidade. A sequência de atividades para este indicador foi: a) Seleção das interseções semaforizadas; b) Aquisição das Imagens; c) Estimação dos *headways* de saturação (h_s); d) Estimação do Fluxo de Saturação e análise comparativa dos dois cenários (Figura 2).

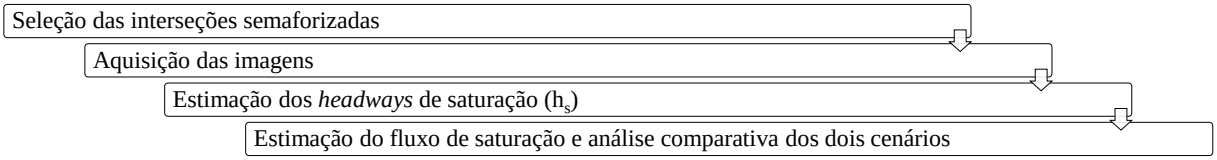


Figura 2: Fluxograma do método utilizado para determinação do fluxo de saturação

3.2.1 Seleção das Interseções Semaforizadas

O sistema do CTAFOR conta atualmente com 34 câmeras ativas CFTV instaladas em interseções semaforizadas de Fortaleza. A seleção dos locais para estimação do FS foi feita com base nos critérios de visibilidade e de alcance da câmera, influência das interseções à jusante e disponibilidade de fixação do posicionamento para a filmagem.

Quanto à visibilidade e ao alcance, foram escolhidas câmeras que captassem toda ou maior parte da fila de carros formada na interseção, bem como a faixa de retenção de cada aproximação. Não haver qualquer tipo de empecilho na visualização completa da via, por exemplo, prédios, casas e árvores, também fez parte dos critérios para escolha. A influência das interseções logo à jusante foi outro parâmetro escolhido, pois interseções que têm pontos de interrupção recorrente à jusante tendem a influenciar nos valores de h_s. Por último, deveria haver a disponibilidade de fixação das câmeras, já que todas elas estão ativas e são constantemente usadas pelos agentes de trânsito. Optou-se por escolher aquelas que pudessem ser fixadas por tempo determinado sem que houvesse qualquer prejuízo à fiscalização do tráfego. Assim, a amostra utilizada para a aquisição de imagens utilizou um total de 13 câmeras das 34 possíveis.

3.2.2 Aquisição das Imagens

Após a definição dos locais das filmagens, procedeu-se com a determinação das posições das câmeras a serem usadas (*preset*). O posicionamento das câmeras foi feito de modo a enquadrar de forma adequada tanto a faixa de retenção da interseção semafórica quanto a fila de carros formada nela. Para que isso ocorresse, em algumas delas não foi possível focar também nos grupos focais do semáforo, consequentemente não foi possível estimar o momento exato de início de verde, entretanto, não houve prejuízo na estimação do h_s o qual é coletado a partir do quarto veículo descarregado.

A faixa horária definida para o acionamento do *preset* foi aquela em que fluxo no regime operasse igual ou acima da capacidade (demanda > oferta), assim, estipulada de 07h00 às

08h30. Quando houvesse chuva iniciando-se por volta das 07h00, o operador de plantão do CTAFOR era instruído a acionar os *preset* e deixá-los em atividade até às 08h30. Para os dias secos, seguiu-se o mesmo procedimento.

3.2.3 Estimação dos Headways de Saturação (h_s)

O objetivo desta parte da análise é determinar o fluxo de saturação veicular dos equipamentos selecionados. Veículos como ônibus, caminhões de grande porte e motocicletas não entraram na coleta. Fizeram parte da análise apenas as faixas em que a maioria do fluxo fosse de carros. Outro ponto importante dessa etapa são as faixas de conversões e as faixas da direita, para veículos mais lentos. Notou-se que em algumas faixas, a taxa de conversões de ônibus era muito alta, o que as excluiu da análise. Quanto às faixas da direita, também foram excluídas aquelas que tinham fluxo intenso de ônibus, mesmo não sendo definidas como corredores exclusivos de transporte público.

A partir das filmagens obtidas, utilizou-se do programa *FreeStopWatch* para coleta propriamente dita dos *headways*. Foi escolhido esse programa, pois é de fácil manuseio e também gera os dados dos *headways* em formato *txt*, agilizando bastante a etapa posterior de filtragem e organização dos dados, uma vez que serão exportados diretamente para o *Microsoft Excel*. A sequência da coleta foi conduzida da seguinte forma: os carros iniciaram o processo de partida (situações em que o tempo de verde se iniciava, constatado no foco semafórico), acionou-se o programa; após o passar do para-choque traseiro do primeiro veículo pela faixa de retenção, acionou-se novamente. Nessa lógica, já estava definido, então, o primeiro *headway*. Seguiu-se com essa metodologia em diante para os veículos na sequência, sempre acionando o programa quando o para-choque traseiro passasse pela faixa de retenção.

Vale ressaltar as situações de término da contagem para prosseguimento ao novo ciclo semafórico. Uma primeira situação é quando a caixa de tráfego à jusante do semáforo analisado encontra-se saturada, o que influencia no descarregamento da fila imediatamente anterior. Nesses casos, foi feita a contagem até o último carro que não sofresse influência à jusante. Por último, situações evidenciadas em que a fila foi totalmente descarregada, e chegam outros veículos, geralmente em alta velocidade, mantendo distâncias não muito grandes do último da fila que descarregou. Esses veículos que chegaram após a descarga da fila são desconsiderados. No processo de avanço da filmagem até o próximo ciclo semafórico, padronizou-se um intervalo de 20 segundos para facilitar a organização e filtragem dos dados da próxima etapa.

A partir dos dados brutos provenientes programa de coleta utilizado, é feita uma organização em ordem numérica, sempre recomeçando a contagem a partir do intervalo já definido de 20 segundos. Isso, além de organizar os *headways* dos veículos na ordem que eles aconteceram nas filmagens, já os divide também por ciclos semafóricos ao longo do período analisado.

A seguir, é feita uma filtragem dos dados para que sejam contabilizados a partir do quarto veículo. Isso foi pensado porque é a partir do quarto carro que o *headway* tende a estabilizar e se manter constante, além de ser recomendado pelo método do DENATRAN (2014). Além disso, essa exclusão dos quatro primeiros carros garante uma maior confiabilidade da análise, pois já desconsidera os tempos perdidos no início da aceleração e do processo de reação dos motoristas dos veículos iniciais.

Uma segunda filtragem é feita agora sobre os dados dos *headways*. Aqueles que tenham intervalo acima de quatro segundos são desconsiderados, tendo em vista que esses veículos perderam a continuidade dos demais, não mais caracterizando, assim, o regime de descarregamento da fila para medição do fluxo de saturação.

3.2.4 Estimação do fluxo de saturação e análise comparativa dos dois cenários
Com os dados filtrados, por ciclo, parte-se para a determinação do *headway* médio e do fluxo de saturação para o referente ciclo. A sequência considerada para a análise deve estar completa, sem nenhuma falha na continuidade *headways*. Em outras palavras, se para o determinado ciclo, houver uma sequência incompleta, mostra que algum dos veículos quebrou a descontinuidade da fila e foi desconsiderado na segunda filtragem da etapa 3.2.3. Além disso, só irá ser contabilizado o *headway* médio daqueles ciclos que no mínimo o quinto e sexto carros tenham sido aceitos nas fases de filtragem.

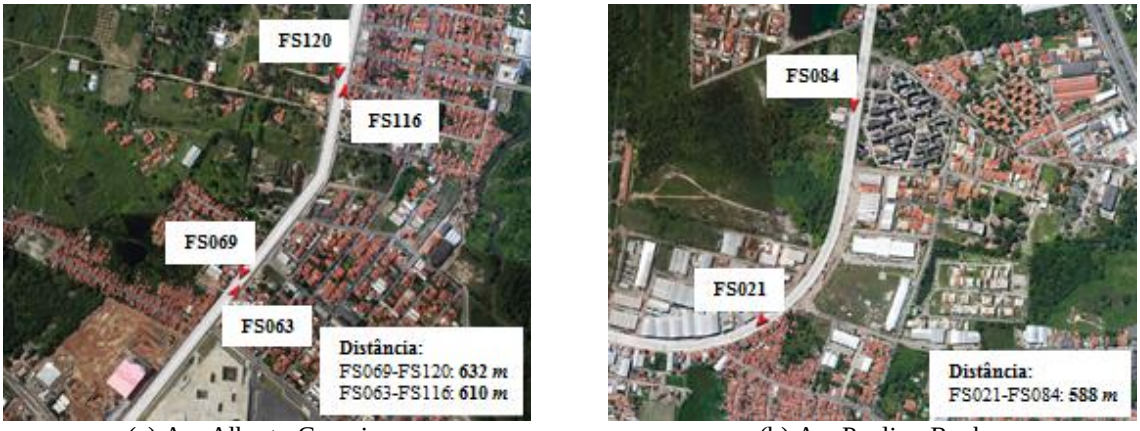
A partir da determinação dos *headways* médios, foi possível definir o S. Todos esses dados foram organizados e estudados estatisticamente, para isso, utilizando-se de parâmetros de estatística descritiva no intuito de melhor caracterizar as amostras coletadas (tamanho amostral, média, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, gráficos de distribuição acumulada, variados percentis). Vale ressaltar que também foram feitos testes de hipótese, semelhantes aos descritos no item 3.1.4.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos após o desenvolvimento do método proposto anteriormente. Os resultados são apresentados em dois blocos: i) Velocidade de Fluxo Livre; e ii) Fluxo de Saturação/*Headway* de Saturação.

4.1. Velocidade de Fluxo Livre (VFL)

Nesta etapa foram utilizados três pares de fotossensores para análise (Figura 3), escolhidos segundo o item 3.1.1. A apresentação dos resultados foi feita tanto agrupando as diversas intensidades em seus respectivos grupos (leve, moderada e intensa) quanto comparando a situação de chuva em si, ou seja, não importando o grau de intensidade da precipitação, em relação à situação de pavimento seco. O horizonte de estudo foi de três anos completos (2014 a 2016) e três meses (Janeiro a Março) de 2017 apenas sendo considerados os automóveis de passeio de placas coletadas dentro da faixa horária definida no item 3.1.4.



(a) Av. Alberto Craveiro (b) Av. Paulino Rocha

Figura 3: Três pares de fotossensores mapeados em Fortaleza para estudo da VFL

A partir da análise dos dados agrupados por intensidade (Figura 4), observa-se que, dentro do agrupamento de intensidades, a VFL não seguiu o padrão de diminuir à medida que a intensidade aumentasse. Para o par 021-084, a VFL em situações de intensidade leve e intensa foram praticamente as mesmas, enquanto que para o par 069-120, a VFL para intensidade moderada foi a de maior valor observado dentre os três grupos. O único par que apresentou resultados esperados foi o 063-116 que ficou evidenciado o decaimento da VFL entre as situações de chuva de intensidade leve, moderada e intensa.

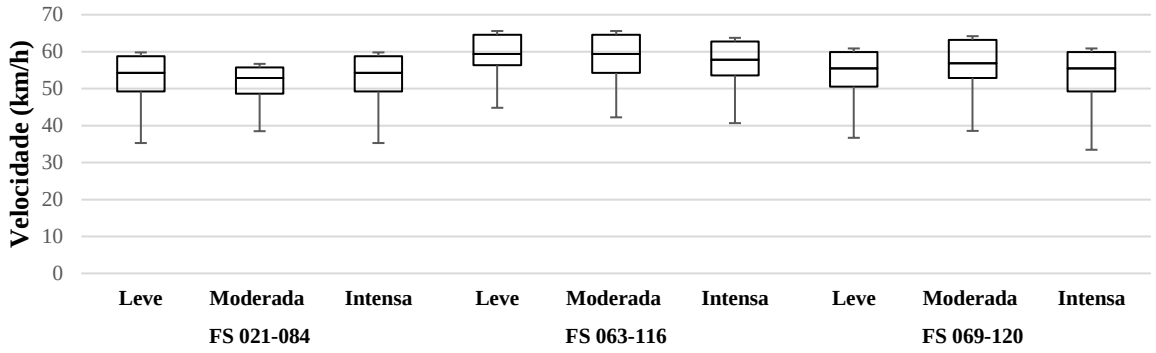


Figura 4: VFL em formato *boxplot* para variadas intensidades de chuvas

Quando comparadas as duas situações, chuva e seco, para os pares 021-084 e 063-116, evidenciou-se uma leve diferença entres as VFL médias, com maior destaque para o par 063-116, com 4% de variação. Na análise dos percentis desses dois pares notou-se que os valores da VFL para situações de pavimento seco sempre foram maiores ou iguais aos de situações chuvosas. Os resultados foram considerados conclusivos, pois houve evidência, a partir do teste de hipóteses, para rejeitar a hipótese nula de igualdade da médias (H_0).

Quanto ao par 069-120, embora havendo uma redução pequena da VFL entre a situação sem chuva e a de chuva, os resultados dos percentis foram contrários às suposições de redução da VFL entre essas situações distintas, principalmente quando observou-se o 85º percentil (maior valor para chuva quando comparado ao seco). Atrelado a isso, o teste de hipótese apresentou evidências para não rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias, o que mostra que os resultados obtidos podem ser descartados para esse par.

Tabela 1: Análise comparativa entre a VFL para as duas situações

Dados	**FS 021-084**		**FS 063-116**		**FS 069-120**	
	Seco	Chuva	Seco	Chuva	Seco	Chuva
n	5890	3087	1040	1009	727	502
$\bar{x}$	55,1	54,0	61,3	59,0	54,8	54,7
S_d	6,94	7,73	8,38	7,30	7,46	10,78
Δ (%)	1,95		3,77		0,18	
CV (%)	13	14	14	12	14	20
25º Percentil	50,4	49,2	56,3	54,9	50,6	50,6
50º Percentil	54,3	54,3	56,4	54,9	50,6	50,6
85º Percentil	62,3	62,3	68,6	66,5	61,5	63,2
P (T ≤ *t*)	0,000		0,000		0,851	
H_0	Rejeita		Rejeita		**Não Rejeita**	

Quando foram comparados os gráficos de distribuição acumulada da VFL (Figura 5), mais uma vez, os dois pares, 021-084 e 063-116, foram os que apresentaram diferenças

significativas. Notou-se que em ambos os pares, a curva de "seco" sempre esteve à direta da curva de "chuva", o que significa a adoção de velocidades maiores por parte dos condutores para essa situação sem pluviosidade aparente.

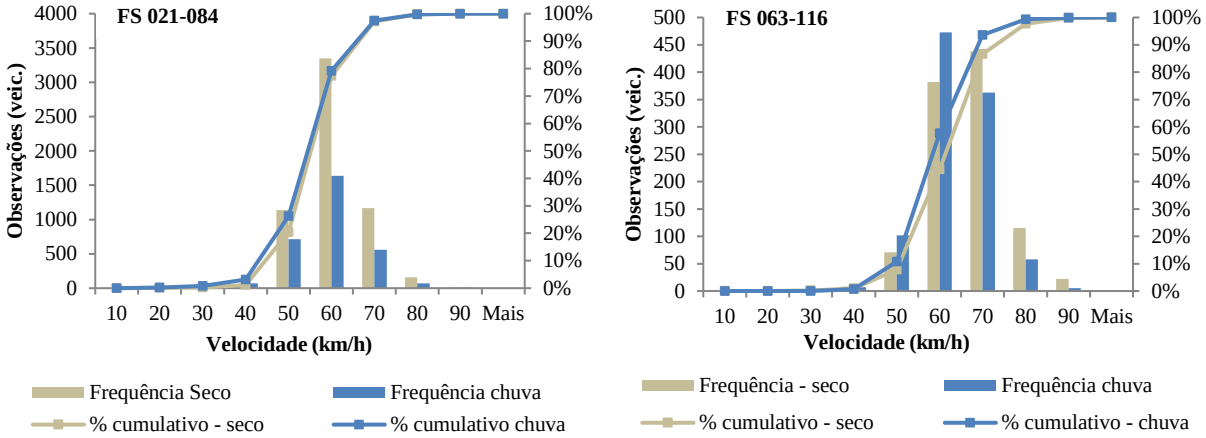


Figura 5: Distribuição percentual acumulada para os pares FS 021-084 e 063-116

Quanto ao par 069-120 (Figura 6), a curva de chuva inicia-se à esquerda para velocidades menores, mas desloca-se para a direita da curva de seco para valores de velocidades maiores. Isso representa que, para esse par, um maior número de condutores adotou velocidades maiores em situações de chuva quando comparado às velocidades dos dias em que não choveu.

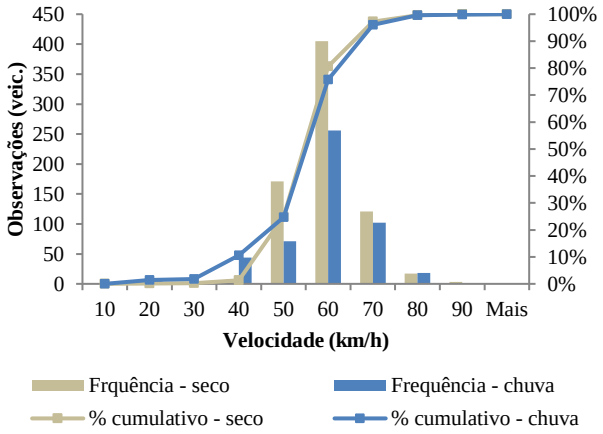


Figura 6: Distribuição percentual acumulada para os pares FS 069-120

4.2. Fluxo de Saturação/*Headway* de Saturação

A partir da delimitação do espaço amostral de 13 câmeras de interseções semaforizadas diferentes (Figura 7), obtiveram-se 25 FS, sendo eles agrupados em quatro categorias de faixas de trânsito: aquelas que só poderia convergir à esquerda (CE); ir reto ou convergir à esquerda (E); ir reto somente (R); e convergir à direita ou ir reto (D). Para cada local estudado, a partir de suas características de tráfego, estimou-se pelo menos um FS para uma faixa. O estudo teve um horizonte de coleta de quatro dias, sendo dois de chuva e dois de pavimento seco, com horas de medição das 07h00 às 08h30, como já definido anteriormente.



(a) C11 (b) C15 (c) C32

Figura 7: Exemplos de filmagens utilizadas

Nesta seção, optou-se por avaliar os *headways* de saturação (h_s) no intuito de se obter melhor entendimento a respeito das influências meteorológicas no comportamento dos condutores, uma vez que o indicador representa o tempo entre veículos consecutivos durante o descarregamento da fila no tempo de verde. Pelos resultados da Tabela 2, notou-se que em apenas três situações não se observou redução percentual (Δ) do h_s da condição chuvosa para seca, o que representa 12% das observações; para o resultado dos testes de hipótese, em onze observações (44%) não se pôde rejeitar a hipótese de igualdade das médias.

Tabela 2: *Headways* de saturação das interseções para todos os movimentos

Movimento	Interseção	Chuva			Seco			Δ (%)	Teste de Hipótese	
		n	$\bar{x}$	S_d	n	$\bar{x}$	S_d		P (T ≤ *t*)	H_0
	C21	25	2,56	0,31	23	2,43	0,21	5%	0,109	**Não Rejeita**
	C22	20	2,24	0,42	26	2,26	0,44	-1%	0,873	**Não Rejeita**
	C11	24	2,17	0,36	25	2,15	0,43	1%	0,857	**Não Rejeita**
	C15	18	2,40	0,28	23	2,34	0,23	3%	0,415	**Não Rejeita**
	C18	22	2,47	0,28	34	2,51	0,28	-2%	0,617	**Não Rejeita**
	C20	15	2,57	0,24	34	2,24	0,34	13%	0,000	Rejeita
	C21	27	2,37	0,24	45	2,20	0,29	7%	0,013	Rejeita
	C24	34	2,38	0,37	43	2,17	0,31	9%	0,010	Rejeita
	C28	35	2,41	0,28	13	2,19	0,21	9%	0,007	Rejeita
	C32	25	2,20	0,20	49	2,02	0,21	8%	0,001	Rejeita
	C33	22	2,24	0,22	58	2,07	0,21	8%	0,003	Rejeita
	C37	44	2,34	0,35	56	2,16	0,27	7%	0,008	Rejeita
	C42	27	2,33	0,23	38	2,10	0,23	10%	0,000	Rejeita
	C11	26	2,30	0,35	45	2,09	0,25	9%	0,013	Rejeita
	C18	23	2,53	0,41	34	2,34	0,28	7%	0,074	**Não Rejeita**
	C22	24	2,28	0,23	43	2,06	0,27	10%	0,001	Rejeita
	C28	25	2,26	0,30	20	2,36	0,37	-5%	0,322	**Não Rejeita**
	C32	22	2,44	0,43	40	2,31	0,31	5%	0,224	**Não Rejeita**
	C37	48	2,14	0,26	51	1,96	0,20	8%	0,000	Rejeita
	C44	9	2,50	0,28	16	2,25	0,33	10%	0,055	**Não Rejeita**
	C15	20	2,55	0,37	25	2,32	0,31	9%	0,029	Rejeita
	C20	13	2,46	0,27	20	2,21	0,29	10%	0,019	Rejeita
	C21	30	2,31	0,24	44	2,28	0,20	1%	0,620	**Não Rejeita**
	C22	20	2,41	0,28	43	2,14	0,31	11%	0,001	Rejeita
	C32	14	2,58	0,19	8	2,53	0,31	2%	0,739	**Não Rejeita**

Em seguida, agruparam-se os equipamentos por movimento, considerando que todas as condições são mantidas, e avaliou-se novamente a existência de impacto da condição ambiental no *headway* de saturação. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos, em que para todos os movimentos houve redução de 3 a 8% nos *headways* de saturação. Pelos resultados do teste de hipóteses, apenas para o movimento exclusivo de convergir à esquerda (CE) não

se rejeitou a hipótese nula da igualdade das médias. Este resultado pode ser interpretado devido à necessidade da redução de velocidade para a conversão,

Tabela 3: *Headways* de saturação de todos os fotossensores agrupados para todos os movimentos

Movimento	Chuva			Seco			Δ (%)	Teste de Hipótese	
	n	$\bar{x}$	S_d	n	$\bar{x}$	S_d		P (T ≤ *t*)	H_0
	45	2,415	0,385	49	2,342	0,361	3%	0,3435	**Não Rejeita**
	293	2,347	0,304	418	2,177	0,300	7%	0,0000	Rejeita
	177	2,304	0,347	249	2,161	0,314	6%	0,0000	Rejeita
	97	2,438	0,290	140	2,250	0,288	8%	0,0000	Rejeita

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou a influência que adversidades meteorológicas, como situações chuvosas, têm sobre o estilo adotado de condução dos motoristas. Para isso, foram avaliados dois parâmetros que caracterizam o fluxo veicular nas duas condições (seco e chuva), a velocidade de fluxo livre e o fluxo de saturação. A velocidade de fluxo livre foi estimada a partir de combinação de três pares de equipamentos de fiscalização eletrônica os quais monitoram o tempo de passagem em cada equipamento. Os cenários de pavimento seco e condição chuvosa foram estabelecidos a partir do banco de dados de pluviometria da FUNCEME para os anos de 2014 a 2017. Para o fluxo de saturação foram utilizadas imagens das câmeras do CTAFOR em interseções semaforizadas, totalizando treze interseções analisadas.

Em relação à VFL, os resultados indicaram a redução da mesma para a condição chuvosa nos os pares de fotossensores 021-084 e 063-116. A redução média observada estatisticamente significativa ($\alpha = 0,05$) foi de 1,95% e de 3,77%, respectivamente. O estudo dos percentis corroborou o que foi visto na análise das médias, pois a VFL sempre foi maior para a situação chuvosa. Quanto ao terceiro par estudado, 069-120, os resultados obtidos não apontaram alteração significativa na VFL quando comparados os cenários “seco” e “molhado”.

Quanto ao parâmetro de *headway* de saturação (h_s), os resultados obtidos apontam para uma mudança mais perceptível no comportamento de condução. Apesar de o fluxo de saturação (S) ser mais usual nas análises de fluxo veicular, optou-se pela avaliação do h_s, por ser uma medida que representa melhor o comportamento entre os veículos numa aproximação semafórica. Os resultados das análises do h_s sugerem aumento significativo do espaçamento médio dos veículos em dias de chuva (6%). Somente o movimento de conversão exclusiva não apresentou redução significativa do h_s o que pode ser atribuído ao efeito da conversão em si, gerando maior homogeneidade no comportamento dos condutores, independente da ocorrência de chuvas.

Dentre as limitações do trabalho ressaltam-se as restrições nas escolhas dos locais e do número de fotossensores definidos em função da necessidade de se observar o fluxo interrompido para estimação da VFL. Apesar de terem sido estimadas as velocidades médias no espaço entre os dois fotossensores a presença dos equipamentos pode, de certa forma, influenciar o comportamento do condutor podendo reduzir a diferença entre os dois cenários. Além disso, não se podem desprezar os possíveis erros oriundos dos equipamentos de FS, passíveis de registros errôneos ou dessincronizados. Estes resultados inconclusivos elucidaram, também, a necessidade de investigação mais detalhada do fluxo nos locais e da

possível influência de veículos pesados no comportamento da corrente.

Quanto ao *headway* de saturação, sugere-se análise considerando diferentes intensidades de chuva, além de expandir o horizonte de dois dias de observação para cada situação. No intuito de tornar a análise mais célere, possibilitando a avaliação de amostras bem mais robustas, a aplicação de métodos automatizados para a determinação do fluxo de saturação, baseado em algoritmos computacionais e nas imagens de videomonitoramento, trata-se de um desafio a ser alcançado em trabalhos futuros.

Agradecimentos
Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para o desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2010) *Highway Safety Manual* (1st ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.

Agbolosu-Amison, S.J.; Sadek, A.W.; ElDessouki, W. (2004) Inclement Weather and Traffic Flow at Signalized Intersections. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1867, p. 163-171.

Asamer, J.; Reinthaler, M. (2010) Estimation of Road Capacity and Free Flow Speed for Urban Roads Under Adverse Weather Conditions. In *13th International IEEE, Anual Conference on Intelligent Transportation Systems*. Madeira Island, Portugal.

Asamer, J.; Van Zuylen, H.J. (2011) Saturation Flow under Adverse Weather Conditions. In *Transportation Research Board (TRB) 90th Annual Meeting Compendium of Papers*. Washington, D.C.

Billot, R.; El-Faouzi, N. E.; De Vuyst, F. (2009) Multilevel Assessment of the Impact of Rain on Drivers' Behavior – Standardized Methodology and Empirical Analysis. In *Transportation Research Record*, n. 2107, p. 134-142.

DENATRAN (2014) *Manual Brasileiro de Trânsito, Volume V – Sinalização Semafórica*. Departamento Nacional de Trânsito. Brasília, DF.

Evans, L. (2004) *Traffic Safety* (2ª ed.). Science Serving Society, Bloomfield Hills, EUA.

Luna, M. S. (2003) *Sobre o Fluxo de Saturação: Conceituação, Aplicação, Determinação e Variação*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

Oh, J. S.; Shim, Y. U.; Cho, Y. H. (2002) Effect of Weather Conditions to Traffic Flow on Freeway. In *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 6, n. 4, p. 413-420.

Prevedouros, P. D.; Kongsil, P. (2003) *Synthesis of the Effects of Wet Conditions on Highway Speed and Capacity*. Department of Civil Engineering, University of Hawaii, Honululu, Hawaii.

Setti, J. R. (2002) *Tecnologia de Transportes*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

Rodrigo Marinho Moreira (rodrigommoreira13@gmail.com)
Sued Lacerda Costa (sued@det.ufc.br)
Flávio José Craveiro Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI, s/n – Bloco 703 – CEP. 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TRECHOS CRÍTICOS DE RODOVIAS QUANTO À OCORRÊNCIA DE ACIDENTES

Bruno Uberti Souza
José Alberto Quintanilha
Cláudia Soares Machado
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

RESUMO
A presente pesquisa de Mestrado Acadêmico foi iniciada em 2017 e está inserida no tema Segurança Viária. O objetivo principal da pesquisa é diagnosticar as causas da elevada frequência de acidentes em rodovias. A revisão bibliográfica é centrada nos fatores que influenciam a segurança em rodovias e expõe os métodos a serem utilizados para o processo de identificação dos trechos críticos à ocorrência de acidentes. A aplicação da pesquisa ocorrerá na forma de estudo de caso a ser realizado em uma rodovia específica da região Sul do Brasil, utilizando-se de uma base de dados dos registros de acidentes (geocodificados) e informações de tipificação e operacionais da via (volume de tráfego, características geométricas, de visibilidade, dentre outras). Serão realizadas visitas de campo aos trechos críticos selecionados, com o intuito de identificar as diversas características constatadas e confrontá-las com as práticas de segurança mais eficientes segundo a literatura técnica. Como objetivos secundários, almeja-se desenvolver um Modelo Linear Generalizado preditivo para os trechos pesquisados e um mapa temático ilustrativo destes trechos. A expectativa de resultados é orientar a tomada de decisão do gestor da rodovia na implantação de medidas eficientes para a redução da quantidade e severidade dos acidentes.

Bruno Uberti Souza (uberti.souza@gmail.com)
José Alberto Quintanilha (josealberto.quintanilha@gmail.com)
Cláudia Soares Machado (csmachado6@gmail.com)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, n°. 83, Cidade Universitária, CEP 05508-900 – São Paulo, SP – Brasil.

APLICAÇÃO DA SINTAXE ESPACIAL NA MODELAGEM DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Francisco Edson Macedo FIlho
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Os MPAs (Modelos de Previsão de Acidentes) são utilizados para estimar a frequência média de acidentes por período de tempo em um local específico, já que lidam com seu caráter aleatório, raro e superdisperso. Apesar de amplamente explorados em países como Canadá e EUA, sua aplicação no Brasil ainda é tímida. Fato possivelmente explicado pela baixa disponibilidade de dados históricos e dificuldades na coleta de medidas de exposição como o VDMA. Na ausência destes, é reconhecida a possibilidade de utilizar outras variáveis para representar os padrões de movimentação nas cidades. A Sintaxe Espacial visa explicar estes padrões através da análise das características configuracionais da rede viária. Este trabalho objetiva avaliar a usabilidade das variáveis sintáticas como medidas de exposição na modelagem de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas, assim como sua incorporação ao conjunto de variáveis tradicionalmente aplicadas aos MPAs.

ABSTRACT
The SPFs (Safety Performance Functions) are utilized to forecast the average frequency of traffic crashes of an entity during a period of time, since they deal with the random, rare and overdispersed character of the phenomena. Although widely explored in countries as Canada and US, its application is still timid in Brazil. This could might be explained by the lack of data concerning to exposure measures like AADT. In the absence of data, it is recognized the possibility of utilizing other variables than AADT to represent circulation patterns in cities. The purpose Space Syntax is to explain these patterns through the analysis of configurational characteristics of the street network. This study aims to evaluate the suitability of utilizing space syntax measures as exposure variables for predicting road crashes at signalized intersections, as well as its inclusion in traditional safety modeling techniques.

1. INTRODUÇÃO

A grande porção dos acidentes de trânsito ocorre em interseções, já que estas podem ser consideradas pontos de conflito planejados onde duas ou mais vias se cruzam e trajetórias de diferentes modais ocorrem. Associados aos acidentes estão as deseconomias. Estas podem incluir perdas materiais, custos hospitalares, perdas de produtividade e etc. Assim, entende-se que as interseções merecem atenção especial por parte de planejadores e projetistas responsáveis pelos transportes.

O processo decisório acerca da segurança viária vem sendo baseado em medidas objetivas para representar o desempenho das entidades da malha viária. Pesquisadores têm desenvolvido formas de relacionar séries históricas de acidentes com atributos operacionais das vias através da aplicação de regressões estatísticas denominadas Modelos de Previsão de Acidentes (MPA). Estes são modelos lineares generalizados aplicados para estimar a frequência média de acidentes por período de tempo em um local específico (AASHTO, 2010). A literatura mostra que os MPAs tratam de maneira satisfatória do caráter aleatório, raro e superdisperso dos acidentes de trânsito (Cunto & Nodari, 2011).

De acordo com Cunto *et al*. (2012), os MPAs vêm sendo explorados ao longo das últimas décadas em países como o Canadá, EUA, mas timidamente no Brasil. Fato que pode ser explicado pela baixa disponibilidade de dados históricos de acidentes e possíveis dificuldades na coleta de medidas de exposição, como o volume de veículos e pedestres. Realidade presente principalmente em centros urbanos brasileiros de baixo e médio porte. Na ausência desses dados, é reconhecida a possibilidade de utilizar outras medidas quantitativas para

representar os padrões de movimentação das cidades. A Teoria da Sintaxe Espacial procura explicar esses padrões através da análise das características configuracionais da rede de caminhos. Esta teoria vem sendo explorada, mesmo que de maneira esporádica, em pesquisas de transportes e aplicada em projetos urbanos há pelo menos duas décadas. Nesse contexto, o presente trabalho visa responder à seguinte questão: na ausência de dados de exposição como o volume veicular e de pedestres, é viável modelar a frequência de acidentes utilizando medidas sintáticas?

Objetiva-se avaliar a usabilidade das variáveis sintáticas como medidas de exposição na modelagem de acidentes de trânsito em interseções, assim como sua incorporação ao conjunto de variáveis tradicionalmente aplicadas nos MPAs. Para tal, utilizou-se a rede urbana de Fortaleza como estudo de caso na coleta de dados, estimação das medidas sintáticas e predição da frequência esperada de acidentes em interseções semaforizadas da cidade. São aplicados indicadores de *goodness-of-fit* quantitativos para avaliar o desempenho dos modelos calibrados e verificar o desempenho da Sintaxe Espacial na modelagem da segurança viária.

2. SINTAXE ESPACIAL: TEORIA E APLICAÇÕES EM TRANSPORTES

De acordo com Pereira *et al* (2011), a configuração da rede de vias contém uma série de barreiras e permeabilidades que constituem a estrutura física do espaço urbano. A disposição desses elementos facilita ou não os movimentos de pessoas, assim como o desenvolvimento de certas atividades. As cidades podem ser caracterizadas pelo o grau de acessibilidade ou centralidade que oferecem para acessar um local da malha a partir de qualquer outro.

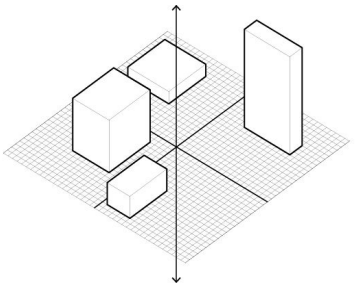


Figura 1: Representação das barreiras e permeabilidades do espaço urbano.

Têm-se, então, os espaços convexos e as linhas axiais como elementos básicos. Desses, é possível derivar a representação gráfica, assim como as propriedades espaciais de uma rede de vias. Como mostra a Figura 1, as edificações são interpretadas como obstáculos ou barreiras dispostas sobre o espaço, gerando "ilhas" que restringem a movimentação e visualização do todo.

Os padrões de distribuição das edificações dão origem ao espaço utilizável. Esses padrões só podem ser alterados por intervenções físicas no espaço. O mapa com linhas axiais e seu respectivo grafo, representado pela Figura 2, é constituído pelo menor conjunto de retas que cruza e conecta os espaços abertos de um sistema, representando as várias linhas de acessibilidade e visibilidade das vias.

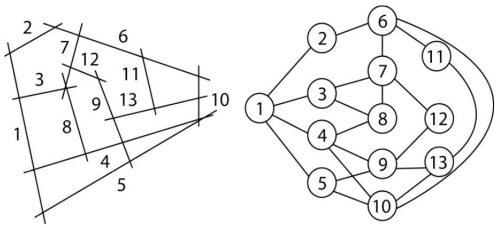


Figura 2: Mapa axial genérico e sua representação por meio de grafo.

As abordagens configuracionais dizem respeito ao estudo da acessibilidade relativa das vias de uma malha urbana e são baseadas na premissa de que as relações internas da rede de caminhos são capazes de explicar os padrões de movimentação das pessoas. Uma vantagem da abordagem da Sintaxe Espacial é a possibilidade de prever a distribuição dos movimentos dos pedestres e veículos embasando-se somente na configuração espacial das vias (TURNER, 2007; JIANG, 2009).

De acordo com Jayasinghe *et al* (2015), o nível de acessibilidade dos *links* de uma rede de caminhos pode ser computado baseando-se em suas relações métricas, topológicas e angulares (Figura 3). Na abordagem métrica, o custo de se deslocar entre *links* é calculado pelas distâncias métricas. Na abordagem topológica ou axial, a centralidade é obtida pela quantidade de conversões na rede. Na angular, os custos são representados pela soma dos desvios angulares de um *link* a outro (HILLIER, 2007).

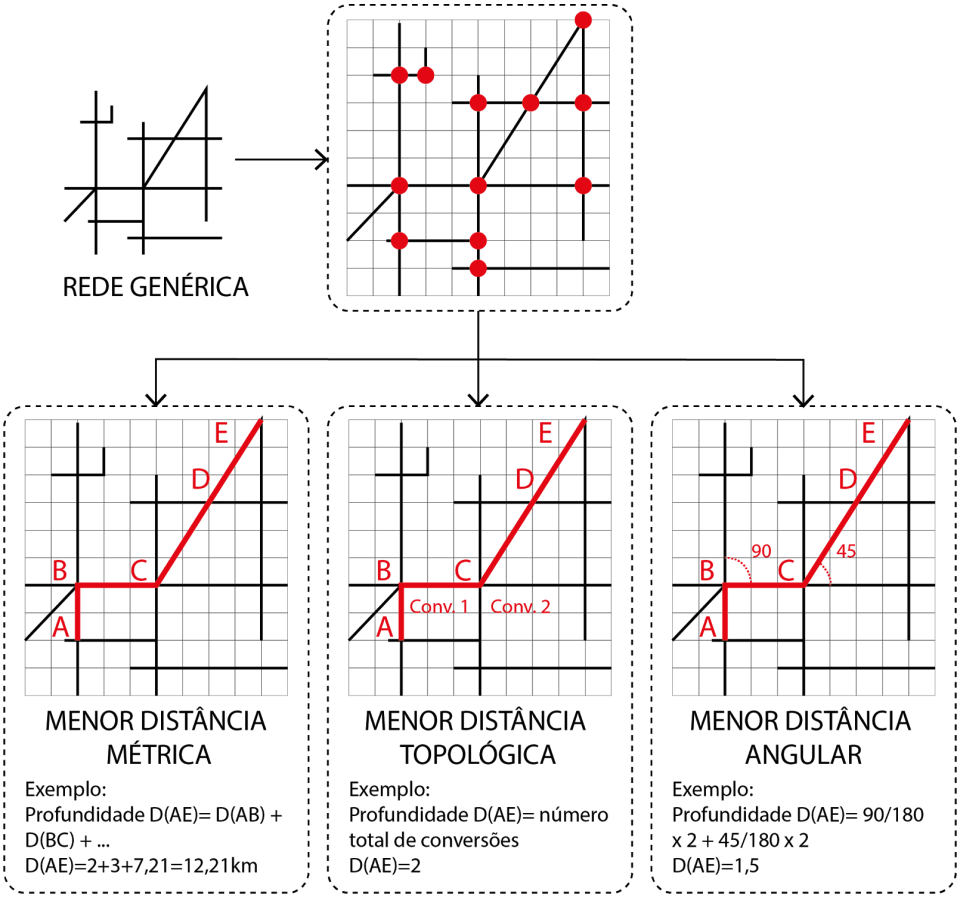


Figura 3: Acessibilidade métrica, topológica e angular de um *link* de uma rede viária.

A análise das relações internas entre as linhas axiais gera índices que representam a acessibilidade ou centralidade de uma linha à todas as outras do sistema. A *profundidade* de uma via ou sua *integração* sintetiza o conceito central da Sintaxe Espacial. Quanto mais profunda for, menos acessível e integrada ela será em relação a todas as outras do sistema. Através desses indicadores quantitativos, áreas urbanas podem ser classificadas em termos dos diferentes níveis de acessibilidade que oferecem.

No âmbito das abordagens topológicas e angulares, estudos vêm sendo realizados envolvendo medidas sintáticas focadas no processo de planejamento da circulação de pedestres e veículos: fluxo de pedestres em universidades (NOGUEIRA, 1998; SARMENTO & COSTA, 2012), análises de correlação entre a sintaxe espacial, o movimento e os padrões de uso do solo (OZBIL & PEPONIS, 2007, 2012), a previsão de fluxos de pedestres e ciclistas (RAFOR & RAGLAND, 2006; ZAMPIERI, 2012), segurança viária de pedestres (RAFORD *et al,* 2006, CARMO *et al*, 2012), construção de um *indicador de caminhabilidade* baseado em medidas sintáticas (BARROS *et al, 2012*). Entretanto ainda são poucos trabalhos que procuram integrar variáveis sintáticas na análise à modelagem da segurança viária.

Do ponto de vista topológico, as linhas axiais de baixa *profundidade média* ($\overline{D}$) em relação às outras L-1 linhas, são mais integradas e terão maior probabilidade de movimento e de encontros naturais entre usuários da malha. Os valores encontrados pela *assimetria relativa (RA)* na Equação 1, são utilizados para normalizar as *profundidades médias,* de forma que seja possível comparar mapas axiais de diferentes tamanhos.

$$RA = \frac{2\,(\overline{D}-1)}{(L-2)} \qquad (1)$$

Onde:
RA :Assimetria relativa;
$\overline{D}$: Profundidade média de um *link* no sistema;
L : Número de linhas axiais.

O valor de *integração topológica* resulta da divisão entre a assimetria relativa da malha analisada e a de uma malha de mesma quantidade de linhas, mas simétrica no que tange às relações entre as linhas axiais. Quanto mais próximo de 1 a *integração*, mais acessível é a linha axial em relação à todas as outras do sistema. Outras medidas sintáticas podem ser derivadas da análise configuracional como a *conectividade*, *controle*, entre outras.

A abordagem angular quebra as linhas axiais em segmentos e calcula a soma das penalidades angulares de cada conversão a partir de uma origem aos outros possíveis destinos da rede viária, por meio do caminho mais curto (PENN & TURNER, 2001). Hiller (2005) mostrou que há significativas correlações entre variáveis resultantes da Análise Angular de Segmentos (ASA) e o fluxo veicular em 4 diferentes áreas de Londres. Na década de 90, cientistas cognitivos já sugeriram que as variações angulares em rotas se relacionam fortemente com a forma as pessoas percebem o espaço (MONTELLO, 1991), já que tendem a minimizar a soma angular das conversões ao longo das rotas.

Segundo Turner (2007), o algoritmo de formação da *integração angular* pode produzir melhores resultados que a *integração topológica* na correlação entre o fluxo veicular observado e acessibilidade gerada pelas variáveis sintáticas. Na Figura 03, por exemplo, para calcular a acessibilidade relativa de um segmento à outro contabiliza-se a menor penalidade

angular dentro de uma rota $d\theta(A,E)$, onde A seria o ponto origem e E o destino. Para cada interseção, normaliza-se um valor entre 0 (não houve conversão) e 2 (conversão de 180^o). Dessa forma, a profundidade angular média pode ser calculada pela média dos caminhos mais curtos a um segmento de acordo com a equação 2:

$$C_\theta(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} d_\theta(x,i) \quad (2)$$

Turner (2007) sugere ainda uma ponderação das medidas de profundidade pelo comprimento dos segmentos, pois acredita ser questionável o fato de diferentes representações do mesmo sistema levarem a resultados diferentes.

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho pode ser divida em quatro etapas: (i) seleção das variáveis e definição da amostra, (ii) coleta de dados, (iii) calibração dos parâmetros dos modelos analisados e (iv) avaliação dos modelos desenvolvidos. Objetiva-se, em decorrência dessas etapas, prever a frequência anual de acidentes de trânsito para interseções semaforizadas de Fortaleza, a partir de atributos físicos, operacionais e configuracionais da rede de vias.

3.1. Seleção de variáveis

Embora seja comum se referir à "causa" de um acidente de trânsito, na realidade, a maioria das ocorrências não podem ser relacionadas a um evento causal singular. Em vez disso, um acidente é resultado da convergência de uma série de fatores contribuintes. Destes, parte são mensuráveis e compreendidos em sua completude e parte não são mensuráveis ou não compreendidos. Esses fatores influenciam a sequência dos eventos antes, durante, e depois da ocorrência de acidentes (AASHTO, 2010).

Na literatura relacionada, observa-se que a principal variável de exposição que usualmente explica a maior parcela da variação dos acidentes de trânsito em interseções é o VDMA (Volume Diário Médio Anual). Dependendo da complexidade e do contexto em que o estudo é realizado, dados de VDMA podem não estar disponíveis aos modeladores, ou serem demasiadamente custosos de serem coletados. Assim, este trabalho focou em variáveis de exposição que buscassem explicar os fluxos veiculares através da análise da acessibilidade espacial dos *links* de uma rede de vias. Além disso, variáveis relacionadas à operação e geometria das vias foram aplicadas. A seguir, estão dispostas as variáveis incluídas preliminarmente:

1. ***Integração topológica***: Utilizada como um indicador quantitativo de acessibilidade espacial de uma via. Quanto maior o valor, mais acessível é a linha axial em relação à todas as outras do sistema e, teoricamente, maior sua exposição a acidentes de trânsito.
2. ***Integração angular***: Quebra as linhas axiais em segmentos e calcula a soma das penalidades angulares de cada conversão a partir de uma origem a todos os outros possíveis destinos da rede viária. Assim como a anterior, quanto maior o valor, mais acessível é o segmento em relação a todos os outros do sistema.
3. ***Número de faixas***: Pode aumentar o número de avanços de semáforo e mudanças de faixa repentinas.

4. ***Número de aproximações***: Pode aumentar o número de interações entre usuários da via e promover mudanças no comportamento de motoristas com relação à sua atenção ao trânsito de outros usuários.
5. ***Canteiro central***: Pode promover reduções nas velocidades veiculares em pistas de sentido duplo, assim como na frequência de acidentes nesses tipos de vias.

3.2. Definição da amostra e coleta de dados

Buscando diminuir a influência de fatores difíceis de controlar, homogeneizar a amostra e controlar os diferentes tipos de variáveis, foram obedecidos alguns critérios de seleção de entidades: (i) número máximo de 4 aproximações, (ii) alinhamento entre aproximações da mesma interseção, (iii) interseções semaforizadas. Ao mesmo tempo, evitou-se criar amostras excessivamente homogêneas ao ponto de comprometer a significâncias dos parâmetros pelo pequeno número de entidades. Quanto à quantidade mínima de observações, Lord (2006) sugere a utilização de amostras não menores que 100 para predição de acidentes de trânsito.

Os dados de acidentes foram coletados pelo Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR). Este é um banco de dados informatizado e georreferenciado que compila acidentes registrados por orgãos responsáveis pelo atendimento à ocorrências de trânsito de Fortaleza. Dentre as informações presentes nos relatórios do SIAT-FOR estão: data, hora, local da ocorrência, tipo do acidente, veículos envolvidos e severidade do acidente, além de informações sobre as vítimas como gênero, idade, tipo, entre outros.

As variáveis sintáticas foram obtidas através da construção de uma base vetorial de linhas axiais e segmentos em formato DXF (*Drawing Exchange Format*) com o auxílio de ferramentas de desenho assistido (CAD). O software livre DepthmapX possibilitou a importação da base vetorial, cálculo das variáveis sintáticas de *integração topológica e angular* e sua representação gráfica (Figura 4). As características operacionais e geométricas das interseções estudadas foram coletadas utilizando imagens aéreas do *Google Earth*.

Os dados utilizados das 299 interseções semaforizadas deste estudo referem-se aos anos de 2011 a 2015 e têm como variáveis de interesse o *número de acidentes por interseção, número de faixas, presença de canteiro central, número de aproximações, integração topológica* e *angular*.

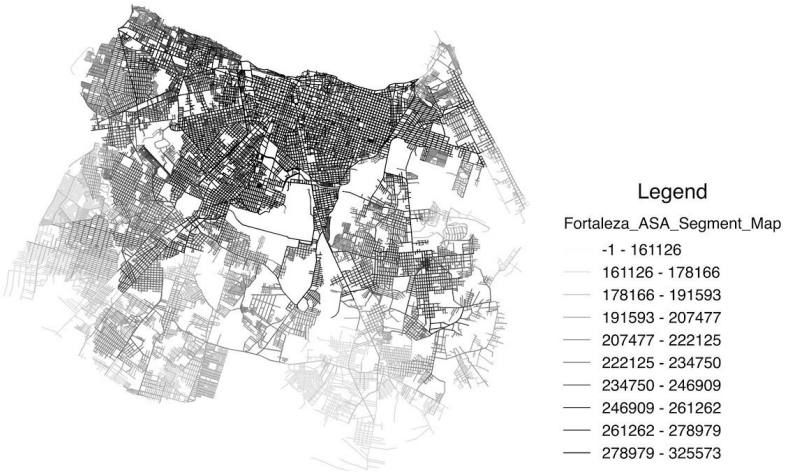


Figura 4: Malha de Fortaleza com análise ASA.

A matriz de correlação de Pearson foi aplicada para analisar, de maneira preliminar, o poder de explicação das variáveis. A Tabela 1 revela forte correlação (0,75) entre as variáveis sintáticas, o que poderia acarretar problemas na estimação dos parâmetros devido à colinearidade. Fato que condicionou a escolha da *integração angular* como variável de exposição a ser aplicada nos MPAs. Dentre as características geométricas, o *número de faixas* mostrou ter maior poder de explicação (0,30). Levando em consideração o exposto, para a etapa de calibração, foram selecionadas as seguintes variáveis: *integração angular*, *número de faixas e presença de canteiro.*

Tabela 1: Correlação entre o frequência de acidentes e as variáveis explicativas.

	acidentes	***número de faixas***	***presença de canteiro***	***aproximações***	***integração angular***	***integração topológica***
acidentes	1,00					
número de faixas	**0,30**	1,00				
presença de canteir	0,22	0,56	1,00			
aproximações	0,13	0,65	0,60	1,00		
integração angular	**0,45**	0,06	0,05	-0,03	1,00	
integração topológi	**0,33**	-0,09	-0,08	-0,25	0,75	1,00

3.3. Calibração dos parâmetros

Admitindo um acidente como um evento aleatório, raro e independente de eventos passados ou futuros, é possível representar esse fenômeno através de modelos probabilísticos do tipo Poisson e Binomial Negativo. Apesar dos coeficientes estimados para os parâmetros das duas distribuições obterem valores semelhantes, a segunda leva vantagens em relação à primeira por considerar, em sua distribuição de erros, o caráter superdisperso dos dados.

Os coeficientes dos modelos com as variáveis operacionais e geométricas, assim como seus respectivos valores de verossimilhança (*-2l*) estão apresentados na Tabela 2. A construção dos modelos seguiu um processo sequencial de inserção de variáveis partindo da *intergração angular*, por ser a variável de exposição de maior correlação com a variável resposta. Foram realizadas comparações entre os valores do logaritmo da máxima verossimilhança (*-2l*) do modelo mais simples com o modelo de mais parâmetros. A variável que, ao ser acrescentada resultasse no maior aumento de *-2l* seria a próxima incluída.

Tabela 2: Modelos calibrados.

Parâmetro		**Modelo 1**	**Modelo 2**	**Modelo 3**	**Modelo 4**
α	**Coefficie**	-7,49	-7,47	-7,39	-7,43
	p-value	4,83 e-10	2,82e-11	2,21e-9	4,04e-11
integração angul	**Coefficie**	0,78	0,74	0,75	0,74
	p-value	1,98 e-15	8,78e-16	1,46e-5	8,07e-16
número de faixa	**Coefficie**	-	0,058	-	0,04
	p-value	-	1,46e-7	-	3,00e-4
canteiro central	**Coef.**	-	-	-	0,09
	p-valor	-	-	-	0,11
-2l		-1536	-1510	-1520	-1508

Os resultados sugerem que quanto mais integrado for um ponto na rede de viária, maior a frequência esperada de acidentes para aquele ponto. A inclusão das variáveis geométricas pouco alteraram a contribuição da *integração angular* para o fenômeno, mas auxiliaram para

um maior poder de explicação dos modelos. A adição da variável *número de faixas* acarretou o maior acréscimo do valor de *-2l* (26) no Modelo 2, do que a inclusão da variável *canteiro central* (16) no Modelo 3. O Modelo 4 apresenta maior verossimilhança, entretanto o parâmetro correspondente à variável *canteiro central* não se mostrou estatisticamente significativo.

3.4. Avaliação dos modelos

A qualidade de um modelo foi avaliada de maneira mais objetiva através de indicadores com o intuito de comprovar a capacidade de predição em todas as faixas de valores esperados para as variáveis independentes. Após verificadas as significâncias dos parâmetros de cada modelo (valor-p), pode-se avaliar sua qualidade através dos seguintes indicadores:

- Estatística generalizada de Pearson (χ^2_p): Medida de aderência entre os valores previstos pelo modelo e os observados, cuja expressão é descrita pela Equação 3:

$$\chi^2_p = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \mu_i)^2 / V(\mu_i) \quad (3)$$

Onde:
μ_i = número de acidentes previstos;
y_i = número de acidentes observados;
$V(\mu_i)$ = função de variância estimada pelo modelo.

Se o valor da estatística de Pearson for maior que o valor crítico adotado para uma certa significância, conclui-se, com um determinado nível de confiança, que as variações entre os acidentes observados e esperados são estatisticamente significativas.

- Parâmetro de dispersão σ_d: obtido pela razão entre a estatística de Pearson e os graus de liberdade do modelo. Valores próximos de 1 indicam que a variância observada do modelo é similar a observada nos dados, e maiores que 1, dispersão dos dados acima do modelo.
- Desvio escalonado (S_p): Compara a verossimilhança de um modelo saturado (uma variável para cada observação), com o modelo proposto, de acordo com a equação 4:

$$S_p = 2(l_n - l_p) \quad (4)$$

Onde:
l_n = verossimilhança do modelo saturado;
l_p = verossimilhança do modelo proposto.

Sabendo que o indicador $S_p \sim \chi^2_p$, para que o modelo proposto seja satisfatório, deve estar abaixo do valor crítico de significância. Ou seja, a diferença entre a verossimilhança do modelo saturado e proposto não deve ser estatisticamente significativa.

Critério de informação de Akaike (AIC): Representa a diferença entre o viés do modelo e a verossimilhança. Quanto maior a verossimilhança em um menor número de parâmetros mais satisfatório é o modelo. Ele corrige a verossimilhança do modelo, penalizando sua capacidade de predição pelo número de parâmetros. Na equação 5, está expresso o AIC:

$$AIC = 2k - 2l_p \quad (5)$$

Onde:

k = número de parâmetros do modelo proposto;
l_p = verossimilhança do modelo proposto.

Pode-se ainda avaliar o modelo mais adequado pela análise de gráficos que comparam os valores observados com os previstos, assim como os resíduos ao longo das possíveis variáveis preditoras (*CURE Plot*). Na tabela 3, consta a relação de indicadores usados:

Tabela 3: Indicadores de desempenho dos modelos.

Indicador	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
-2L	-1.536	**-1510**	-1520	-1508
gl	297	**296**	296	295
$\chi^2_{crit.\ p-value;\ 0,0:}$	338,19	**337,12**	**337,12**	336,05
χ^2_p	297,5	**304,05**	300,32	304,60
S_p	307,25	**310,1**	307,66	310,25
AIC	1542	**1518**	1528	1518
σ_d	1,00	**1,03**	1,01	1,03

Todos os modelos, com relação à estatística generalizada de Pearson (χ^2_p) e o desvio escalonado (S_p), estão à uma distância parecida do valor crítico para a distribuição qui-quadrado com graus de liberdade (gl) correspondentes ao número de parâmetros. Com relação ao parâmetro de dispersão (σ_d), o desempenho dos 4 foi similar. Os valores de AIC diminuem à medida em que o número de variáveis é adicionada, com exceção do Modelo 3; no entanto, à partir dos modelos com duas variáveis, não há melhoras bruscas.

O Modelo 2 se mostrou o mais adequado dentre os quatro propostos, já que, apesar de seu desempenho similar com relação aos indicadores de qualidade, o seu poder de predição é superior aos modelos 1 e 3 e parelho ao 4. Este foi descartado por não ter obtido significância estatística para todos os parâmetros. Foram ainda construídos *CURE plots* referentes ao Modelo 1 (*integração angular*) e Modelo 2 (*integração angular + número de faixas*), com envoltórias de dois desvios padrão, visando de reforçar escolha. No contexto dos resíduos acumulados (*CURE plot*), é importante observar que o gráfico não é apenas um reflexo do funcionamento de uma variável explicativa, mas também se outras variáveis incluídas nos modelos podem contribuir para o poder de previsão dos mesmos.

Para modelos satisfatórios, os dados no *CURE plot* são esperados para oscilarem em torno de 0 e não ultrapassarem as duas envoltórias de dois desvios padrões (*-2st. dev.* e *+2st. dev.*). Os *CURE plots* apresentados na Figura 5 mostram que o Modelo 1 apresenta-se satisfatório para a maior parte dos intervalos da *integração angular*, no entanto, ultrapassa os intervalos de confiança algumas vezes. Fato que pode indicar a ineficácia da MPA calibrada ou a necessidade de incluir outras variáveis explicativas. Por outro lado, o Modelo 2 se mostrou satisfatório para os intervalos de *integração angular*, já que os resíduos acumulados oscilam em torno de zero e não ultrapassam as envoltórias. É importante observar os "saltos bruscos" já que podem conter *outliers*.

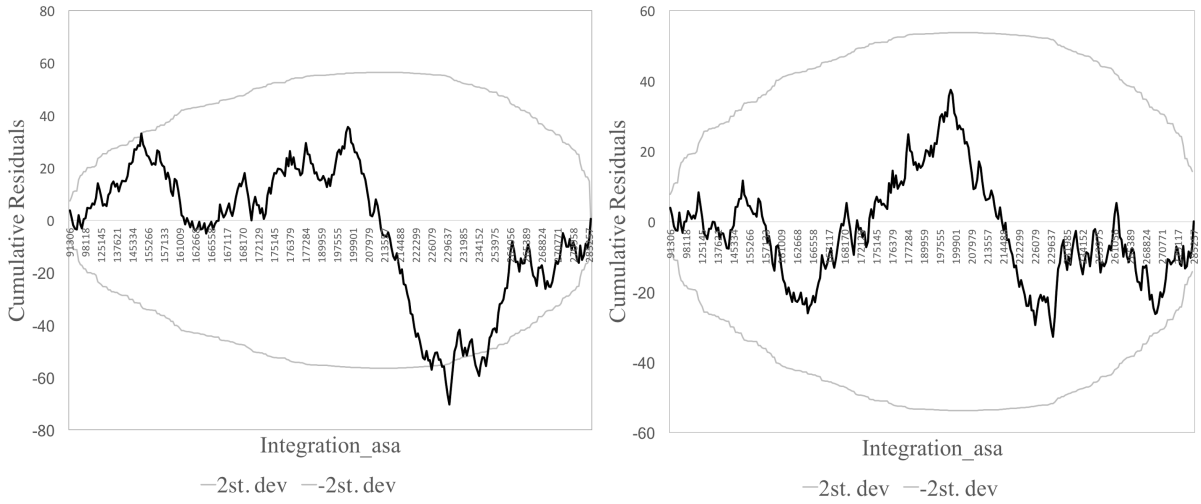


Figura 5: *CURE plots* dos modelos 1 e 2 em relação à variável *integração angular.*

Pela análise geral dos indicadores de qualidade e o gráfico de resíduos acumulados, constata-se que o Modelo 2 é o mais adequado e tem sua forma descrita na Equação 6. Este inclui uma variável de exposição (*integração angular)* e outra que caracteriza a geometria das interseções (*número de faixas*).

$$Y = 5,69.\ 10^{-4}.\ (integração\ angular^{\ 0,74}).\ e^{faixas.\ 0,058} \qquad (6)$$

Onde:
Y = número esperado de acidentes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um esforço de construção de modelos de previsão de acidentes de trânsito para interseções semaforizadas de 4 ramos, assim como uma discussão conceitual e estatística acerca dos parâmetros que podem corroborar para a ocorrência de acidentes.

Em seguida, foram utilizados dados para calibração dos MPA, e aplicados indicadores de qualidade para avaliar a adequabilidade da integração em representar o fenômeno de acidentes. Com relação aos indicadores estatísticos, os modelos apresentaram desempenho semelhante, no entanto o 2 levou maior vantagem se ponderados o poder de explicação e o viés (número de parâmetros). A análise gráfica (*CURE plot*) mostrou que a *integração angular*, sozinha, não é eficaz em representar de forma satisfatória o desempenho da segurança viária, fato que pode ser corrigido pela adição de outras variáveis geométricas como o *número de faixas*. De forma geral, os resultados sugerem que maiores frequências de acidentes estão associadas a pontos mais acessíveis da malha viária.

Para trabalhos futuros, prevê-se a realização do mesmo estudo em centros urbanos de pequeno e médio porte, já que a problemática apresentada estaria melhor contextualizada. Imagina-se que em cidades menores, as variáveis sintáticas teriam maior correlação com a frequência de acidentes e sua localização, já que aspectos operacionais estariam menos presentes na rede. Além disso, é prevista a construção e avaliação de MPAs que resultem da combinação de variáveis de exposição usualmente utilizadas na literatura como VDMA e volume de pedestres. A Sintaxe Espacial pode ser uma ferramenta útil na análise da circulação de pessoas, assim como funcionar como técnica complementar às teorias consolidadas de

tráfego. Seu uso pode gerar novas possibilidades na investigação dos fatores que afetam os padrões de circulação, os movimentos naturais e seus desdobramentos no tecido urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMC (2016) Relatório anual de acidentes de trânsito Fortaleza. Autarquia de Trânsito e Cidadania de Fortaleza, Prefeitura de Fortaleza, Fortaleza, CE.

AAASHTO (2010) Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

BARROS, A. P. B. G.; MARTINEZ, L. M. G.; VIEGAS, J. M. C. B.; SILVA, P. C. M. (2012) Impacto do desenho da malha viária na mobilidade urbana sustentável. Anais do: V Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Brasília.

CARMO, C. L.; RAIA JR., A. A.; NOGUEIRA, A. D. (2012) Análise dos efeitos da configuração urbana na acidentalidade envolvendo pedestres por meio da Teoria da Sintaxe Espacial e de um Sistema de Informações Geográficas. Anais do XXVI Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes.

CUNTO, F. J. C.; NETO, M. M. C; BARREIRA, D,S. (2012) Modelos de previsão de acidentes de trânsito em interseções semaforizadas de Fortaleza. TRANSPORTES v. 20, n. 2.

CUNTO, F. J. C.; NODARI, C. T. (2011) Aspectos conceituais sobre o desenvolvimento de modelos de previsão de acidentes de trânsito. ANPET, Belo Horizonte.

HAUER, E. *Observational Before-after Studies in Road Safety*. (1a ed.). Pergamon.

HILLIER, B. (2007) Space is the machine: configurational theory of architecture. University College London.

JAYASINGHE, A.; SANO, K.; NISHIUCHI, H. (2015) Explaining traffic flow patterns using centrality measures. International Journal for Traffic and Transport Engineering.

JIANG, B.; LIU, C. (2009) Street-based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS, *International Journal of Geographical Information Science*.

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*.

MONTELLO, D. R. (1991) Spatial orientation and the angularity of urban routes, Environment and Behavior.

NOGUEIRA, A. D. (1998) Morfologia urbana através da Sintaxe Espacial e do fluxo de pedestres em território universitário: o campus da UFSCar. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). PPGEU, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PEREIRA, R. H. M.; HOLANDA, F. R. B; MEDEIROS, V. A. S; BARROS; A.P. B.G O (2011) Uso da sintaxe espacial na análise do desempenho do transporte urbano: limites e potencialidades. [s.l.] Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

ÖZBIL, A.; PEPONIS, J. (2007) Modeling street connectivity and pedestrian movement according to standard GIS street network representation. Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium. Istanbul.

PENN, A.; TURNER. (2007) A. Space Syntax based agent simulation. Paper presented at 1st International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, University of Duisburg, Germany.

RAFORD, N.; RAGLAND, D. R. (2006) Pedestrian volume modeling for traffic safety and exposure analysis: The case of Boston, Massachusetts. Safe Transportation Research & Education Center, Institute of Transportation Studies, UC, Berkeley.

SARMENTO, B. R.; COSTA, A. D. L. (2012) Análise do espaço urbano pela Sintaxe Espacial: um olhar sobre a UFPB. Anais do V Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Brasília.

TURNER, Alasdair (2007). From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. Environment and Planning B: Planning and Design.

ZAMPIERI, F. L. (2012) O Fenômeno Social do Movimento de Pedestres em Centros Urbanos. 2012. Tese (Doutorado). 918 p. PROPUR, UFRGS, Porto Alegre.

Francisco Edson Macedo Filho (macedo@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
Av. Mister Hull, s/n - Pici, Fortaleza - CE, 60455-760

RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS INSERIDAS EM ÁREAS URBANAS: SEGURANÇA VIÁRIA NO ESTADO DO PARANÁ

Cássio Leandro do Carmo
Archimedes Azevedo Raia Junior
Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana
Universidade Federal de São Carlos

RESUMO
Este artigo busca avaliar a segurança viária nas rodovias federais inseridas em áreas urbanas, em particular no estado brasileiro do Paraná. Para a delimitação dos acidentes, foi adotada uma abordagem de acordo com o Sistema Seguro (*Safe System*), que considera que acidentes de trânsito não devem provocar óbitos ou vítimas seriamente feridas. Após a contabilização do número de vítimas graves e fatais, foram identificados os trechos urbanos mais inseguros, de acordo com dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Estes segmentos foram, então, destacados para melhor visualização. O Paraná, apesar das rodovias, na maior parte dos casos, em boas condições, apresenta-se como o estado onde segmentos urbanos são mais perigosos, com o maior número de vítimas do país. Embora alguns centros urbanos contem com contornos rodoviários, há ainda muitas vítimas pedestres e em motocicletas, o que demonstra serem necessárias melhores infraestrutura e gestão para a segurança viária.

ABSTRACT
This paper aims to evaluate road safety in federal highways within urban areas, particularly in the Brazilian state of Paraná. For the delimitation of the crashes, an approach was adopted according to the Safe System, which considers that traffic accidents should not cause seriously injured deaths or victims. After counting the number of serious and fatal victims, the most insecure urban areas were identified, according to data from the Federal Highway Police (PRF). Then, these segments were highlighted for better visualization. Despite the highways, in most cases, are in good condition, Paraná is the state where urban segments are most dangerous, with the largest number of victims in the country. Although some urban centers are bypassed, there are still many pedestrian victims and on motorcycles, which demonstrates that better infrastructure and management for road safety are needed.

1. INTRODUÇÃO

A insegurança viária é um dos principais problemas nos países em desenvolvimento. A crescente motorização, aliada a uma infraestrutura inadequada, contribuem para o elevado número de vítimas devido aos acidentes de trânsito. O crescimento desordenado das cidades no entorno de rodovias geram um volume de tráfego adicional, por motoristas em viagens intra-urbanas, que buscam uma maior velocidade e facilidades em seus descolamentos. Assim, ao mesmo tempo em que os trechos urbanos de rodovias estimulam o desenvolvimento econômico, causam também diversos outros impactos, como os congestionamentos e os acidentes de trânsito.

Contornos e anéis rodoviários, mesmo nas principais rodovias que atravessam grandes e médias cidades brasileiras, são ainda escassos. Assim, nos segmentos urbanos, onde os tráfegos intra e interurbanos se misturam, ocorre grande número de acidentes, que provocam quase metade das vítimas com lesões graves ou fatais em rodovias federais.

Acidentes com óbitos e vítimas seriamente feridas não são tolerados em um Sistema Seguro, ou *Safe System*, programa de segurança viária desenvolvido em alguns países europeus, baseado no limite humano em sofrer impactos físicos. Entre seus princípios, estabelece a divisão de responsabilidades entre todos os usuários, ou seja, motoristas, empresas e órgãos gestores, no estabelecimento de um trânsito seguro.

Este artigo busca, dessa forma, investigar a acidentalidade viária em trechos urbanos de rodovias federais brasileiras, e, em especial, no estado do Paraná, onde houve maior número de vítimas fatais ou com graves ferimentos devido aos acidentes de trânsito em áreas urbanas. Uma pesquisa em relação às condições de infraestrutura destes trechos críticos é examinada, baseada na avaliação das rodovias realizada pela Confederação Nacional de Transporte, CNT. Nas próximas seções, é feita a revisão bibliográfica sobre o tema, e o panorama da situação, abordado.

2. SEGURANÇA VIÁRIA: UMA ABORDAGEM SEGUNDO A VISÃO ZERO SUECA

Em 2009, o relatório da Organização Mundial da Saúde (*WHO*, 2009) *Global status report on road safety: time for action* mostrava que mais de um milhão e duzentas mil pessoas morriam a cada ano nas vias urbanas, rodovias e estradas mundiais, e entre 20 e 50 milhões sofriam lesões provocadas em acidentes de trânsito. Em 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas aprovou a resolução que instituiu a "Década de Ação para Segurança Viária 2011 – 2020", com o objetivo de estabilizar e reduzir a tendência de crescimento do número de vítimas nas ruas e rodovias mundiais.

O relatório *Global status report on road safety 2013: supporting a decade of action* (*WHO*, 2013) mostra que houve, em 2010, cerca de um milhão e duzentas e quarenta mil mortes no trânsito em todo o mundo, número similar ao dos anos anteriores, embora tenha havido um aumento do número de veículos no mundo. Fatores que contribuem para a ocorrência dos acidentes no Brasil devem ser mais bem investigados, para o desenvolvimento de ações educacionais, sociais e de engenharia, que possibilitem melhorias no trânsito. Como consequência, poderá ser estabilizada e reduzida a previsão do número de vítimas, conforme os objetivos da resolução 64/255, da ONU, que estabeleceu a "Década de Segurança Viária 2011 – 2020" (UN, 2017).

O objetivo de Desenvolvimento Sustentável 3, da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, estabelece como meta, até 2020, a redução pela metade do número de mortes e lesões causadas pelo trânsito em todo o mundo. Também, o objetivo 11 procura assegurar acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preços acessíveis a todos, com melhorias na segurança viária, até 2030, como parte integral da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (UN, 2015).

Os compromissos com a Década de Ação para a Segurança no Trânsito 2011 - 2020, foram renovados pela Declaração de Brasília, na "Segunda Conferência de Alto Nível sobre Segurança no Trânsito: Tempos de Resultados", que definiu medidas necessárias para o alcance das metas até o final da década (WHO, 2017a). O Plano de Ação proposto pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2017b), para se alcançar os objetivos estabelecidos Década de Segurança Viária, são aqueles incluídos em uma abordagem de um Sistema Seguro (*Safe System*), como os empregados pelos programas de segurança viária "Visão Zero", na Suécia, e "Segurança Sustentável", nos Países Baixos. Algumas características de um Sistema Seguro estão descritas na seção a seguir.

2.1 Sistema Seguro (*Safe System*)

Muitos países, há cerca de vinte anos, têm aprimorado a segurança no trânsito, com novas condutas baseadas em um Sistema Seguro (*Safe System*), como a Visão Zero. Conforme o proposto por esta filosofia, que resultou em projeto de lei de segurança viária rodoviária na

Suécia, não é aceitável que pessoas morram ou fiquem seriamente feridas no trânsito. Acidentes de trânsito, devido à exposição cotidiana ao tráfego, acontecerão. Entretanto, tais ocorrências não devem provocar lesões graves ou fatais nos usuários. Não é admissível que pessoas fiquem muito feridas ou morram em seus deslocamentos diários, conforme propõe a Visão Zero.

Novo paradigma de segurança viária, o programa Visão Zero é construído de acordo com a ideia que, se nem todos acidentes e colisões podem ser prevenidos, pode-se evitar, em princípio, a severidade das lesões (JOHANSSON, 2008). A Visão Zero não aceita mortes ou lesões graves no trânsito como produto da mobilidade (ITF, 2016). A Visão Zero estabelece que conceitos de segurança utilizados em outros modos de transporte, como o aeroviário, podem e devem ser usados também no rodoviário.

É baseado no conceito de um Sistema Seguro (*Safe System*), que se apoia em quatro princípios (ITF, 2016): as pessoas comentem erros que podem levar a acidentes de trânsito; o corpo humano tem uma limitação física para suportar impactos, sem que haja lesões graves; a segurança é uma responsabilidade compartilhada de todos os "atores" do sistema de transportes, que inclui os projetistas, construtores e administradores das vias, em conjunto com os usuários do trânsito; todos os elementos do sistema formam uma rede integrada de segurança, na qual se combinarão para a prevenção aos acidentes, ou, pelo menos, às lesões graves ou fatais.

O Sistema Seguro (*Safe System*) tem sido adotado, nas últimas décadas, como forma de condução das políticas de segurança viária. Na Suécia, foi adotada pelo Parlamento Sueco a partir de outubro de 1997. Nos Países Baixos, a "Segurança Sustentável", que incorpora princípios do *Safe System*, foi introduzida a partir de 1991. Na Nova Zelândia, o lançamento do programa "Viagens mais seguras" foi realizado em 2010. Na Polônia, em 2012 o Ministério da Infraestrutura introduziu um programa de segurança viária, elaborado de acordo com o conceito de Sistema Seguro (*Safe System*), que visa reduzir as mortes no trânsito para 2.000, uma redução de 50%, comparado aos números de 2010, e vítimas com lesões graves para 5.600, 40% menos vítimas, comparado a 2010 (KAZIMIERZ *et al.*, 2016). Em Vitoria, na Australia, em 2015, foi iniciada a campanha *Towards Zero*, com o objetivo de colocar na agenda comunitária como princípio ético que ninguém deveria morrer nas ruas e rodovias (ITF, 2016).

Em Nova Iorque, nos Estados Unidos, as mortes em acidentes de trânsito têm decrescido de 701, em 1990, para 381 em 2000, e 249, em 2011 (NYC, 2014). Ainda assim, em 2014, foi colocado um plano de ação, baseado nos conceitos da Visão Zero, para tornar as ruas ainda mais seguras. Em Los Angeles, no segundo semestre de 2015, a prefeitura também lançou seu programa Visão Zero, com o objetivo de reduzir em 20% as mortes em acidentes no trânsito até 2017, e eliminá-las até 2025 (LADOT, 2016). No final de 2016, órgãos do Departamento de Transportes dos Estados Unidos (DOT), como a Administração Nacional de Segurança de Tráfego (NHTSA), a Administração Federal das Rodovias (FHWA) e a Administração Federal de Segurança de Transportadores Motorizados (FMCSA), uniram-se ao Conselho Nacional de Segurança (NSC) para a implementação do programa *Road to Zero*, com o objetivo de zerar as mortes em acidentes de trânsito nos próximos 30 anos (DOT, 2016).

A segurança no trânsito, na abordagem Visão Zero, é um aspecto preponderante em relação a outros, como por exemplo, a mobilidade (RAIA Jr., 2009). A filosofia da Visão Zero não admite que haja mortes ou pessoas com graves lesões em acidentes de trânsito, como consequência dos

deslocamentos. Busca como meta reduzir a zero o número de vítimas fatais e com sérios ferimentos.

No Brasil, a norma brasileira NBR ISO 390001:2015 (ABNT, 2015), baseada nos princípios para um Sistema Seguro (*Safe System*), especifica requisitos genéricos para um sistema de gestão de segurança viária, de forma a permitir que as organizações, públicas ou privadas, que fazem parte do setor de transportes no país, possam reduzir as mortes e lesões graves relacionadas aos acidentes de trânsito. Entre os requisitos para um sistema de gestão da segurança viária, proposto pela norma para as entidades públicas e privadas, estão: liderança e comprometimento da alta administração com relação ao sistema de gestão; revisão, análise e definição dos objetivos e metas a serem alcançados; determinação, planejamento, implementação e controle dos processos para atender aos requisitos e implementar as ações previstas; ações corretivas para não conformidades que ocorrerem; e melhoria contínua da conformidade, adequação e eficácia do sistema de gestão.

Apesar desta visão ter sido implementada em muitos países, no Brasil os acidentes graves e com vítimas fatais são ainda frequentes. Este artigo delimita-se, então, nas ocorrências com óbitos e/ou vítimas graves feridas, que não são admissíveis de acordo com a filosofia europeia e com modernos métodos de gestão do trânsito. A pesquisa busca verificar as ocorrências nos trechos urbanos de rodovias federais, em especial no Paraná, estado onde houve o maior número de vítimas nestes segmentos, no período de 2010 a 2014, segundo dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Uma verificação da infraestrutura viária destes trechos é também realizada, segundo a avaliação da Confederação Nacional de Transporte (CNT).

3. ACIDENTES DE TRÂNSITO EM SEGMENTOS URBANOS DE RODOVIAS

Ao longo das últimas décadas, o crescimento desordenado das cidades tem provocado o aumento das aglomerações urbanas. Rodovias rurais, que antes ligavam cidades, foram envolvidas pela urbanização e se constituem, agora, na principal, mais rápida, e, às vezes única, forma de acesso a uma localidade. Trechos rodoviários de inserção urbana nas regiões metropolitanas brasileiras, por exemplo, constituem-se em importantes eixos estruturais, submetidos à dinâmica urbana e suburbana dessas áreas (MENEZES, 2001).

Rodovias que atravessam áreas urbanas possuem características que são típicas de ruas e avenidas urbanas, tais como alto número de pontos de acesso e grande número de pedestres que caminham por seus acostamentos e as cruzam em qualquer ponto, condições que se assemelham ao ambiente urbano (VELLOSO e JACQUES, 2012). A mistura do tráfego local e o tráfego de longa distância em cidades pode ter uma série de efeitos desfavoráveis tanto para a segurança do trânsito quanto para a capacidade de manobra e a comunidade local (ELVIK *et al*., 2015).

Em 2014, 2.461 pessoas morreram em acidentes nos trechos urbanos das rodovias federais brasileiras, e outras 11.779 sofreram lesões graves (PRF, 2015). De 2010 a 2014, mais de 77.000 pessoas ficaram gravemente feridas ou foram a óbitos em acidentes nos segmentos rodoviários urbanos fiscalizados pela Polícia Rodoviária Federal, o que correspondeu a 42,5% do total. A norma brasileira NBR ISO 390001:2015 (ABNT, 2015) define como lesão grave aquela com um impacto à saúde a longo prazo, ou dano de maior gravidade provocada ao corpo de uma pessoa ou às suas funções. Neste estudo, baseado em dados da Polícia Rodoviária Federal, a classificação da gravidade da lesão, e do uso do solo, urbano ou rural, esteve a critério

do policial responsável pelo registro da ocorrência. A tabela 1 apresenta o número de vítimas envolvidas, por uso do solo, e total, nas rodovias federais brasileiras.

Tabela 1: Vítimas de acidentes de trânsito com lesões graves ou fatais, em rodovias federais, de 2010 a 2014

Ano	Uso do solo		Total	Vítimas nos trechos urbanos (%)
	Urbano	Rural		
2010	15.616	20.977	36.593	**42,7%**
2011	16.380	21.348	37.728	**43,4%**
2012	15.979	20.976	36.955	**43,2%**
2013	14.844	20.544	35.388	**41,9%**
2014	14.240	20.230	34.470	**41,3%**
Total	**77.059**	**104.075**	**181.134**	**42,5%**

Fonte: PRF (2015)

Nos estados do Sul do país, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, 21.505 pessoas ficaram gravemente feridas ou morreram em acidentes nos segmentos urbanos das rodovias federais brasileiras, entre os anos de 2010 a 2014. A tabela 2 mostra as vítimas, por estado, durante o período avaliado.

Tabela 2: Vítimas de acidentes de trânsito em trechos urbanos de rodovias federais, de 2010 a 2014

	Mortos	Feridos graves	Total
AC	30	346	376
AL	218	1.528	1.746
AM	9	31	40
AP	16	202	218
BA	871	2.775	3.646
CE	554	3.018	3.572
DF	161	750	911
ES	509	3.972	4.481
GO	670	3.264	3.934
MA	397	1.695	2.092
MG	1.148	6.102	7.250
MS	158	943	1.101
MT	204	1.015	1.219
PA	386	1.873	2.259
PB	320	1.906	2.226
PE	836	3.241	4.077
PI	378	1.872	2.250
PR	1.390	7.210	8.600
RJ	1.338	3.928	5.266
RN	346	1.875	2.221
RO	177	1.632	1.809
RR	31	112	143
RS	886	3.463	4.349
SC	1.327	7.229	8.556
SE	112	352	464
SP	965	2.702	3.667
TO	97	487	584
Total	**13.534**	**63.523**	**77.057**

Fonte: PRF (2015)

Trechos urbanos de rodovias federais no sul do país têm se mostrado, segundo o número de acidentes e vítimas, bastante inseguros. E este problema de segurança viária tem sido notado e estudado em trabalhos para a região, já há alguns anos. Diesel (2005), Peña (2011) e Salvador e Goldner (2009) estudaram acidentes de trânsito que ocorreram em rodovias federais no estado de Santa Catarina, inclusive em algumas inseridas em áreas urbanas.

No Rio Grande do Sul, segmentos de rodovias que possuem uma concentração populacional em áreas adjacentes, denominados travessias rodoviárias em áreas urbanas, foram analisados por Freire (2003), em uma avaliação de um conjunto de projetos de programa de melhorias destas travessias urbanas em cidades de portes pequeno e médio do estado. Schmitz e Goldner (2010) e Schmitz (2011) propuseram um método baseado em SIG para a análise dos segmentos críticos de rodovia com um estudo de caso na BR 285.

Na região metropolitana de Curitiba, Mazzetto (2015) avaliou as condições de segurança de três segmentos das rodovias BR 116 e 376, em áreas de grande concentração industrial. De acordo com o autor, em um trecho não pedagiado da BR 376 que atravessa o bairro Cidade Industrial, em 14 quilômetros havia apenas 1 passarela, o que demonstra a insegurança viária com relação aos pedestres.

Paraná, juntamente com o estado de Santa Catarina, destaca-se negativamente em termos de insegurança viária em rodovias em áreas urbanizadas. A maioria das vítimas, de 2010 a 2014, estava em motocicletas ou motonetas. A figura 1 mostra a participação dos veículos envolvidos, no número de vítimas que sofreram lesões graves ou fatais, nos segmentos urbanos de rodovias federais nos estados do Sul do país.

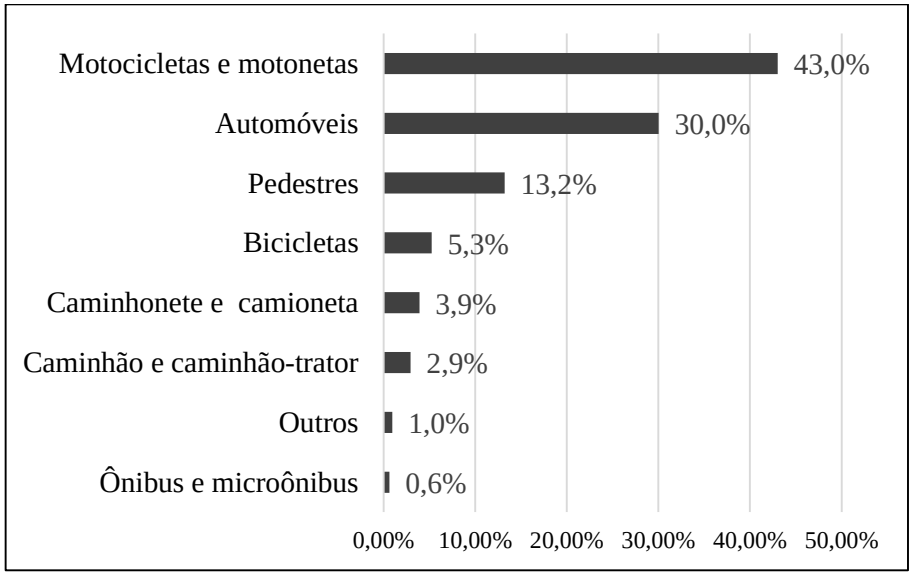


Figura 1: óbitos e vítimas com lesões graves, por categorias de veículos, em acidentes nos trechos urbanos de rodovias no sul do Brasil, de 2010 a 2014
Fonte: PRF (2015)

Na região sul do país, no Paraná foi onde ocorreu, em números absolutos, o maior número de óbitos e vítimas com lesões graves. Por este motivo, a próxima seção aprofunda o estudo para o estado.

3.1 Segurança viária em trechos urbanos das rodovias federais no estado do Paraná

No estado Paraná, em 15 rodovias federais sob jurisdição da Polícia Rodoviária Federal, 18.182 pessoas morreram ou sofreram lesões graves de 2010 a 2014, cerca de 47% (8.600 vítimas) nos segmentos urbanos. A figura 2 ilustra as rodovias federais inseridas no estado.

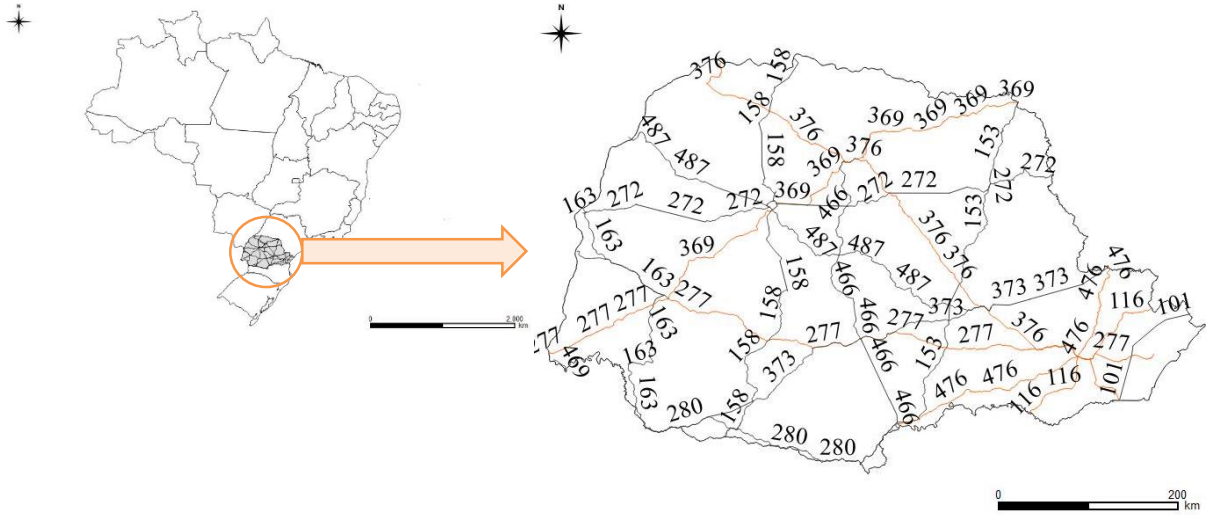


Figura 2: Rodovias federais no estado do Paraná
Fonte: DNIT (2016)

Destas rodovias, nas BRs 116, 277, 376, 369, 476, destacadas na figura 2, estavam a maioria das vítimas. A tabela 3 apresenta, para cada uma das rodovias, o número de vítimas no período.

Tabela 3: Óbitos e vítimas gravemente feridas em trechos urbanos de rodovias federais no estado do Paraná

BR	Óbitos	Vitimas graves	Total
116	172	801	973
153	27	161	188
158	17	135	152
163	29	125	154
273	10	71	81
277	447	1.899	2.346
280	1	12	13
369	175	1.175	1.350
373	62	214	276
376	286	1.518	1.804
380	0	1	1
467	25	94	119
469	4	33	37
476	132	926	1.058
487	3	45	48
Total	**1.390**	**7.210**	**8.600**

Fonte: PRF (2015)

Com relação ao estado geral destas rodovias, a pesquisa CNT de Rodovias as classificou, segundo às variáveis geometria, sinalização e pavimento, na maioria dos anos deste estudo, como bons, com exceção da BR 476, rodovia em condições regulares. A tabela 4 detalha a classificação de cada uma das cinco rodovias, por ano.

Tabela 4: Classificação de rodovias federais no estado do Paraná

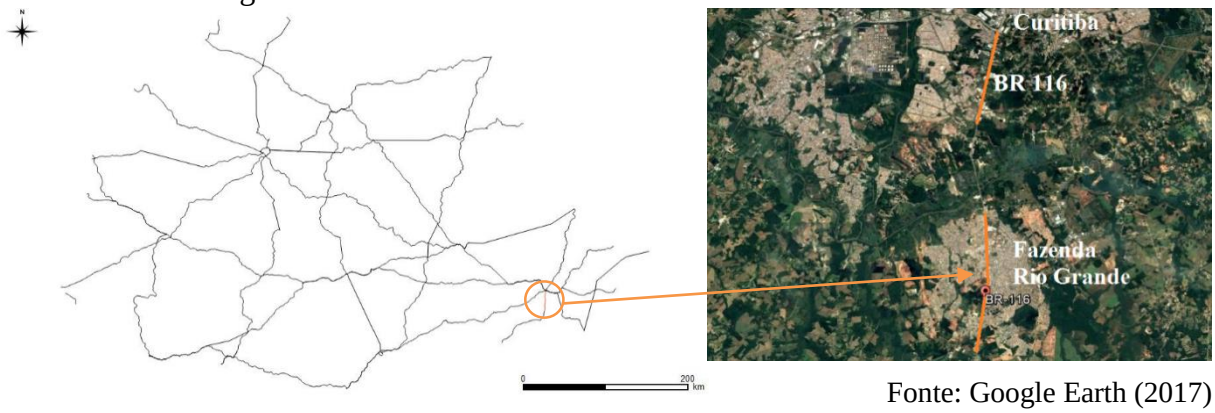
BR\Ano	2014	2013	2012	2011	2010
116	Ótimo	Ótimo	Bom	Bom	Bom
277	Bom	Ótimo	Bom	Bom	Bom
369	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
376	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
476	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular

Fonte: CNT – Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2014)

Neste estudo, as ocorrências em acidentes de trânsito em rodovias federais inseridas em áreas urbanas foram verificadas. As rodovias foram divididas em trechos de 10 km, e o número de vítimas com lesões graves e óbitos contabilizados por segmento. Após a verificação destes dados, para as rodovias BR 116, 277, 376, 369 e 476, os trechos com mais vítimas foram selecionados, e destacados em um programa de geoprocessamento, conforme o aprofundado na próxima seção.

3.1.1 Segmentos urbanos

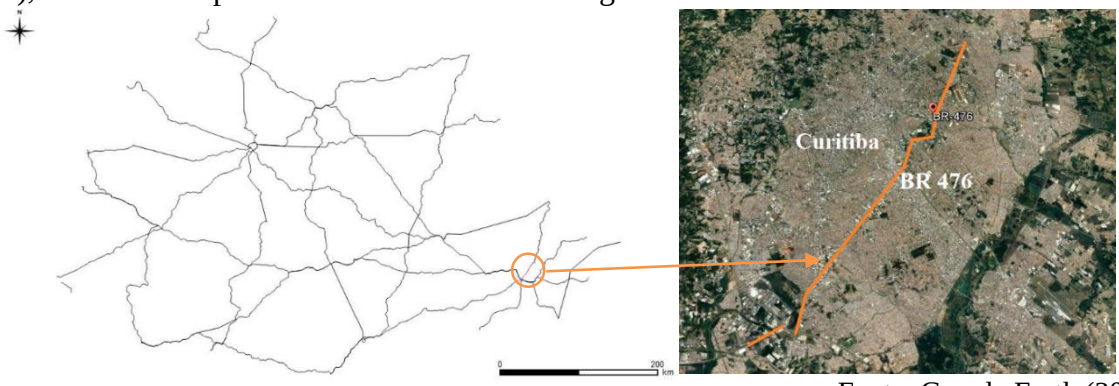
Na rodovia BR 116, identificou-se o trecho entre os quilômetros 90 a 140 como o de mais alta acidentalidade. Entre os quilômetros 113 a 130, onde a rodovia atravessa a cidade de Fazenda Grande, e o próximo, em Curitiba, que podem ser visualizados na figura 3, houve mais de 400 mortes ou vítimas gravemente feridas em acidentes de trânsito na área urbanizada.



Fonte: Google Earth (2017)

Figura 3: Trecho urbano da BR 116 que atravessa as cidades de Fazenda Grande e Curitiba

Ainda em Curitiba, e nas cidades próximas, o segmento da BR 476 (figura 4) também é de grande acidentalidade. Nos 30 km na capital do estado, classificados como regular (CNT, 2014), cerca de 600 pessoas morreram ou ficaram gravemente feridas de 2010 a 2014.



Fonte: Google Earth (2017)

Figura 4: Trecho urbano da BR 476 que atravessa a cidade de Curitiba

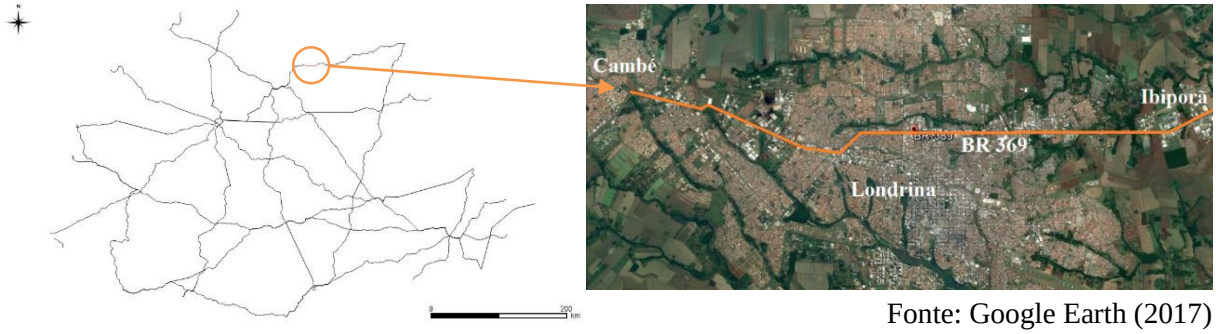
Na BR 277, os segmentos urbanos mais críticos estavam entre os quilômetros 580 a 600, na cidade de Cascavel, e 720 a 730, visualizados na figura 5, em Foz do Iguaçu, trecho com quase 300 vítimas em cinco anos. A Pesquisa CNT de Rodovias apontou que estes trechos estavam em boas ou ótimas condições, com relação à infraestrutura de engenharia.



Fonte: Google Earth (2017)

Figura 5: Trecho urbano da BR 277 que atravessa a cidade de Foz do Iguaçu

Na BR 369, houve, de 2010 a 2014 mais de 1.000 vítimas em acidentes entre os quilômetros 130 a 210, sendo quase metade dos óbitos e feridos gravemente no trecho entre os quilômetros 140 e 160, sobretudo em Londrina, e em suas proximidades, áreas mostradas na figura 6.



Fonte: Google Earth (2017)

Figura 6: Trecho urbano da BR 369 que atravessa as cidades de Londrina e Ibiporã

A BR 376 apresentou trecho crítico entres os quilômetros 170 a 190, nas cidades de Maringá e Sarandi, com quase 600 vítimas em cinco anos. Em 2014, após o início da operação do Contorno Norte da rodovia em Maringá, 11 pessoas morreram ou se lesionaram gravemente no anel rodoviário, e outras 125 foram vítimas no antigo trecho, praticamente o mesmo número dos anos anteriores. A figura 7 ilustra este segmento.



Fonte: Google Earth (2017)

Figura 7: Trecho urbano da BR 376 que atravessa a cidade de Maringá

De acordo com Elvik *et al*. (2015), tanto o número total de acidentes quanto o número de feridos decrescem após a construção dos anéis viários, o que se aplica tanto na via antiga quanto no novo desvio de rota. Entretanto, a variação dos impactos dos anéis viários com o número de acidentes de um lugar para outro depende de outras variáveis, como por exemplo, dos riscos antes dos anéis viários serem construídos, da distribuição do tráfego ocorrida e do volume de tráfego recém-criado (ELVIK *et al*., 2015). O aumento do limite de velocidade na nova rodovia também aumenta a preocupação com a severidade dos acidentes (Cena *et al*., 2011).

De forma geral, todos os segmentos das rodovias analisadas apresentavam condições boas de engenharia nos anos abordados. Em muitos, a velocidade é reduzida a 60km/h e 70 km/h na área urbana, e possuem infraestrutura para a travessia de pedestres, que representam 16% das vítimas. Motociclistas (41%) e motoristas e passageiros de veículos (29%) são os dois grupos mais envolvidos nos acidentes, de acordo com dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2015). Ressalta-se, também, que outros segmentos urbanos apresentam números elevados de acidentes, como a rodovia BR 277, inserida na cidade de São José dos Pinhais. Nesta pesquisa, apenas os trechos com mais vítimas, das rodovias com maior acidentalidade, foram destacados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A segurança viária é um principais desafios para o setor de transportes no Brasil. Uma abordagem segundo um Sistema Seguro (*Safe System*), já adotada em muitos países, principalmente nos mais desenvolvidos, é ainda pouco difundida no país. O trânsito brasileiro faz, ainda, muitas vítimas com lesões graves e fatais, inadmissíveis segundo as formas mais modernas de gestão de tráfego. Medidas que colaborem para a mitigação da situação devem ser colocadas em prática e constantemente monitoradas e revisadas.

Neste sentido, a engenharia rodoviária deve buscar padrões mais avançados de projeto, que englobem princípios para um sistema de transportes seguro, e que "perdoem" os erros mais comuns dos motoristas. As responsabilidades na segurança viária devem ser compartilhadas entre os usuários e entidades públicas e privadas.

Os trechos urbanos de rodovias federais contribuem para o mau desempenho e insegurança no trânsito. Apesar de muitos serem classificados como "bons", com relação às condições de geometria, de sinalização e do pavimento, como no estado do Paraná, neles acontecem muitos acidentes, que provocam vítimas com lesões graves ou fatais, entre elas pedestres e motociclistas. Contornos rodoviários ajudam na mobilidade urbana e na diminuição do número de acidentes, mas podem levar a aumento na gravidade das lesões devido ao aumento proporcionado nas velocidades. Uma gestão eficiente deve ser implementada, com o controle da velocidade, e a fiscalização adequada, para a diminuição deste impacto.

Na avaliação do desempenho das rodovias, a segurança viária deve ser preponderante em relação à outras variáveis, como a mobilidade. Uma rodovia não poderá ser classificada como boa, ou "cinco estrelas", se nela ocorrerem muitos acidentes, principalmente com óbitos ou vítimas seriamente feridas. Um sistema de transportes será eficiente quando conseguir aliar, ao volume de tráfego, a fluidez e a segurança nos deslocamentos.

Agradecimentos
Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR ISSO 390001:2015**: Sistemas de gestão da segurança (SV) – Requisitos com orientação para uso. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2015.

CENA, L. G.; KEREN, N.; LI, W.; CARRIQUIRY, A. L.; PAWLOVICH, M. D. FREEMAN, S. A. A Bayesian assessment of the effect of highway bypasses in Iowa on crashes and crash rate. **Journal of Safety Research 42**, 2011. p 241 – 252. doi: 10.1016/j.jsr.2011.05.007

CNT; SEST; SENAT. **Pesquisa CNT de rodovias 2014**: relatório gerencial. 2014. Confederação Nacional do Transporte; Serviço Social do Transporte; Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte. Brasília, 2014. 388p.

DIESEL, L. E. (2005) **SIG na prevenção a acidentes de trânsito**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Florianópolis, 2008.

DNIT (2016) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Sistema Nacional de Viação 2016**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1>. Acesso em 05 abril 2016.

DOT (2016). Department of Transport. **The Roads Zero begins now**. Disponível em: <https://www.transportation.gov/briefing-room/us-dot-national-safety-council-launch-road-zero-coalition-end-roadway-fatalities>. Acesso em: 20 fev. 2017.

ELVIK, R.; HØYE, A.; VAA, T.; SØRENSEN, M. **O Manual de Medidas de Segurança Viária**. Fundación MaPFRE, Madri, 2015. 1.071 p.

FREIRE, L. H. C. V. **Análise de tratamentos adotados em travessias urbanas – rodovias arteriais que atravessam pequenas e médias cidades no RS**. 2003. 149 p. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia – ênfase em Sistemas de Transportes) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

Google Earth (2017) **Google Earth 7.1.8.3036**. Acesso em 28 Jun 2017**.**

ITF. International Transport Forum. **Zero Road Deaths and Serious Injuries**: Leading a Paradigm Shift to a Safe System. OECD Publishing, Paris, 2016. http://dx.doi.org/10.1787/9789282108055-en.

JOHANSSON, R. Implementing a policy for traffic safety. **Safety Science 47**, 2008. p. 826 – 831. doi: 10.1016/j.ssci.2008.10.023.

KAZIMIERZ, J.; KUSTRA, W.; BUDZYNSKI, M.; ZUKOWSKA, J. Pedestrian protection, speed enforcement and road network structure the key action for implementing Poland´s Vision Zero. **Transportation Research Procedia 14**, 2016. p. 3905 – 3914. doi:10.1016/j.trpro.2016.05.479.

LADOT. **Vision Zero Los Angeles**: Collision and Countermeasure Analysis: Literature Review. Los Angeles Department of Transportation. Los Angeles, 2016.

MENESES, F. A. B. **Análise e Tratamento de Trechos Rodoviários Críticos em Ambientes de Grandes Centros Urbanos**. 2001. 251 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MAZZETTO, L. F. **Avaliação das condições de segurança em rodovias federais da região metropolitana de Curitiba**. 2015. 71 p. Monografia de Especialização (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – UTFPR, Universidade Tecnológica do Estado do Paraná, Curitiba, 2015.

NYC (2014). **Vision Zero Action Plan**. Disponível em <http://www.nyc.gov/html/visionzero/pdf/nyc-vision-zero-action-plan.pdf>. Acesso em: 28 mar 2017.

PEÑA, C. C. **Análise da segurança viária em interseções nas rodovias federais de Santa Catarina**. 2011. 259 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

PRF. (2015) Polícia Rodoviária Federal. **Estatística de Acidentes nas Rodovias Federais**. Brasília.

RAIA Jr., A. A. A responsabilidade pelos acidentes de trânsito segundo a visão zero. **Revista dos Transportes Públicos**, n° 121, p. 7-18, 2009.

SALVADOR, D. M.; GOLDNER, L. G. (2009) Análise dos tipos de acidentes de trânsito nos trechos duplicado e não duplicado da BR-101 em Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS & CONCESSÕES 2009, São Paulo. **Rodovias e Concessões 2009**. São Paulo: Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, 2009. v1, p.1-12.

SCHMITZ, A. **Proposta Metodológica baseada em GIS para análise de segmentos críticos de rodovia**: estudo de caso na BR-285/RS. 2011. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SCHMITZ, A.; GOLDNER, L. G. Proposta metodológica baseada em GIS para análise de segmentos críticos de rodovia – Estudo de caso na BR – 285. In: XVI CONGRESO PANAMERICANO DE INGENIERÍA DE TRÂNSITO, TRANSPORTE E LOGÍSTICA, 2010, Lisboa. **Anais do XVIII Congreso Panamericano**

de Ingeniería de trânsito, transporte e logística – PANAM 2010. Lisboa: CESUR, IST, Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

UN (2015). United Nations. **New Sustainable Development Agenda**. Disponível em: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em: 22 de fev. 2017.

UN (2017). United Nations. **64/255:** Improving global road safety**.** Disponível em: <http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/255>. Acesso em: 25 abr. 2017.

VELLOSO, M. S.; JACQUES, M. A. P. On-the-spot study of pedestrian crashes on Brazilian Federal District rural highways crossing urban areas. **Transportation Research Part F, 15**: Traffic Psychology and Behaviour, 2012. p.588-599, 2012.

WHO. **Global status report on road safety**: time for action. Organização Mundial da Saúde. Genebra, 2009.

WHO. **Global status report on road safety 2013**: supporting a decade of action. Organização Mundial da Saúde. Genebra, 2013.

WHO (2017a). **2nd Global High-Level Conference on Road Safety**. Disponível em: <http://www.who.int/roadsafety/events/2015/brasilia_conference/en/>. Acesso em: 22 fev. 2017.

WHO (2017b). **Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020**. United Nations Road Safety Collaboration. Disponível em: <http://www.who.int/roadsafety/decade_of_action/plan/en/>. Acesso em: 25 abr. 2017.

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SEGURANÇA NO TRÂNSITO DA REGIÃO CENTRAL NA CIDADE DE ITABIRA/MG E DA INCIDÊNCIA DE COMPORTAMENTOS DE RISCO QUE FAVORECEM A OCORRÊNCIA DE ACIDENTES

Gabriel Silva Nunes
Sérgio Pacífico Soncim
Iara Alves Martins de Souza
Universidade Federal de Itajubá

RESUMO
Este estudo traz uma abordagem em torno do nível de segurança no trânsito da região central de Itabira/MG, considerando o comportamento do motorista quanto ao uso do cinto de segurança e telefone celular enquanto dirige. Outra variável analisada foi a ocupação do veículo, permitindo identificar quantas pessoas estariam expostas ao risco com base no comportamento do condutor. Foi necessário avaliar a incidência de tais comportamentos em uma rua movimentada no centro da cidade em horário de pico. Com objetivo de identificar e classificar medidas de segurança conforme sua influência em inibir o cometimento de infrações de trânsito, foram avaliados três cenários: base, presença de agente de trânsito e presença de mensagem educativa na via. A partir dos dados obtidos percebeu-se que o número de infrações observadas se alterou em função do cenário analisado pode-se concluir que o cenário que contempla a presença de agente de trânsito mostrou-se o mais eficiente.

ABSTRACT
This study presents a discussion about the safety level of the traffic in downtown Itabira/MG, considering the driver behavior as the seatbelt and cell phone usage while driving. Another variable considered was the vehicle occupancy, allowing to identify how many people would be at risk based on driver behavior. It was necessary to evaluate the incidence of such behavior on a busy road in peak hours. In order to identify and classify safety measures as their influence to prevent traffic violations, three scenarios were considered in this research: base, presence of traffic officer on site and presence of road safety messages. From the data obtained it was noticed that the number of violations changed according to the scenario analyzed, it is possible to conclude that the scenario that contemplates the presence of a traffic officer was the most efficient.

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de acidentes de trânsito é uma realidade latente no Brasil, tanto nas cidades de pequeno porte quanto nos grandes centros urbanos, e tem sido responsável pelo crescimento nos índices de óbito motivados por essas ocorrências. Em um estudo realizado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em 2009 acerca das mortes por acidente de trânsito, foram contabilizados 1,3 milhão de óbitos em 179 países, estando o Brasil em quinto lugar nesse ranking, sendo precedido somente pela Índia, China, EUA e Rússia. Nesse mesmo estudo, a OMS estima que se o cenário continuar dessa maneira, em 2020 o número de pessoas mortas no trânsito será de 1,9 milhão e em 2030, 2,4 milhões. A observância desses dados evidencia a extrema necessidade de se compreender esse fenômeno, apontar suas principais causas e definir então uma medida capaz de atenuar os efeitos devastadores causados pelas ocorrências no trânsito.

Diante dos elevados números que quantificam a ocorrência de tragédias no trânsito, a Organização das Nações Unidas (ONU) chamou atenção para os fatores responsáveis pela intensificação dos acidentes, citando, especialmente, velocidade excessiva, falta de uso do cinto de segurança e outros equipamentos de proteção, dirigir em estado de embriaguez, frota de veículos sem conservação e inadequação da infraestrutura de vias públicas e rodovias. Sendo os acidentes de trânsito uma das principais causas de morte e invalidez ao redor do mundo, estima-se que o elemento humano contribua para a ocorrência de mais de 90% deles, grande parte envolvendo o comportamento dos motoristas.

O advento de tecnologias tem feito com que o homem se torne cada vez mais dependente de equipamentos eletrônicos, que embora facilitem o dia a dia da sociedade, em algumas ocasiões são usados de maneira inadequada. De acordo com Czerwonka (2016), o celular causa 1,3 milhão de acidentes por ano no trânsito. Dados do Seguro DPVAT, pago em caso de morte ou invalidez, mostram que 80% dos motoristas admitem que fazem o uso do aparelho ou outras tecnologias que geram distração enquanto dirigem. O mesmo portal ainda divulga outros dados relevantes de uma pesquisa realizada pelo Observatório Nacional de Segurança Viária apontando que 98% dos acidentes de trânsito são causados por erro ou negligência humana. Em primeiro lugar no ranking está a prática de fazer ligações ou mandar mensagens enquanto dirige.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Itabira tem uma população de 118.481 habitantes e segundo o Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN, em 2015, a frota do município era de 57.988 veículos. Uma análise aprofundada do cenário atual de Itabira consolida a ideia de que os tópicos voltados à segurança no trânsito são realmente um problema real na cidade. O Departamento de Transportes e Trânsito de Itabira (Transita) é o órgão responsável por regularizar, coordenar e organizar o tráfego, o trânsito e o sistema viário do município. De acordo com dados disponibilizados pela Transita, em 2015 as infrações do tipo "dirigir veículo utilizando-se de telefone celular" e "deixar o condutor de usar o cinto de segurança" tiveram grande expressividade nas ocorrências verificadas na cidade.

No relatório anual de infrações, dirigir utilizando o celular atingiu o valor de 30% do total de infrações no ano de 2015, configurando-se, portanto como a infração mais cometida na cidade. Já a infração que aponta para o desuso do cinto de segurança obteve o percentual de 5% ficando em quinto lugar em números de ocorrências, demonstrando um cenário atípico, já que geralmente a infração fica entre a segunda maior. Tal alteração é justificada por infrações relacionadas a reimplantação do estacionamento rotativo que obtiveram números expressivos em 2015.

É possível perceber que o problema ainda persiste e não apresenta alterações significativas quando analisada a sua ocorrência. De acordo com a Transita, de janeiro de 2016 até agosto do mesmo ano, a infração que faz menção a dirigir utilizando o celular apresentou um percentual de 36% e aquela que se refere ao não uso do cinto de segurança por parte do condutor obteve 5% do total das ocorrências de infrações de trânsito na cidade.

Diante disso, o presente estudo busca trazer uma abordagem em torno do nível de segurança no trânsito na região central do município de Itabira/MG, levando em consideração o comportamento do motorista quanto ao uso do cinto de segurança e telefone celular enquanto dirige. Outra variável também a ser analisada é a ocupação do veículo podendo assim identificar quantas pessoas estariam expostas ao risco com base no comportamento do motorista. Também é de intuito desta pesquisa identificar e classificar medidas de segurança de trânsito conforme sua influência em inibir o cometimento de infrações de trânsito no meio urbano.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro: "O trânsito, em condições seguras, é um direito de todos e dever dos órgãos e entidades componentes do Sistema Nacional de Trânsito, a estes cabendo, no âmbito das respectivas competências, adotar medidas destinadas a assegurar esse direito. ". As complicações no trânsito têm afetado intensamente na qualidade de vida da humanidade com o passar do tempo. No Brasil, conforme o Instituto de Pesquisas Econômicas

Aplicadas (IPEA), os acidentes de trânsito apresentam custos sociais, financeiros, psicológicos e ambientais, gerando uma grande demanda referente a leitos hospitalares, ao impacto psicológico em acidentados e familiares, as faltas ao trabalho, as indenizações e aos gastos materiais.

Para Ferreira (2008), a regulamentação e a implantação de novas medidas foram tomadas como solução parcial para a diminuição do número de acidentes no trânsito. Medidas como a utilização compulsória do cinto de segurança, radares escondidos para a redução da velocidade e a implementação da lei que dá preferência ao pedestre nas faixas de segurança.

2.1. Comportamento Humano no Trânsito

Entre os três componentes principais do sistema de tráfego (veículo, via e usuário), acredita-se que a falha do elemento humano esteja envolvida em cerca de 90% dos acidentes de trânsito, seja por meio de erros ou descumprimento da lei. (Bottesini e Nodari, 2011).

Entretanto, devido à ampla pluralidade de características físicas e psicológicas das pessoas, tem-se pouco domínio sobre o elemento humano, o que impossibilita o seu aperfeiçoamento. Ainda segundo Bottesini e Nodari (2011), dessa maneira, o reconhecimento das medidas de segurança de trânsito que apontam maior potencialidade para impulsionar um comportamento seguro nos motoristas pode contribuir no estabelecimento de programas de segurança com nível apropriado de eficiência.

Em relação ao comportamento de usar o cinto de segurança, estatísticas sobre acidentes mostram que motoristas e passageiros que usam corretamente esse equipamento, têm um risco menor de se ferirem e uma chance maior de sobreviverem em um acidente. Um estudo da Associação Brasileira de Medicina de Tráfego - ABRAMET revela que o cinto de segurança no banco frontal diminui o risco de morte em 45% e, no banco de trás, em até 75%.

Conforme Silva (2002) os telefones celulares são meios tecnológicos bastante úteis, mas podem distrair os motoristas que os utilizam. Embora componham uma infração do Código Nacional Brasileiro de Trânsito, parte significante dos motoristas utiliza com frequência o telefone celular enquanto dirigem. Diversos estudos mostram que as tarefas de percepção e de tomada de decisão destes motoristas são notoriamente prejudicadas por esse comportamento.

Os motoristas, de acordo com Silva (2002), precisam, incessantemente, ser instruídos sobre os comportamentos de risco que podem aumentar a probabilidade de acidentes de trânsito. Para este pesquisador, campanhas educativas intensas e demonstrações durante o período de obtenção da Carteira Nacional de Habilitação são extremamente importantes para exemplificar tais comportamentos.

3. METODOLOGIA

Os procedimentos normalmente utilizados na engenharia de tráfego para levantamentos de dados em campo são as pesquisas, que podem ser realizadas por meio de entrevistas ou por observação direta. A pesquisa por meio de observação direta foi desenvolvida de modo a identificar a ocorrência das infrações de trânsito (dirigir veículo utilizando-se de telefone celular e deixar o condutor de usar o cinto de segurança) e a ocupação dos veículos em três diferentes cenários.

3.1. Definição da Área de Estudo

Para a definição da área de estudo foi realizada uma reunião com o superintendente do Departamento de Transportes e Trânsito de Itabira para identificar quais eram as regiões do município com maior incidência das infrações discutidas neste trabalho. Baseando-se em dados de posse do órgão foram definidos quatro pontos de maior relevância para o desenvolvimento da pesquisa, como indicados na Figura 1: Avenida João Pinheiro sentido a Estação Rodoviária Genaro Mafra (1); Avenida João Pinheiro sentido a Praça Acrísio Alvarenga (2); Rua São José (3); Rua Salvino Pascoal do Patrocínio (4).



Figura 1: Área de estudo e possíveis postos de coleta de dados. (Fonte: *Google Maps*)

O ponto 3 foi definido como ponto para a coleta de dados, visto que se trata de uma interseção semaforizada entre a rua São José com a avenida João Pinheiro, por apresentar boa visibilidade e condições favoráveis para o desenvolvimento da pesquisa. Por se tratar de um cruzamento no centro da cidade, o fluxo de pedestres e veículos é grande, sendo uma via que apresenta constantemente congestionamentos e alguns acidentes. Além disso a baixa velocidade, restrita pela sinalização do local, e a presença de um semáforo, facilitaram a observação e a coleta de dados.

A Rua São José está localizada no centro de Itabira, se caracteriza como uma via de grande importância no trânsito da cidade por coletar fluxo de carros proveniente da região bancária e do bairro Pará, um dos mais tradicionais do município, distribuindo-o na Avenida João Pinheiro garantindo assim o acesso a outras regiões movimentadas como Praça Dr. Acrísio Alvarenga, Esplanada da Estação e Estação Rodoviária.

3.2. Contagens Volumétricas

As Contagens Volumétricas têm o objetivo de determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de veículos que passam por um ou vários pontos definidos do sistema viário, num determinado período de tempo. As informações obtidas são utilizadas na análise de capacidade, na avaliação das causas de congestionamento e de elevados índices de acidentes, no dimensionamento do pavimento, nos projetos de canalização do tráfego, entre outras melhorias. (DNIT,2006).

O conhecimento do fluxo da área de estudo e das características do tráfego é imprescindível para a análise do nível de segurança no local. Por isso foi tomada como base para o avanço deste trabalho uma contagem volumétrica realizada por Reis (2015) na mesma região. Reis (2015) observou o volume de veículos em 3 horários diferentes, em dois dias.

Após uma análise dos dados obtidos no levantamento volumétrico de Reis (2015), percebeu-se que a Rua São José tem seus principais horários de pico às 12:30 - 13:30, 17:00 - 18:00 e 18:00 - 19:00. Foi definido então, por questões de visibilidade e segurança, que o horário de 12:30 - 13:00 seria o mais adequado para o desenvolvimento da coleta de dados deste trabalho.

3.3. Verificação do uso do cinto de segurança, telefone celular e ocupação do veículo

A pesquisa por observação direta foi aplicada em três cenários diferentes: cenário base (sem presença de fiscalização ou de mensagem educativa na via); com presença de um agente de trânsito no local; e com presença de mensagem educativa. O cenário base possibilitou obter informações sobre o tráfego local, como a identificação do fluxo de carros, o número médio da ocorrência das infrações e da ocupação do veículo para que, em seguida pudesse se avaliar a influência de duas possíveis medidas de segurança instaladas no local como a presença do agente de trânsito e a presença de mensagens educativas ao longo da via. A Figura 2 ilustra o ponto de coleta de dados. Para a coleta de dados foram utilizadas fichas de pesquisa impressas e foram coletadas as seguintes informações:

- Identificação da rua, do pesquisador e do cenário avaliado;
- Data, hora e condições climáticas;
- Número de pessoas no veículo;
- Uso do cinto de segurança;
- E uso do celular.



Figura 2: Foto do ponto de observação e coleta de dados

A primeira medida avaliada no local foi a presença de um agente de trânsito durante o período de coleta de dados. O agente se posicionou em um ponto visível de modo que os motoristas pudessem identificar a sua presença e fossem orientados quanto ao uso do cinto e a não utilização do celular enquanto dirigem, conforme pode-se obervar na Figura 3.



Figura 3: Presença de um agente de trânsito no local

Outra modificação avaliada foi a implantação de uma faixa com uma mensagem educativa em um ponto de fácil visualização por parte dos motoristas e de modo que não atrapalhasse o trânsito local da Rua São José. A Figura 4 ilustra o local de colocação da faixa e a frase educativa.



Figura 4: Faixa com mensagem educativa

A coleta de dados por meio de observação direta foi realizada durante 1 hora no horário de pico das 12:30 às 13:30. Cada cenário foi avaliado por 3 dias, preferencialmente nas terças, quartas e quintas feiras. Ao todo foram 9 dias de observação no local.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Cenário base

A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados coletados durante 3 dias para o cenário base.

Tabela 1: Resumo dos resultados para o cenário base

Cenário Base	
Total de veículos	446 veículos
Motoristas sem cinto de segurança	23,41%
Motoristas utilizando celular	1,82 %
Ocupação do Veículo	
1 pessoa	63,37 %
2 pessoas	28,74 %
3 pessoas	5,64 %
4 pessoas	0,90 %
5 pessoas	0,43 %
Mais que 5 pessoas	0,92 %

Pela observação dos dados apresentados na Tabela 1, pode-se observar que a maioria dos carros que passaram pelo local de estudo durante a análise do primeiro cenário possuíam apenas um ocupante, ou seja, apenas o próprio motorista. Sobre o uso do cinto de segurança, percebeu-se que parcela expressiva dos motoristas não utilizava, havendo grande incidência de um comportamento de risco na região.

Referente ao uso do celular pelo motorista enquanto dirigia, percebeu-se que neste cenário sua ocorrência é menor que o problema anterior, mas diante da gravidade deste comportamento e as consequências que ele pode gerar, deve-se tentar reduzir ao máximo a sua incidência. Além disso, neste cenário foram obtidos os parâmetros de comparação para os próximos dois cenários. Quanto ao desuso do cinto de segurança, cerca de 23% dos motoristas apresentaram esse comportamento e referente ao uso do celular cerca de 2% cometeram essa infração.

4.2. Presença de agente de trânsito no local

A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados coletados durante três dias no cenário com a presença de um agente de trânsito.

Tabela 2: Resumo dos resultados para o cenário agente de trânsito

Cenário Agente de Trânsito	
Total de veículos:	534 veículos
Motoristas sem cinto de segurança:	14,29 %
Motoristas utilizando celular:	0,20 %
Ocupação do Veículo	
1 pessoa	60,17 %
2 pessoas	31,86 %
3 pessoas	4,99 %
4 pessoas	1,37 %
5 pessoas	0,37 %
Mais que 5 pessoas	1,24 %

Pela observação da Tabela 2, pode-se notar que não houve alterações significativas nos resultados quanto a ocupação dos veículos comparado ao cenário base, mantendo assim a predominância de apenas uma pessoa por veículo. Foi possível observar uma queda considerável do número de motoristas sem cinto neste cenário comparado ao anterior, indicando uma possível influência da presença do agente no comportamento do motorista. Os resultados referentes ao uso do celular pelo motorista também apresentam possível influência da presença do agente de trânsito demonstrando uma queda no número de ocorrências em relação ao cenário base.

4.3. Presença de mensagem educativa

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados coletados durante três dias no cenário com a presença de mensagem educativa.

Tabela 3: Resumo dos resultados para o cenário mensagem educativa

Cenário Mensagem Educativa	
Total de veículos:	528 veículos
Motoristas sem cinto de segurança:	17,85 %
Motoristas utilizando celular:	1,19 %
Ocupação do Veículo	
1 pessoa	58,75 %
2 pessoas	30,84 %
3 pessoas	7,51 %
4 pessoas	1,58 %
5 pessoas	0,13 %
Mais que 5 pessoas	1,19 %

Pela análise dos dados da Tabela 3 pode-se notar que o percentual de motoristas sem cinto de segurança caiu em relação ao cenário base, porém quando comparado ao cenário com o agente de trânsito apresentou mais ocorrências deste comportamento, permitindo assim inferir a possibilidade de que a medida de mensagem educativa é menos eficaz que a da presença do agente.

4.4. Análise da variação dos cenários

A partir dos dados apresentados anteriormente foi realizada uma análise estatística para se verificar se houve variação significativa do comportamento do motorista, em função do cenário analisado. Para isso, foi utilizado o teste do valor *p*, que representa a chance ou a probabilidade do efeito (ou da diferença) observada entre os cenários ser devido ao acaso, e não devido às medidas de segurança implantadas.

4.4.1. Análise estatística da ocupação dos veículos

Antes de definir a ocupação média dos veículos da região estudada foi feita a comparação em par entre as médias dos três cenários, tendo sempre o cenário base como referência. As Tabelas 4 e 5 mostram que foi obtido um valor-p = 0,5 para todos os casos.

Tabela 4: Análise estatística da ocupação do veículo: cenário base e agente de trânsito

Cenário Base / Agente Teste-t: duas amostras em par para médias		
	Ocupação Base	Ocupação Agente
Média	0,167	0,167
Variância	0,064	0,059
Observações	6,00	6,00
Correlação de Pearson	0,997	
Hipótese da diferença de média	0,00	
Gl – graus de liberdade	5,00	
Stat t	-1,06168E-15	
P(T<=t) uni-caudal	0,500	
t crítico uni-caudal	2,015	
P(T<=t) bi-caudal	1,00	
t crítico bi-caudal	2,571	

Tabela 5: Análise estatística da ocupação do veículo: cenário base e mensagem educativa

Cenário Base / Mensagem Teste-t: duas amostras em par para médias		
	Ocupação Base	Ocupação Mensagem
Média	0,167	0,167
Variância	0,064	0,055
Observações	6,00	6,00
Correlação de Pearson	0,997	
Hipótese da diferença de média	0,00	
Gl – graus de liberdade	5,00	
Stat t	-1,44869E-15	
P(T<=t) uni-caudal	0,500	
t crítico uni-caudal	2,015	
P(T<=t) bi-caudal	1,00	
t crítico bi-caudal	2,571	

O valor-p = 0,5 encontrado é superior ao valor crítico admitido valor-p_{cri}=0,05, então deve-se aceitar a hipótese da diferença da média = 0, ou seja, não há diferença de fato entre as amostras obtidas em relação a ocupação dos veículos. Dessa forma, foi possível definir uma ocupação característica dos veículos na área de estudo. A Tabela 6 apresenta os valores encontrados.

Tabela 6: Ocupação dos veículos na Rua São José

Avaliação da Ocupação dos Veículos	
Total de veículos:	503 veículos
Ocupação dos Veículos	
1 pessoa	60,76 %
2 pessoas	30,48 %
3 pessoas	6,05 %
4 pessoas	1,29 %
5 pessoas	0,31 %
Mais que 5 pessoas	1,12 %

4.4.2. Análise estatística do uso de cinto de segurança pelo motorista

Para definir se houve diferença significativa entre as médias referente ao uso de cinto de segurança entre os cenários também foi realizada a verificação do valor-p, considerando a média de motoristas sem cinto obtida no cenário base. A primeira comparação foi entre o cenário base e o cenário com a presença do agente de trânsito. A Tabela 7 apresenta os dados da análise obtida entre as médias.

Tabela 7: Análise estatística do uso do cinto: cenário base e agente de trânsito

Cenário Base / Agente Teste-t: duas amostras em par para médias		
	Uso do cinto Agente	Uso do cinto Base
Média	14,286	23,410
Variância	5,954	0,00
Observações	3,00	3,00
Hipótese da diferença de média	0,00	
Gl – graus de liberdade	2,00	
Stat t	-6,475	
P(T<=t) uni-caudal	0,011	
t crítico uni-caudal	2,919	
P(T<=t) bi-caudal	0,023	
t crítico bi-caudal	4,302	

Observou-se um valor-p =0,01 menor que o valor-p_{cri}=0,05 admitido, portanto, entende-se que a variação dos resultados do cenário quanto a esse quesito é relevante, ou seja, não foi por acaso e sim por influência da medida estabelecida, que neste caso foi a presença do agente de trânsito no local. A seguir temos a comparação das médias obtidas entre o cenário base e o cenário com a presença de mensagem educativa na via. A Tabela 8 apresenta os dados alcançados na análise estatística.

Tabela 8: Análise estatística do uso do cinto: cenário base e mensagem educativa

Cenário Base / Mensagem Teste-t: duas amostras em par para médias		
	Uso do cinto Mensagem	Uso do cinto Base
Média	17,850	23,410
Variância	1,7836	0,00
Observações	3,00	3,00
Hipótese da diferença de média	0,00	
Gl – graus de Liberdade	2,00	
Stat t	-7,210	
P(T<=t) uni-caudal	0,009	
t crítico uni-caudal	2,919	
P(T<=t) bi-caudal	0,018	
t crítico bi-caudal	4,302	

Mais uma vez foi encontrado um valor-p menor que o valor-p_{cri}, permitindo assim dizer que neste caso também ocorreu uma variação significativa nos resultados obtidos entre os dois cenários quanto ao quesito uso do cinto de segurança. Dessa forma, é aceitável que a presença de mensagem educativa na via gerou influência no comportamento dos motoristas.

4.4.3. Análise estatística do uso do celular pelo motorista

A primeira análise referente ao uso do celular foi realizada entre o cenário normal e o com o agente de trânsito, mais uma vez tendo como base a média obtida no cenário normal. A Tabela 9 apresenta os valores obtidos na análise.

Tabela 9: Análise estatística do uso do celular: cenário base e agente de trânsito

Cenário Base / Agente Teste-t: duas amostras em par para médias		
	Uso do Celular Agente	Uso do Celular Base
Média	0,200	1,820
Variância	0,040	0,00
Observações	3,00	3,00
Hipótese da diferença de média	0,00	
Gl – graus de liberdade	2,00	
Stat t	-14,029	
P(T<=t) uni-caudal	0,002	
t crítico uni-caudal	2,919	
P(T<=t) bi-caudal	0,005	
t crítico bi-caudal	4,302	

O valor-p encontrado foi de 0,002, menor que o valor-p_{cri}=0,05, indicando dessa forma que houve variação significativa, podendo inferir dessa forma que a presença do agente de trânsito no local altera o comportamento do motorista quanto ao uso do celular. Comparando o cenário normal com o da presença de mensagem educativa, os seguintes resultados foram obtidos.

Tabela 10: Análise estatística do uso do celular: cenário base e mensagem educativa

Cenário Base / Mensagem Teste-t: duas amostras em par para médias		
	Uso do Celular Mensagem	Uso do Celular Base
Média	1,196	1,820
Variância	0.344933333	0,00
Observações	3,00	3,00
Hipótese da diferença de média	0,00	
Gl – graus de liberdade	2,00	
Stat t	-1,838	
P(T<=t) uni-caudal	0,103	
t crítico uni-caudal	2,919	
P(T<=t) bi-caudal	0,207	
t crítico bi-caudal	4,302	

Desta vez, analisando o valor-p obtido, por ser maior que o valor-p_{cri}=0,05 admitido, a variação entre os cenários não é significativa. Portanto, é possível afirmar que a medida de mensagem educativa não gerou influência expressiva no comportamento do motorista quanto ao uso do celular enquanto dirige.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma avaliação do nível de segurança no trânsito da região central da cidade de Itabira/MG levando em consideração a incidência de comportamentos de risco como a não utilização do cinto de segurança e o uso de telefone celular pelo motorista. A ocupação dos veículos na região também foi verificada com intuito de correlacionar os dados referentes aos comportamentos de risco.

Em relação à ocupação dos veículos na região, a maioria dos veículos (60,76% do total de veículos), apresentou ocupação de apenas uma pessoa, justificando cada vez mais a ideia do carro como um transporte individual e que cada vez temos mais carros nas vias para transportar

poucas pessoas, dessa forma é pertinente a discussão de soluções que estimulem o uso do transporte público, compartilhamento de veículo, dentre outras alternativas.

Quanto ao uso do cinto de segurança ficou evidente que parcela expressiva dos motoristas que passam pela região central do município não utiliza o cinto de segurança enquanto dirige (23,41% dos motoristas), alertando assim para um valor preocupante no nível de segurança quanto a essa conduta.

O uso de celular na região apresentou valores baixos (1,82% dos motoristas estavam utilizando o celular) mas diante da gravidade dos problemas que o cometimento deste comportamento pode causar é mais do que necessário a busca de números mais próximos de zero em relação a sua incidência. De acordo com representante da Transita, o valor pode ter sido pequeno por influência de uma intensa fiscalização realizada recentemente pelo órgão. Outro fator relevante é que na maioria dos casos onde foi verificado esse comportamento, a ocupação do veículo era de apenas o motorista.

Entre as duas medidas avaliadas neste cenário, sendo elas a presença de um agente de trânsito no local de estudo e a presença de mensagem educativa, é presumível que a presença do agente gerou maior influência no comportamento dos motoristas, diminuindo consideravelmente a ocorrências quanto ao não uso do cinto de segurança (redução de 40%) e ao uso do celular (redução de 90%) por parte do motorista enquanto dirige.

Agradecimentos
A Fapemig – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bottesini, G.; Nodari, C. T. (2011) *Influência de medidas de segurança de trânsito no comportamento dos motoristas*. Revista Transportes, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 77-86, março 2011.

BRASIL. *Código de Trânsito Brasileiro*. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm Acesso em: 13 set. 2016.

Czerwonka M. (2016) (Brasil) (Ed.). *Celular no trânsito causa 1,3 milhão de acidentes por ano*. Disponível em: <http://portaldotransito.com.br/noticias/celular-no-transito-causa-13-milhao-de-acidentes-por-ano/>. Acesso em: 05 set. 2016.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006*) Manual de Estudos de Tráfego*. Publicação IPR - 723 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 388 p.

Ferreira, A. E. (2008) *Educação para o trânsito nas escolas de ensino médio de Belo Horizonte.* 2008. 57 f. Monografia (Especialização) – Curso de Transportes e Trânsito, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, Belo Horizonte, 2008.

IPEA (2006) *Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras – Relatório Final*. Brasília: IPEA/DENATRAN/ANTP.

Reis, D. R. (2015) *Estudo de caso: Análise da Programação Semáforica na Avenida João Pinheiro - Itabira/MG*. 2015. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia da Mobilidade, Universidade Federal de Itajubá - Campus Itabira, Itabira.

Silva, J. A. (2002) *Telefones celulares, trânsito e carga mental*. Revista Expressão, Ribeirão Preto, n. 63.

Gabriel Silva Nunes (gabriel17_nunes@hotmail.com)
Sérgio Pacífico Soncim (sergiops@unifei.edu.br)
Iara Alves Martins de Souza (iaraalvess@unifei.edu.br)
UNIFEI - Campus Avançado de Itabira. Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II.

O PAPEL DAS FAIXAS DE DOMÍNIO NA SEGURANÇA VIÁRIA DAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS EM CONTEXTO URBANO

Maiara Oliveira Batista
Michelle Andrade
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
Esta pesquisa, ainda em andamento, tem como objetivo analisar o impacto das características e uso irregular de da faixa de domínio das rodovias federias inseridas no contexto urbano, sob aspectos da segurança viária. Para tanto, serão analisadas as normas e leis relativas à faixa de domínio - FD conjuntamente com os fundamentos técnicos para definição de suas características. Além disso, serão estudados os tipos de uso e ocupação irregulares: edificações, acessos e exploração da FD, para através da revisão de literatura desenvolver uma metodologia que os relacione com os acidentes ocorridos na via. Espera-se que a metodologia e análise dos resultados estabeleça uma relação entre a distância e o tipo de uso e ocupação e a taxa e tipologia dos acidentes ocorridos na rodovia em que estão inseridos.

Maiara Oliveira Batista (maiaraobatista@gmail.com)
Michelle Andrade (michelleandrade@unb.br)
Programa de Pós-Graduação em Transportes - PPGT. Universidade de Brasília - Campus Universitário Darcy Ribeiro. Anexo SG-12, 1° andar. - Asa Norte CEP : 70910-900 Brasília - DF

EDUCAÇÃO PARA O TRÂNSITO PARA CRIANÇAS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Ingrid Neto
Evellyn Siqueira Lima
Gabriela Tais Haya Barrientos
Ingrid Lúcia de Alencar Ferreira de Souza
Jéssyca Valladares Machado
Ralinne Adrielle de Sousa Matos
Centro Unificado do Distrito Federal
Laboratório de Psicologia do Trânsito

RESUMO
Trabalhar com as crianças o tema da educação para o trânsito pode ser uma ferramenta auxiliar na construção de um trânsito mais harmonioso e seguro. Neste trabalho, relata-se a experiência de uma ação realizada com crianças do 2º ano do Ensino Fundamental, em uma escola particular localizada em Brasília. A ação consistiu em apresentar às crianças aspectos referentes à segurança no trânsito, no contexto do movimento Maio Amarelo. Para tanto, foram realizadas quatro etapas: i) apresentação dos pesquisadores e do significado do Movimento Maio Amarelo; ii) contação de estória sobre segurança no trânsito, utilizando fantoches; iii) fixação do conteúdo por meio de música e dança e; iv) solicitação de desenhos para análise do que foi apreendido pelas crianças. A ação foi realizada em um contexto de interação, dinamismo, ludicidade e criatividade. Os resultados sugerem que a ação surtiu um efeito positivo, favorecendo a aprendizagem significativa dos temas trabalhados.

ABSTRACT
Working with children on the theme of traffic education can be an auxiliary tool in building a more harmonious and safe transit. In this work, it is reported the experience of an action performed with children of the 2nd year of elementary school, in a private school located in Brasilia. The action consisted in presenting aspects related to traffic safety to the kids, in the context of the Yellow May movement. Four steps were performed: i) presentation of the researchers and the meaning of the Yellow May Movement; ii) story telling about traffic safety, using puppets; iii) content fixation through music and dance; and iv) requesting drawings to analyze what was learned by the children. The action was carried out in a context of interaction, dynamism, playfulness and creativity. The results suggest that the action promoted a positive effect, since it allowed a meaningful learning of the topics proposed.

1. INTRODUÇÃO

O trânsito tem sido considerado como a principal causa de morte acidental de crianças no Brasil. Em 2013, 1.755 crianças entre 1 e 14 anos morreram vítimas de acidentes de trânsito e, em 2014, 14.150 foram hospitalizadas. Do total dessas mortes, a maioria ocorreu devido a atropelamentos ou na condição de ocupante de veículo. Devido à sua baixa estatura, as crianças enquanto pedestres ou ciclistas muitas vezes não enxergam os carros ou ficam fora do campo de visão dos motoristas. Enquanto passageiras, são mais frágeis, pois seus corpos ainda estão em desenvolvimento (Criança Segura, 2016). Assim, é importante desenvolver ações que visem à diminuição dessa estatística e à proteção de usuários que se encontram mais vulneráveis no trânsito.

Nesse contexto, a educação para o trânsito é um dos instrumentos que podem ser utilizados para reduzir os índices de acidentes no trânsito, especialmente com o público infanto-juvenil. A educação permite que os cidadãos sejam mais conscientes de sua responsabilidade individual, respeitando os direitos dos outros e convivendo de maneira harmônica com o meio ambiente de tráfego (Faria e Braga, 1999).

O presente trabalho objetiva relatar a experiência de uma ação de educação para o trânsito realizada com crianças do 2º ano do Ensino Fundamental, em uma escola particular localizada em Brasília.

2. EDUCAÇÃO PARA O TRÂNSITO NO CONTEXTO ESCOLAR

Programas de educação para o trânsito voltados para crianças podem se mostrar de grande utilidade para aumentar a segurança e a harmonia no ambiente de trânsito. Nesses programas, é possível abordar temas como o respeito às leis, a obrigatoriedade do uso do cinto de segurança e do capacete, o transporte adequado de crianças, ou a segurança de pedestres (Jorge e Martins, 2013).

Levar as crianças a pensar sobre as regras do trânsito pode permitir que se sintam agentes ativos no trânsito, compreendendo o motivo para a existência dessas regras. Por meio da educação, as crianças podem refletir sobre (e praticar) os comportamentos adequados que precisam ser adotados nesse ambiente, bem como os comportamentos de risco que devem ser evitados. Assim, a educação para o trânsito de crianças e adolescentes pode ser considerada como uma ferramenta para a mudança de comportamentos, uma vez que contribui para a promoção de um trânsito mais humanizado e seguro (Neto, 2016).

O Código de Trânsito Brasileiro prevê que a educação para o trânsito seja promovida em todos os níveis de ensino (Brasil, 1998). Documentos como as Diretrizes Nacionais da Educação para o Trânsito para a Pré-Escola (DENATRAN, 2009a) e para o Ensino Fundamental (DENATRAN, 2009b) foram criados para guiar as ações que venham a ser desenvolvidas para a educação no trânsito no contexto escolar, enfatizando o bem comum, a análise e a reflexão de comportamentos seguros no trânsito.

Desta forma, além da família, a escola também pode contribuir para formar pedestres, passageiros e futuros condutores de veículos, que sejam mais conscientes sobre os comportamentos seguros a serem adotados no trânsito (Jorge e Martins, 2013). Apesar disso, as ações de educação para o trânsito na escola parecem ser negligenciadas ou desenvolvidas de maneira incipiente.

A escola tem um papel importante para a formação das crianças, já que a maioria é pedestre e, possivelmente, irá dirigir um automóvel no futuro. Quando as regras são ensinadas desde as séries iniciais, a sua aceitação tende a ser mais fácil. Para que isso aconteça, contudo, é preciso manter a atenção das crianças, utilizando metodologias pedagógicas que estimulem o debate e a discussão das dúvidas em grupos (Pinto e Cunha, 2013).

Diante do exposto, estima-se que propor medidas educativas desde cedo nos níveis de educação escolares aumenta a chance de futuramente existirem adultos que serão pedestres, motoristas ou ciclistas mais conscientes (Jorge e Martins, 2013). Assim, vislumbra-se na educação uma ferramenta a longo prazo, que pode ser eficiente para diminuir o alto índice de acidentes envolvendo crianças e adolescentes, bem como para promover um ambiente de trânsito em que o respeito mútuo seja estimulado.

3. EDUCAÇÃO PARA O TRÂNSITO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Faria e Braga (2004) sugerem que projetos de educação para o trânsito devem proporcionar a reflexão dos alunos em meio à situações específicas de trânsito, sentindo na prática como se desenvolve a solidariedade e a cooperação, pensando na coletividade e na segurança. Segundos os autores, as propostas precisam ser bem organizadas e criativas, fazendo sentido no contexto em que essas crianças estão inseridas.

Nesse âmbito, críticas são feitas às atividades de educação para o trânsito que seguem o modelo "tradicional" de ensino, tais como palestras, distribuição de panfletos e visitas a minicidades (Bianchi, 2013; Neto *et al*., 2016). Atividades como essas, tendem a ser ineficientes na promoção de mudanças comportamentais (Harrison *et al.,* 1997; OECD, 1986). Sugere-se, portanto, o desenvolvimento de medidas que possibilitem que os alunos tenham uma aprendizagem significativa, ao invés de apenas serem expostos a noções sobre regras e riscos do trânsito (Soares e Thielen, 2012).

A aprendizagem significativa é conceituada como aquela que provoca uma modificação, no comportamento, nas atitudes e na personalidade do indivíduo, orientando a ação que se pretende desempenhar futuramente. Trata-se de uma forma de aprendizagem que "penetra" profundamente a existência do indivíduo, não se limitando a um acúmulo de conhecimento, (Rogers, 2009).

Os estudos sobre aprendizagem significativa preocupam-se com a maneira que o indivíduo constrói significados e estrutura o conhecimento apreendido. A partir desta premissa, as estratégias de educação são compreendidas como ferramentas facilitadoras da aprendizagem, estimulando a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao seu cotidiano, indo muito além da mera fixação de conteúdos (Maffra, 2011).

Sendo assim, as propostas de educação para o trânsito devem levar em consideração a forma de ensino utilizada, para que se obtenha melhores resultados. É indicada a utilização de jogos que propiciem a interação coletiva, bem como o abandono dos pensamentos e de atitudes individualistas. Para tanto, deve-se proporcionar um ambiente de debate e de trocas de experiências, para que os alunos aprendam por meio do relato do outro. Além disso, pode-se utilizar dinâmicas que reproduzam situações cotidianas do trânsito para ensinar regras, organização, planejamento e companheirismo (Soares e Thielen, 2012).

O uso de técnicas que estimulem a aprendizagem significativa permite que as crianças adquiram novos conceitos que, por sua vez, serão associados a conceitos já existentes em seu repertório comportamental. Portanto, a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação se associa com a estrutura de conhecimento prévio do indivíduo. Para que isso aconteça, é necessário que a associação ocorra de forma "não arbitrária" e que o conteúdo a ser trabalhado faça sentido para o sujeito em formação (Moreira e Masini, 1982).

Assim, nesse processo de aprendizagem significativa, uma série de alterações dentro da estrutura cognitiva do indivíduo é construída, formando novas relações entre os conceitos existentes. Por isso, a aprendizagem significativa é considerada "permanente e poderosa" (Carvalho, 2005, p.55). Daí a importância de que as ações sejam organizadas, considerando o ambiente e o contexto educacional em que as crianças estão inseridas. Desta forma, se as ações forem organizadas com base nos conhecimentos que as crianças adquirem dentro e fora

da escola, proporcionando uma interação, o que for ensinado será absorvido de forma muito mais eficaz.

4. METODOLOGIA

4.1. Contextualização

A ação de educação para o trânsito foi realizada no contexto do Movimento Maio Amarelo. O principal intuito do Movimento é chamar a atenção da sociedade para o alto índice de mortes e feridos no trânsito em todo o mundo, em parceria com órgãos de governos, empresas, entidades de classe, associações, federações e sociedade civil organizada (Maio Amarelo, s.d.). O Maio Amarelo está em consonância com as proposições da Década de Ações para a Segurança no Trânsito, que tem como meta a diminuição dos acidentes em até 50%, no período de 2011-2020, em vários países (OMS, 2011).

4.2. Participantes

Participaram da atividade 56 crianças do 2º ano do Ensino Fundamental de uma escola particular localizada em Brasília, com idade de 6 e 7 anos. Além das crianças, também participaram da atividade 3 professoras regentes, responsáveis pelas turmas trabalhadas.

4.3. Procedimentos e materiais

As atividades foram realizadas com 3 turmas do 2º ano do Ensino Fundamental, em dois turnos diferentes (matutino e vespertino). No turno matutino, a escola optou por agrupar as crianças de duas turmas, sendo necessário atender um número maior de crianças do que no período vespertino. Em cada turno, foram realizadas as mesmas atividades, que tiveram a duração média de duas horas. A ação foi composta por 4 etapas, que serão explicadas nas seções subsequentes.

4.3.1. Etapa A – Apresentação dos Pesquisadores

Nesta primeira etapa, realizou-se a acolhida das crianças e a apresentação do grupo de pesquisadores em sala de aula. O objetivo era permitir que as crianças se sentissem mais confortáveis diante da presença dos pesquisadores. Para facilitar o estabelecimento de um *rapport,* antes de entrarem na sala as crianças recebiam fitas amarelas, para representar o Movimento Maio Amarelo, a serem afixadas na camiseta e amarradas na cabeça (Figura 1).



Figura 1: Fitas amarelas entregues aos alunos, como símbolo do Maio Amarelo.

Ao entrarem na sala, as crianças sentaram-se em semicírculo no chão, sendo incentivadas a expressarem seus saberes prévios sobre o tema da segurança do trânsito e o Movimento Maio Amarelo. Para tanto, foram utilizadas questões indutoras, que serviram como tópicos guia: "Porque vocês estão usando a cor amarela? Alguém sabe em que mês estamos? Porque o mês de maio é considerado o mês amarelo?".

Após as perguntas iniciais, as crianças foram estimuladas a contarem o que sabiam sobre o trânsito. Foram levantadas as percepções iniciais das crianças acerca da temática que seria trabalhada nas próximas etapas, permitindo que expressassem para a equipe de pesquisadores os seus maiores interesses na área.

4.3.2. Etapa B – Contação de Estória sobre Segurança no Trânsito

A segunda etapa da ação consistiu na contação de uma estória sobre segurança no trânsito, por meio da utilização de fantoches da Turma da Mônica, criada pelo cartunista Maurício de Souza. O espaço para apresentação da estória foi previamente organizado, bem como os fantoches utilizados na apresentação, todos confeccionados pela própria equipe de pesquisadores (Figura 2).



Figura 2: Apresentação da estória com os fantoches.

A estória, criada pela equipe de pesquisadores, versava de maneira lúdica sobre diferentes temas relacionados ao comportamento seguro no trânsito. O enredo tratava da chegada de um personagem da Turma da Mônica que mora no interior (o Chico Bento) à cidade, desconhecendo os dispositivos do trânsito (faixa de pedestre, semáforo), as regras de convivência no trânsito e a importância de obedecê-las no dia a dia. A personagem Mônica, então, o ajudava a conhecer a cidade, ensinando-lhe as regras e o funcionamento do trânsito.

Enquanto a estória era desenvolvida, incentiva-se a participação espontânea das crianças. Por exemplo, ao perguntar sobre o que seria a faixa de pedestres, as crianças explicavam ao Chico Bento qual era a função da faixa e citavam a importância de sempre atravessar na faixa e de dar o "sinal da vida" antes de atravessar. Assim, os personagens interagiam com as crianças em grande parte do tempo, não se configurando com uma atividade tradicional, do tipo palestra, em o adulto tem a mera função de "transmitir" o conhecimento a criança. A todo o momento, as crianças participavam ativamente do processo.

Cabe ressaltar que a escolha pela Turma da Mônica foi proposital. Durante o ano letivo em que a atividade foi realizada, a escola pesquisada estava desenvolvendo um projeto pedagógico, em que cada turma era responsável por estudar um autor brasileiro ao longo de todo o ano. Nesse projeto, as turmas do 2º ano ficaram responsáveis por conhecer a vida do cartunista Maurício de Souza. Assim, buscou-se contextualizar as ações sobre segurança do trânsito com as temáticas já trabalhadas com as crianças, de maneira transversal, em consonância com as indicações da literatura (DENATRAN, 2009b; Neto, 2016; Souza, 2010). Partiu-se, portanto, de personagens que já eram amplamente conhecidos pelas crianças, com as quais tinham uma grande proximidade e interesse.

4.3.3. Etapa C – Fixação do Conteúdo por Meio de Música e Dança

Finalizada a estória de fantoches, os pesquisadores convidaram as crianças a cantarem e dançarem conforme uma música apresentada. A música e a coreografia versavam sobre o comportamento de travessia em locais semaforizados. O objetivo dessa etapa era fixar os conteúdos trabalhados com as crianças durante o teatro de fantoches e, ao mesmo tempo, estimular as crianças a participarem do processo de ensino-aprendizagem de maneira ativa.

Assim, os pesquisadores solicitavam que as crianças ouvissem a música e repetissem os movimentos feitos pelos pesquisadores (e.g., olhar aos lados antes de atravessar, esperar que feche o sinal para que possam atravessar). Uma ilustração da etapa C pode ser visualizada na Figura 3.



Figura 3: Atividade de fixação do conteúdo, por meio de música e coreografia

4.3.4. Etapa D – Solicitação de Desenhos

Na última etapa da ação, foram entregues folhas em branco para que as crianças pudessem expressar por meio de desenhos o que aprenderam sobre o trânsito durante a atividade. Buscou-se, assim, propiciar um momento para que as crianças pudessem refletir sobre o que aprenderam, expressando por meio de desenhos os conteúdos que nem sempre elas conseguem relatar por meio de palavras, conforme exposto na Figura 4.



Figura 4: Criança ilustrando a proibição do uso de celular no trânsito.

Ao mesmo tempo, o uso de desenhos serviu para que os pesquisadores pudessem avaliar como as crianças interpretaram os conteúdos trabalhados no decorrer da atividade, identificando se os conceitos e vivências foram significativos ou não. Para tanto, durante a elaboração dos desenhos, os pesquisadores passavam nas carteiras das crianças, perguntando o que estavam desenhando, visando obter um feedback sobre a aprendizagem das crianças após a realização da atividade.

5. RESULTADOS

Durante todas as etapas da atividade desenvolvida, as crianças demonstraram entusiasmo e interesse, revelando uma participação ativa, dinâmica e frequente. Ao serem perguntadas sobre o Movimento Maio Amarelo, a maioria demonstrou desconhecimento, relatando apenas que se tratava de "alguma coisa feita pelo DETRAN". Identificou-se, entretanto, que as crianças relacionaram o nome Maio Amarelo ao comportamento de atenção que o motorista deve ter ao se deparar com o semáforo na cor amarela, indicando que conseguem facilmente realizar associações das temáticas trabalhadas em sala de aula com o comportamento seguro no trânsito.

As crianças ficaram muito animadas ao receberem as faixas amarelas, sentindo-se engajadas e corresponsáveis pela promoção de um trânsito mais seguro. Muitas solicitaram fitas extras, alegando que queriam entregar para os familiares, para que eles também pudessem contribuir para a segurança no trânsito.

Durante a contação da estória, as crianças, mais uma vez, mostraram-se muito entusiasmadas, tanto com os bonecos, quanto com o conteúdo da estória. Percebeu-se uma interação entre as crianças e os personagens, especialmente quando o Chico Bento fazia perguntas para a Mônica sobre o trânsito e sobre a vida na cidade. Em vários momentos, as crianças expressavam seus conhecimentos, sempre de maneira lúdica e ativa. Ao mesmo tempo, demonstraram concentração e atenção ao tema exposto, revelando interesse pela atividade.

No que tange à etapa de fixação do conteúdo por meio de música e dança, observou-se que as crianças interagiram com o grupo de pesquisadores, buscando imitar os movimentos e a letra da música. Enquanto aprendiam a coreografia e a letra, as crianças relatavam exemplos de quando atravessavam na faixa, enfatizando a importância do pedestre atravessar de maneira

segura, bem como do motorista respeitar e cuidar do pedestre. Percebeu-se assim, que a dinâmica foi bem recebida pelas crianças facilitando a fixação do conteúdo de forma didática e ativa.

Por fim, na etapa de ilustração do que foi apreendido, foi possível perceber que tiveram uma grande absorção dos tópicos apresentados. Muitos desenharam os personagens da Turma da Mônica vivenciando situações no ambiente de trânsito, tal como a travessia segura, o problema do uso do celular ao dirigir, e o descarte inadequado de lixo pela janela do veículo. Algumas ilustrações produzidas pelas crianças são apresentadas nas Figuras 5 e 6.



Figura 5: Personagens da estória esperando o sinal para atravessar.

A Figura 5 revela os personagens da Turma da Mônica em uma situação de respeito à faixa de pedestres, revelando um conhecimento sobre a necessidade de realização de travessias em local apropriado. Antes de atravessar, contudo, o personagem Cebolinha faz o sinal da vida e depois todos olham para um lado e para o outro para ver se podem atravessar (segundo relato da criança). Já a personagem Magali guarda a sua melancia para joga-la no lixo, não descartando indevidamente os dejetos no trânsito, para não causar acidentes.

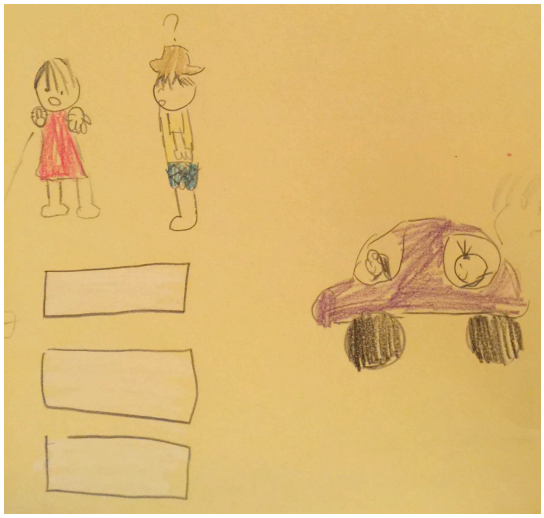


Figura 6: Personagem ensinando sobre o uso da faixa de pedestre.

Na Figura 6, é retratado o início da estória dos fantoches, em que o personagem Chico Bento chega na cidade e questiona à personagem Mônica sobre o que seriam e para que servem as listras pintadas no chão. A Mônica, então, explica para que serve o dispositivo, ressaltando que o carro tem que esperar o pedestre atravessar. A criança autora do desenho relatou ainda que, dentro do carro, no banco de trás, encontra-se o personagem Cebolinha, devidamente sentado na cadeirinha, com seu cinto de segurança.

Interessante enfatizar que, ao desenhar, muitos relatavam que iriam chamar a atenção dos pais quando utilizassem o celular ao dirigir ou deixassem de usar o cinto de segurança, porque era perigoso. Mais uma vez, as crianças expressaram os temas abordados na atividade, revelando não somente uma apreensão da temática trabalhada, mas também que iriam atuar como "multiplicadores" dos conhecimentos apreendidos.

6. DISCUSSÃO

A educação para o trânsito pode ser utilizada no contexto escolar como um instrumento de promoção de segurança, uma vez que estimula as crianças a refletirem sobre a importância de uma convivência respeitosa e harmônica no trânsito (Neto *et al*., 2016). Considera-se que a ação relatada neste trabalho, realizada com crianças do 2º ano do Ensino Fundamental em uma escola particular da cidade de Brasília, surtiu efeitos muito positivos nas crianças e, possivelmente, também em suas famílias, já que as crianças costumam "multiplicar" o conhecimento apreendido em sala de aula.

Como ponto positivo da ação, foi destacado o fato de ter sido planejada de maneira a considerar os conhecimentos prévios das crianças, conforme indicações do DENATRAN (2009b) e dos teóricos que versam sobre a aprendizagem significativa. É importante ouvir as crianças antes de se desenvolver ações como estas, tanto para que elas se sintam sujeitos ativos no processo de ensino-aprendizagem, quanto para que o pesquisador possa ter uma estimativa do que as crianças já sabem sobre o tema que deseja trabalhar.

Nesse sentido, foi identificado que alguns dos temas que seriam trabalhados na atividade já eram do conhecimento das crianças, como por exemplo a obrigatoriedade de uso do cinto de segurança ou da cadeirinha. Apesar disso, as crianças demonstraram muito interesse e engajamento durante todas as etapas. O fato delas já saberem algumas das regras do trânsito fez com que elas se identificassem mais com o tema e se sentissem mais entusiasmadas com as atividades propostas e abertas para aprender os novos conceitos. Dessa forma, muitos puderam ressignificar conceitos que já tinham aprendido, formando novas relações com novos os conceitos que foram apresentados (Carvalho, 2005).

Outro ponto positivo foi o fato de que a intervenção fez uso de estratégias lúdicas, como o teatro de fantoches e a dança, estimulando a participação das crianças em todas as atividades. O linguajar usado pelos pesquisadores era condizente com a faixa etária dos alunos, facilitando o processo de assimilação do tema proposto. Essa abordagem possibilitou que as crianças aprendessem de maneira mais divertida, tendendo a associar o conteúdo trabalhado a experiências positivas e alegres. Assim, aumenta-se a chance de que a aprendizagem da temática seja significativa, e que as crianças possam introjetar as ideias trabalhadas, ao invés de simplesmente acumular conhecimento (Rogers, 2009).

Na fase de elaboração dos desenhos, verificou-se que as crianças retrataram mais as temáticas trabalhadas no teatro de fantoches, revelando que possivelmente essa foi a atividade mais estimulante para as crianças. Assim, pode ser relevante trabalhar com temas que estejam dentro da realidade da criança, de maneira transversal a outras temáticas trabalhadas no contexto escolar (DENATRAN, 2009b). No caso dessa ação em específico, a Turma da Mônica foi o ponto de transversalidade, já que os personagens vinham sendo estudados pelas crianças nas disciplinas curriculares.

7. CONCLUSÃO

Um grande desafio da área de educação para o trânsito é identificar se o que as crianças aprenderam na escola será efetivamente colocado em prática no ambiente de trânsito. Como garantir que conteúdos trabalhados no espaço escolar serão praticados ao serem pedestres ou ciclistas? Não há uma resposta assertiva para essa questão. Entretanto, estima-se que ações dessa natureza podem contribuir para a redução das problemáticas encontradas no trânsito nos dias hoje, servindo como um trabalho inicial de estímulo à convivência harmônica e humana.

A ação proposta nesse trabalho foi desenvolvida com base nas premissas da aprendizagem significativa, considerando os conhecimentos prévios e estimulando a participação ativa das crianças em todo o processo. O uso de temas familiares às crianças, com um enfoque lúdico, criativo e dinâmico, foi claramente um diferencial, atuando como um indicador de que o objetivo da atividade foi satisfatoriamente atingido. Assim, pode-se dizer que as crianças apreenderam as temáticas referentes à segurança do trânsito, refletindo sobre o conhecimento adquirido e retratando-o por meio de desenhos.

Não há como afirmar o quão duradouros e eficientes serão os efeitos da ação aqui descrita, mas acredita-se que a educação é uma importante ferramenta na mudança de comportamento. Ações educativas, embora sejam difíceis de serem avaliadas, são necessárias e precisam ocorrer de maneira continuada e sistematizada no contexto escolar. Ao trabalhar com as crianças e adolescentes trabalha-se também, mesmo que de forma indireta, com todos que estão envolvidos com esse público. E a consequência será a manutenção de um sistema de trânsito muito mais humanizado e respeitoso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bianchi, A. S. (2013) Ciranda do trânsito. In A. S. Bianchi (Org), *Trânsito, Cidadania e Educação: As Experiências do Ciranda do Trânsito.* Conselho Regional de Psicologia - 8ª Região, Curitiba.

BRASIL (1998) *Código de Trânsito Brasileiro*. Brasília: Senado Federal.

CRIANÇA SEGURA (2016) Ajudando a prevenir acidentes com crianças: Acidentes de trânsito. Retirado de <http://criancasegura.org.br/page/acidentes-de-transito> Acesso em 23/06/2017.

Carvalho, L (2005) Aprendizagem Significativa no Ensino Fundamental: Uma Experiência no Ensino da Ciência, In *Colloquium Humanarum*, v. 1, n. 1, p. 53-62.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO 2009a *Diretrizes Nacionais da Educação para o Trânsito para a Pré-Escola*. Retirado de <http://www.denatran.gov.br/download/Portarias/2009/PORTARIA_DENATRAN_147_09_ANEXO_I_D IRETRIZES_PRE_ESCOLA.pdf.> Acesso em: 25/06/2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO 2009b *Diretrizes Nacionais da Educação para o Trânsito para o Ensino Fundamental*. Retirado de <http://www.denatran.gov.br/download/portarias/2009/portaria_denatran_147_09_anexo_ii_diretrizes_ef.p df.> Acesso em: 25/06/2017.

Faria, E.O.; e Braga, M.G.C. (1999) Propostas para Minimizar os Riscos de Acidentes de Trânsito Envolvendo Crianças e Adolescentes. *Ciência e Saúde Coletiva,* v. 4, n. 1, p. 95-107.

Faria, E.O.; e Braga, M.G.C. (2009) Condições Necessárias e Objetivas da Educação para o Trânsito Segundo o Ponto de Vista dos Profissionais Brasileiros da Área. *Anais do XIII Congresso Panamericano de Engenharia e Transporte*. PANAN, Albany.

Harrison, W. A.; Penman, I. & Pennella, J. (1997) *Investigation of Traffic Safety Educacion in Victorian Schools*. Report N. 110. Retirado de <http://www.monash.edu/__data/assets/pdf_file/0009/216846/muarc110.pdf.> Acesso em 07/07/2017.

Jorge, M.H.P.M.; e Martins, C.B.G. (2013) A criança, o Adolescente e o Trânsito: Algumas Reflexões Importantes. *Revista Associação Médica Brasileira*, v. 59, n. 3, p. 199-208.

Maffra, S. M. (2011) *Mapas Conceituais como Recurso Facilitador da Aprendizagem Significativa: Uma Abordagem Prática. Dissertação de Mestrado*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia: Rio de Janeiro.

Maio Amarelo (s.d.). *Maio Amarelo: Atenção pela Vida*. Retirado de <http://maioamarelo.com/> Acesso em 10/07/2017.

Moreira, M. A.; e Masini, E. F. S. (1982) *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel*. Ed. Morais, São Paulo.

Neto, I. (2016) Desenvolvendo Ações de Educação para o Trânsito para Crianças: Relato de Experiência em Uma Escola do Ensino Fundamental. In A.B., Sant'Anna (org.) *Educação para o Trânsito: Relatos de Experiências*. Editora CRV, Curitiba.

Neto, I.; Lima, E.S.; Machado, J.V.; Matos, R.A.S.; e Paiva, S.P. (2016) Experiência de educação para o trânsito na educação infantil e no 1º ano do Ensino Fundamental. In A.B., Sant'Anna (org.) *Educação para o Trânsito: Relatos de Experiências*. Editora CRV, Curitiba.

OCDE (1986). *Recherche Routière: Efficacité des programmes d'éducation à la sécurité routière. Organisation de Coopération et de Développement Économiques.* Paris. Retirado de <http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/chapter1_fr.pdf?ua=1>. Acesso em 10/06/2017

OMS (2011) *Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020 é lançada oficialmente hoje em todo o mundo*. Retirado de <https://nacoesunidas.org/decada-de-acao-pela-seguranca-no-transito-2011-2020-e-lancada-oficialmente-hoje-11-em-todo-o-mundo/>. Acesso em 10/06/2017.

Pelizzari, A.; Kriegl, M. L.; Baron, M. P.; Finck, N. T. L.; e Dorocinski, S. I. (2002) Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel, *Rev. PEC* Curitiba, v. 2, n. 1, p. 37-42.

Pinto, C.; E Cunha, M. (2013) Educação para o trânsito: a violência no trânsito trabalhada no contexto escolar. Eventos Pedagógicos, v. 4, n. 1, p. 63-71.

Rogers, C. (2009) *Tornar-se Pessoa.* Ed. Martins Fontes, São Paulo.

Santos, J. C. F. (2008) Aprendizagem Significativa: Modalidades de Aprendizagem e o Papel do Professor. Ed. Mediação, Porto Alegre.

Soares, D.P.; e Thielen, I.P. (2012) Projeto Transformando o Trânsito e a Perspectiva do Facilitador. *Psicologia Ciência e Profissão,* v. 32, n. 3, p. 730-743.

Souza, J. L. (2010) *Sobre a Forma e o Conteúdo da Educação para o Trânsito no Ensino Fundamental. Tese de doutorado*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

Ingrid Neto (ingridluizaneto@gmail.com)

Evellyn Siqueira Lima (evellynlima18@gmail.com)

Gabriela Tais Haya Barrientos (gthays_28@hotmail.com)

Ingrid Lúcia de Alencar Ferreira de Souza (ingridlucia_a@hotmail.com)

Jéssyca Valladares Machado (jessycavalladares@hotmail.com)

Ralinne Adrielle de Sousa Matos (ralinneadrielle@gmail.com)

Centro Unificado do Distrito Federal, Laboratório de Psicologia do Trânsito

VESTÍGIOS DE CAMPANHAS DE CONSCIENTIZAÇÃO E EDUCAÇÃO NO TRÂNSITO NO DISCURSO DE MOTORISTAS

Agmar Bento Teodoro
Giani David Silva
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET
Departamento de Linguagem e Tecnologia (DELTEC)- Programa de Pós-Graduação em Estudos de Linguagem

RESUMO
Este trabalho tem por objetivo analisar o discurso de motoristas sobre segurança no trânsito, bem como, o discurso de campanhas de conscientização e educação de trânsito, para tal será utilizado como aporte teórico a teoria da análise do discurso francesa. Para a coleta das informações necessárias foram selecionados quatro vídeos de campanhas de conscientização e educação de trânsito e serão realizadas entrevistas semiestruturada com motoristas. Para testar a eficiência do instrumento foi realizado um teste piloto no qual foi possível perceber que o roteiro atende ao objetivo do estudo. O teste piloto foi realizado com oito motoristas da cidade de Belo Horizonte, sendo que para quatro deles foi mostrado os vídeos e os outros quarto participaram da entrevista sem ter tido acesso aos vídeos escolhido. Este mesmo método será utilizado na pesquisa final.

Agmar Bento Teodoro (agmarbento@hotmail.com)
Giani David Silva (gianids@gmail.com)
Departamento de Linguagem e Tecnologia (DELTEC), Av. Amazonas, 5253 – Nova Suiça, Belo Horizonte, MG, Brasil. CEP: 30.421-169

AVALIAÇÃO DOS RISCOS À SEGURANÇA POR BAIXA VISIBILIDADE EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES NA PERCEPÇÃO DO USUÁRIO

Douglas Henrique Ferreira Coelho
Thomaz Távora Prates
Agmar Bento Teodoro (Orientador)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG
Departamento de Engenharia de Transportes – DET

RESUMO
Em preocupação com a segurança e comodidade no modo rodoviário, pode ser considerado um dos principais fatores de risco à segurança a baixa visibilidade. Frente ao exposto, o objetivo deste estudo é avaliar, considerando a percepção dos usuários, a eficiência de dispositivos de sinalização e do uso do farol aceso, tanto durante o dia quanto durante a noite. Para tanto, realizou-se uma coleta de dados por intermédio da aplicação de um formulário virtual do *Google Docs* para avaliação, através do método de diferencial semântico, da percepção de condutores sobre o assunto em rodovias de pista simples. Com isto, viu-se que estes reconhecem que elementos refletivos contribuem para a segurança, e que condições climáticas podem deixar o ambiente menos seguro. Além disto, foi possível notar que a percepção dos usuários varia com a experiência. Com estas variações, mostraram-se possibilidades de estudos posteriores e de auxílio em tomadas de decisões.

ABSTRACT
Concerning safety and comfort in road mode, it can be considered one of the main risk factors for low visibility safety. In light of the above, the objective of this study is to evaluate the efficiency of signaling devices and the use of the lighted headlamp, both during the day and at night. To do so, a data collection was performed through the application of a virtual form of Google Docs to evaluate, through the semantic differential method, the perception of drivers on the subject on single lane highways. As a result, they recognize that reflective elements contribute to safety, and that climatic conditions can make the environment less secure. In addition, it was possible to notice that the perception of the users varies with the experience. With these variations, possibilities of further studies and help in decision making were shown.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é o mais utilizado no Brasil, sendo assim, deve haver uma preocupação maior com a segurança e comodidade devido à demanda, evitando fatores de riscos e acidentes. Levando em consideração esta realidade, um dos principais riscos à segurança é a baixa visibilidade, decorrente de quando a visão do condutor é prejudicada. Chagas (2011) lembra que a visão pode ser prejudicada por alguns fatores como, por exemplo, reflexo de farol de outro veículo, baixa iluminação (noite), visibilidade de curta distância (neblina, cerração), entre outros.

Dentro disso, um fenômeno comumente causador de acidentes é a "camuflagem", decorrente de quando um veículo se "mistura" ao ambiente ou com outros veículos. Nesta situação um destes veículos pode se tornar invisível em relação a outros condutores. Durante a noite, por exemplo, quando circulando em um mesmo sentido, os veículos se "misturam", devido ao fato de os condutores que trafegam no sentido contrário visualizarem apenas os faróis e terem que distinguir se há um ou mais veículos vindo e a distância existente entre eles. O que, consequentemente, pode influenciar na tomada de decisões por parte dos condutores.

Visto que a baixa visibilidade pode ser associada a limitações humanas é possível associá-la ao estudo da psicologia no trânsito. Rozestraten (1981) considera que o estudo de fatores perceptivos, cognitivos e de reação pode ser contribuinte para melhorias nas vias, na sinalização e nos próprios veículos, o que atribuiria ao ambiente uma melhor visibilidade.

Outro problema da questão abordada é a falta de iluminação noturna, em rodovias, que não é compensada, na maioria das vezes, com a instalação de sinalização refletiva, tanto horizontal quanto vertical. Tais carências condicionam o uso constante do farol alto, que, quando aceso frente a um condutor em sentido oposto, acaba por limitar ainda mais a visibilidade deste.

Desta forma, o objetivo deste estudo é avaliar, considerando a percepção dos usuários, a eficiência de dispositivos de sinalização e do uso do farol aceso, tanto durante o dia quanto durante a noite. E, além disto, servir de base para a observação de possíveis soluções para ramificações deste problema, auxiliando assim a estudos posteriores e ainda em tomadas de decisões sobre o assunto.

2. ELEMENTOS CONCEITUAIS

Serão apresentadas discussões de conceitos julgados como convenientes à discussão acerca do assunto a ser trabalhado.

2.1 Trânsito e segurança viária

O trânsito pode ser entendido como o uso do ambiente por pessoas, veículos e animais para fins de circulação consequente de um deslocamento a ser realizado. Essa circulação pode ocorrer de forma individual ou coletiva por meios motorizados ou não e sempre terá a influência do comportamento humano.

Com este uso de um mesmo espaço para diferentes finalidades aparecem os conflitos de tráfego, que segundo Vasconcelos (1998) são resultantes desta divergência de interesses entre os atores em cena (pedestre, motoristas, etc.). Complementando esta ideia, Parker e Zeggeer (1989) argumentam que os conflitos são eventos envolvendo a interação entre dois ou mais usuários onde pelo menos um deles utiliza ações evasivas, tais como frenagem ou desvio.

Para Hoffmann (2005) o sistema trânsito é tradicionalmente considerado em função de três componentes: ambiente (via), veículo e condutor. A autora lembra ainda que vêm sendo alcançados ganhos na segurança viária por meio da melhoria do ambiente rodoviário e dos veículos. Entretanto, este mesmo progresso não ocorre quando o assunto se volta à segurança do próprio condutor em termos de influências e comportamentos.

Partindo do conceito de trânsito e os conflitos que este apresenta, é possível perceber que tal divergência de movimentações podem levar a acidentes, que segundo Ferraz et al. (2012) é um evento que envolve um ou mais veículos, motorizados ou não, e vem a provocar danos materiais ou não aos usuários, veículos e aos elementos envolvidos.

Em pesquisa realizada por Resende, Diez-Roux e De La Peña (2011), com uma amostra de 25 mil quilômetros de rodovia, o tipo de acidente por colisão foi o mais recorrente no Brasil entre 2005 e 2009, sendo responsável por aproximadamente 41,6% do total de acidentes nos cinco anos. Também foi constatado neste estudo que sua participação no total de acidentes decresceu de 2006 a 2009, entretanto o decréscimo não fez com que deixasse de ser o principal tipo de ocorrência.

Os acidentes de trânsito são considerados um dos mais sérios problemas enfrentados pelas grandes cidades brasileiras, seja pela frequência, pela gravidade ou pelos custos trazidos à sociedade. O DNIT (2004) considera que esses são uma fonte de desperdício de recursos

materiais, econômicos e, sobretudo, humanos. Estes custos ultrapassam o montante de 20 bilhões de reais por ano no país, segundo o (IPEA, 2006).

2.2 Percepção e comportamento de usuários do sistema de trânsito

A percepção é uma das ferramentas das quais o homem dispõe para adquirir conhecimento acerca do mundo em que vive (Davidoff, 2001). Complementando, Barbosa (2010) defende que a percepção seja talvez um dos mais básicos processos cognitivos e que deste emergem outras atividades cognitivas mais elaboradas. Porém, isto não significa que este não é um processo complexo, principalmente pelo fato de ser composto por duas variáveis: o ambiente em contexto e o sujeito que percebe.

A medida com que o sujeito se movimenta pelo ambiente, este fornece ao homem informações com características organolépticas que estão intrinsicamente ligadas aos sentidos humanos, como por exemplo: cores, cheiros, iluminação, sons, entre outros (Barbosa, 2010 e Schützer, 2010). Logo, o ato de perceber ocorre a todo o momento, fazendo com que o homem tome conhecimento do ambiente e do contexto de situações no qual está inserido momentaneamente, sendo a aquisição deste conhecimento dependente de habilidades construtivas, fisiologia e experiência de quem percebe.

Retomando a ideia abordada no item 2.1, referente aos conflitos de trânsito decorrentes da divergência de interesses dos usuários no espaço viário, estes conflitos são altamente influenciados pela maneira de se comportar de cada um dos usuários envolvidos. Por sua vez, este comportamento depende da percepção do sujeito, que, como foi abordado anteriormente, depende de outros fatores humanos, como habilidades construtivas, fisiologia e experiência (Júnior, 2007 e Velloso *et al*., 2017).

Assim, pode-se afirmar que a percepção é um fator de suma importância à segurança pessoal no espaço viário e, por ser um processo cognitivo, esta pode ser afetada por algumas variações de estado do condutor. Segundo Martins (2004), alguns desses efeitos são: distração, embriaguez, cansaço, drogas, estado emocional, sensação de poder associada ao desempenho do veículo, pressão pelo tempo (atraso), inexperiência, indisciplina, entre outros fatores.

2.3 Visibilidade no trânsito

A visibilidade se trata da utilização de parâmetros que definem a que distância algo pode ser enxergado através do ar. “Por meio da distância de visibilidade, o motorista, utilizando-se da visão, tem condições de captar informações sobre a via, interpretá-las e tomar decisões a tempo e com segurança” (PELLEGRINI, 2006, p. 24). Desta forma, AASHTO (2004) argumenta que todo tipo de via deve proporcionar distâncias mínimas de visibilidade, tomando como base a velocidade diretriz, para garantir ao condutor todas as condições necessárias para que a manobra seja realizada de forma adequada e segura.

Em projetos de geometria de rodovias, geralmente, são consideradas três distâncias de visibilidades básicas. São estas:

i) Distância de Visibilidade de Parada (DVP): Necessária para que um veículo, circulando na velocidade igual ou próxima à de projeto da via, consiga parar totalmente após avistar um obstáculo em seu caminho.

De acordo com AASHTO (2004) é resultado da soma da distância percorrida durante a frenagem e a distância percorrida durante o tempo de reação do condutor, ou seja, é o tempo entre a percepção do condutor e o momento em que para o veículo. AASHTO (2004) ainda defende a DVP, é geralmente suficiente para um condutor com habilidades medianas de condução efetuar as manobras necessárias para sair de determinada situação.

ii) Distância de Visibilidade para Tomada de Decisão (DVTD): necessária para que qualquer condutor possa processar todas as informações de percepção da situação inesperada e a tomada de decisão que o próprio julgar como sendo a reação correta, ainda que seja algum tipo de manobra incomum.

Desta forma, a DVTD aparece quando a DVP se torna comumente insuficiente, havendo a necessidade de tomadas de decisões mais elaboradas e que demandem imediatismo, como manobras inesperadas e/ou menos habituais. Assim, torna-se necessário conceder maiores valores de distância de visibilidade, e AASHTO (2004) diz que por isso atribui-se a DVTD.

iii) Distância de Visibilidade de Ultrapassagem (DVU): Os casos de ultrapassagem, segundo AASHTO (2004) e Pellegrini (2006), configuram manobras específicas em que, um veículo que trafega em velocidade maior, faz uso da faixa de contra-fluxo para passar por outro veículo, com menor velocidade, que esteja a sua frente. Portanto, uma rodovia de pista simples, com determinada frequência, deve conter trechos que condicionem adequada visibilidade para sua realização.

2.4 Rodovias

A definição de rodovia ainda é comumente confundida com a de estrada. Porém, para uma via ser caracterizada como estrada, basta que esta seja um pouco mais larga que uma via terrestre comum, como trilhas. Normalmente são construídas sem um planejamento e não devem ser obrigatoriamente pavimentadas. Além disso, não há proibição de circulação de pedestres, ciclistas ou até mesmo animais. Em contrapartida, para uma via ser caracterizada como rodovia, ela deve ser uma via pública, asfaltada, construída com planejamento e que permita a circulação interurbana de veículos em alta velocidade. Além disto, nas rodovias pode haver a proibição de circulação de ciclistas, por exemplo.

A nomenclatura das rodovias no Brasil se dá pela utilização de códigos. Para rodovias nacionais, usa-se a sigla BR seguida de três dígitos, que têm a função de informar o papel desempenhado pela rodovia no território nacional (radial, transversal, longitudinal ou diagonal). Para rodovias estaduais usa-se a sigla referente ao estado, como MG para Minas Gerais, por exemplo, seguida pelos dígitos.

Segundo o DNIT (2007) as rodovias possuem, portanto, três classificações: pista simples, pista dupla ou pista múltipla. Assim, a rodovia de pista simples, objeto deste estudo, pode ser definida como uma rodovia pavimentada com duas faixas e dois sentidos de tráfego, com uma faixa para cada sentido e sem que haja separação das faixas por canteiros centrais ou muretas, podendo haver ainda faixas adicionais em pontos estratégicos para facilitar manobras de ultrapassagem (DNIT, 2006).

2.5 Sinalização refletiva

Com alto potencial de auxílio no aumento da visibilidade, principalmente em rodovias que

não há iluminação pública, as sinalizações refletivas não são comumente encontradas em situações plenas de instalação e manutenção em boa parte da extensa malha de rodovias do Brasil.

As normas e instruções para sinalização, no Brasil, são definidas pelo CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), de acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, e variam de acordo com o tipo e a localização da sinalização. Dessa maneira, temos cinco classificações: Sinalização Vertical de Regulamentação; Sinalização Vertical de Advertência; Sinalização Vertical de Indicação; Sinalização Semafórica e Sinalização de Obras e dispositivos Auxiliares.

Serão tratados, porém, apenas as três primeiras, que abordam o assunto de interesse do estudo.

Todas as três categorias de sinalizações verticais obedecem às mesmas diretrizes no que diz respeito aos suportes, materiais de confecção e refletividade e/ou iluminação. Segundo o CONTRAN, esses tipos de placa devem ser feitos de madeira imunizada, aço, alumínio ou plástico reforçado e ter seus sinais confeccionados por tintas ou películas. Os suportes devem ser feitos de madeira de eucalipto ou aço.

Quanto à refletividade, as diretrizes do CONTRAN (2007a, 2014) indicam que os sinais podem ser aplicados em placas pintadas, retrorrefletivas, – que refletem a luz na mesma direção da qual veio – luminosas (dotadas de iluminação interna), ou iluminadas (dotadas de iluminação externa frontal). O CONTRAN ainda afirma que nas rodovias não dotadas de iluminação pública, as placas devem ser retrorrefletivas, luminosas ou iluminadas.

As instruções do CONTRAN (2007b) indicam ainda que as sinalizações horizontais, para que haja melhor visibilidade noturna, devem ser sempre retrorrefletivas. Válido tanto para tachas quanto para pinturas horizontais ao plano da via, que são aplicados com intuito de canalizar o tráfego.

Para que seja proporcionada essa refletividade, existem também instruções quanto ao tipo de material a ser usado para tal fim. Nas placas, para se atingir a refletividade mínima exigida por lei, segundo o CONTRAN (2007a), podem ser utilizadas películas refletivas de esferas inclusas, esferas encapsuladas ou de lentes prismáticas, a serem escolhidas de acordo com o projeto. O mesmo manual ainda indica que, em função do comprometimento à segurança da via, não devem ser utilizadas tintas brilhantes nem películas do tipo “esferas expostas”.

2.6 Uso do farol baixo durante o dia em rodovias

A Lei Número 13.290, de 23 de maio de 2016 tornou obrigatório o uso do farol baixo, por todos os veículos automotores, em rodovias do país. Esta redige o texto do inciso I artigo 40 da Lei Número 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro – CTB) que regia a obrigatoriedade do uso do farol baixo aceso durante o dia e durante a noite, até então, somente em túneis providos de iluminação pública. Alterando ainda a alínea *b* do inciso I do artigo 250 desta mesma lei, que torna passível de multa a violação ao inciso I do artigo 40.

Apesar da defesa técnica de que esta medida é eficiente ao aumento da segurança viária, principalmente em rodovias de pista simples, ainda não há relevantes estudos que a comprovem no cenário brasileiro. Na verdade existem pesquisas deste tipo, mas que dizem

respeito a outros países, e é sabido que medidas eficientes a alguns cenários podem não ser tão pertinentes a outros. Assim, não se torna possível uma discussão baseada em conhecimentos científicos sobre o tema.

3. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos foi realizada uma pesquisa com motoristas que usualmente trafegam em rodovias de pista simples. A figura 1, apresentada a seguir, mostra as etapas metodológicas do estudo e a descrição de cada etapa.

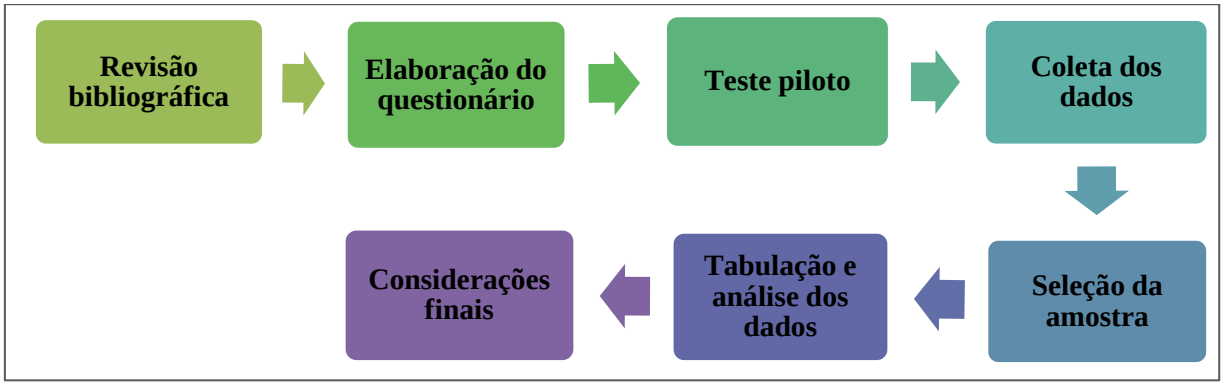


Figura 1: Etapas da metodologia da pesquisa

3.1 Revisão bibliográfica

Esta primeira etapa se trata de realizar uma revisão bibliográfica sobre a temática em questão para melhor conhecimento e apresentação desta. As principais obras utilizadas foram artigos científicos, livros, dissertações de mestrado e teses de doutorado para maior severidade das informações retratadas.

3.2 Elaboração do questionário

Para alcançar o objetivo do estudo foi desenvolvido um questionário *on-line* a partir do aplicativo "Formulários" disponível no *Google Docs*, composto por duas partes, na primeira parte foi levantado o perfil do entrevistado como: gênero, faixa etária, etc., já a segunda parte teve a função de levantar a percepção do entrevistado sobre a influência do fator visibilidade durante a noite e durante o dia em rodovias de pista simples. Nesta segunda parte o entrevistado respondeu, utilizando a escala de diferencial semântico, a 13 tópicos referentes ao ambiente noturno e outros sete que diziam respeito ao ambiente diurno. Segundo Andrade (2007) o diferencial semântico é uma técnica que consiste em um conjunto de escalas bipolares, as quais cada item, junto com seu respectivo antônimo, correlaciona-se com uma dimensão ou atributo perceptual do fenômeno medido.

Neste estudo foi utilizado o seguinte formato de questão: foi elaborado um texto explicativo para orientar o entrevistado de como ele deveria responder aos tópicos. Para auxílio à compreensão do que se pretendia foi usado um texto explicativo acompanhado de uma ilustração, assim foi possível orientar o respondente sobre como avaliar os itens apresentados. A figura 2 ilustra o formato da questão utilizada na segunda parte do questionário.

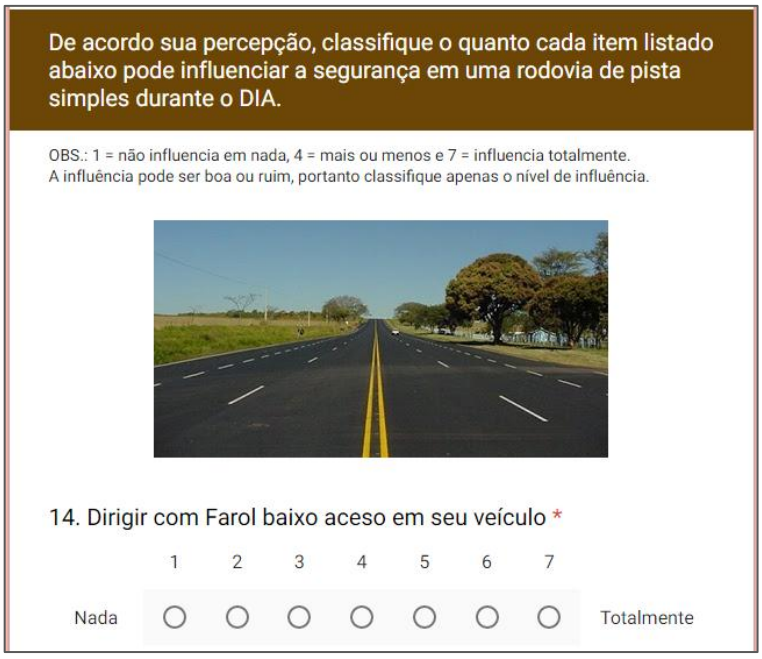


Figura 2: Modelo de questão utilizada no questionário

Os entrevistados respondiam aos itens clicando sobre o círculo abaixo do numero, que ao ser clicado ficava preenchido. Todos os itens precisavam ser respondidos (asterisco vermelho) para que as respostas fossem enviadas.

3.3 Teste piloto

Foi realizado um teste piloto com cinco pessoas de diferentes graus de instrução para que possíveis falhas no instrumento pudessem ser detectadas antes da efetiva coleta de dados. Para Marconi e Lakatos (2003) o teste piloto serve de avaliação da clareza do instrumento para o entrevistado, ou seja, possibilita verificar se o público alvo interpreta bem o que se pergunta de acordo com a gramática utilizada. Foi possível constatar, com a realização do teste piloto e um diálogo com os respondentes, que o formulário estava coerente e pronto para seu uso na efetiva pesquisa.

3.4 Coleta dos dados

As informações foram coletadas via internet. A ferramenta "*formulários*" da *Google*, utilizada para elaboração do questionário, permite a geração de um *link* que foi divulgado para várias pessoas por intermédio de *e-mails* e aplicativos de redes sociais. Assim, a divulgação do questionário pôde ser realizada também com auxílio dos próprios entrevistados.

A distribuição do questionário iniciou-se no dia 21 de abril de 2017 e foi encerrada no dia 08 de maio de 2017 através de uma função da ferramenta "*formulários*". O questionário ficou disponível durante 18 dias e foram recebidas 178 respostas, todas válidas. Somente nos primeiros oito dias foram obtidas 107 respostas, ou seja, 60% do total de respostas recebidas.

3.5 Seleção da amostra

Foi necessário, para atender ao objetivo do estudo, que os respondentes tivesse pleno conhecimento do assunto em questão. Logo, tornou-se necessário que a entrevista fosse realizada com usuários que circulam por rodovias de pista simples, que é o ambiente a ser

estudado. Para seleção desta amostra, foi perguntado ao entrevistado, na primeira parte do questionário, se o mesmo é habilitado a dirigir e se já tinha passado pela experiência de transitar, como condutor, por uma rodovia de pista simples. E então, a depender da resposta atribuída à pergunta, o respondente era direcionado à página que lhe cabia responder posteriormente ou não. Assim, obteve-se 178 respostas ao todo, destas, 131 advinham de pessoas que já dirigiram por rodovias de pista simples, sendo a percepção deste grupo que interessava à pesquisa.

3.6 Tabulação e análise dos dados

Após o levantamento de dados por meio do questionário, estes foram tabulados em uma planilha no *software Excel* e com auxílio da própria ferramenta do *Google Docs*, obtendo assim uma base de dados sobre a qual seria trabalhada a análise da percepção dos usuários respondentes.

3.7 Cálculo do Grau de Influência - GI

Para averiguar a percepção dos entrevistados sobre riscos à segurança causados por baixa visibilidade foi calculado o "Grau de Influência (GI)" que os fatores apontados no questionário têm para os entrevistados. Para tal, as respostas obtidas nos questionários foram transformadas em um *escore* numérico, que foi calculado para cada item presente no questionário, por meio da associação de um peso, com base em uma escala de probabilidade, que foi atribuída, para cada item de resposta. A escala de probabilidade representa a influência de cada item na percepção de um determinado indivíduo.

Apoiado nas recomendações de Bottesini (2010), na escala de diferencial semântico usada neste estudo, "baixa influência à segurança" significa que o item influencia em 5%, na percepção do entrevistado, e "alta influência à segurança" influencia em 95%. O autor menciona que os entrevistados podem se comportar de forma diferente de sua resposta. Ou seja, um entrevistado pode considerar um item totalmente importante, mas este não ter efeito sobre sua percepção ou ao contrário.

A tabela 1 mostra a atribuição de pesos para cada valor da escala de respostas. Esse procedimento foi realizado para todos os itens da segunda parte do instrumento.

Tabela 1: Peso atribuído à escala de diferencial semântico

Escala de respostas	1	2	3	4	5	6	7
Escala de probabilidades	5%	20%	35%	50%	65%	80%	95%
Pesos	5	20	35	50	65	80	95

Por meio de uma média ponderada calculou-se o "Grau de Influência" (GI) de cada um dos 20 itens, multiplicando o peso, apresentado na tabela 1, de cada resposta pela quantidade em que ocorreram, e dividindo o resultado pelo número total de respostas, com a aplicação da equação (1).

$$GI = \frac{[(5\ x\ n1) + (20\ x\ n2) + 35\ x\ n3 + (50\ x\ n4) + (65\ x\ n5) + (80\ x\ n6) + (95\ x\ n7)]}{(n1 + n2 + n3 + n4 + n5 + n6 + n7)} \quad (1)$$

em que *GI*: grau de importância dos itens para os entrevistados; e
n1, ..., *n7*: quantidade de respostas com escala 1, ..., 7, respectivamente.

Assim, o GI é o peso que está associado, um valor que predomina na escala de resposta, esse valor predominante trata-se de uma ponderação dos valores atribuídos pelos participantes da pesquisa na escala de respostas para um determinado item apresentado ao usuário.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A amostra foi composta por 131 condutores, sendo 80 do gênero masculino, 50 do gênero feminino e um que optou por não informar o gênero. A tabela 2, apresentada a seguir, mostra a estratificação da amostra por faixa etária e por tempo de habilitação.

Tabela 2: Perfil dos respondentes

Faixa etária				Tempo de habilitação			
Entre 18 e 29 anos	Entre 30 e 45 anos	Entre 46 e 60 anos	Acima de 60 anos	Menos de 3 anos	Entre 3 e 7 anos	Entre 7 e 10 anos	Mais de 10 anos
65	44	16	6	31	28	21	51
131				131			

Nota-se que a predominância de respostas (quase 50%) é de jovens com idade entre 18 e 29 anos. E também com certa predominância, cerca de 40% dos respondentes que dirigem são habilitados há mais de 10 anos. Isto mostra que o GI está ponderado com opiniões, tanto de jovens motoristas, quanto de condutores mais experientes.

Com a finalidade de averiguar a frequência em que os respondentes dirigem por rodovias de pista simples, bem como se ele exerce atividade remunerada como motorista, foram elaboradas duas perguntas acerca da temática. A tabela 3 apresenta o número de respostas para os dois estratos.

Tabela 3: Estratificação por fatores ligados à experiência

Frequência com que dirige por rodovias de pista simples				Exerce atividade remunerada com uso da CNH	
Todos os dias	Algumas vezes por semana	Algumas vezes por mês	Raramente	Sim	Não
30	29	43	29	17	114
131				131	

Ao analisar a tabela 3 é possível perceber que todos os respondentes dirigem com uma frequência considerável por rodovias de pista simples, isso denota que os respondentes têm experiência com este cenário. Aproximadamente 33% da amostra disse dirigir algumas vezes por mês por rodovias de pista simples, já 22% afirmaram dirigir algumas vezes por semana e raramente e os outros 23% dirigem todos os dias. Nota-se ainda que 13% da amostra exerce atividade remunerada como motorista.

Após tabulação dos dados e aplicação da equação 1 com os respectivos pesos apresentados na tabela 1, obteve-se o Grau de Influência que cada item tem, na percepção dos entrevistados, conforme pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4: Grau de Influência

		Fatores de Risco	GI (Total)	Remunerado	Não Remunerado*
NOITE	1	Sinalização horizontal refletiva	88,47	84,41	90,59
	2	Presença de equipamentos de demarcação de alinhamento horizontal refletivos	87,56	84,41	89,71
	3	Sinalização vertical com dispositivo refletivo	84,69	87,06	87,94
	4	Marcadores verticais de alinhamento refletivos nas laterais da via	87,44	89,71	90,59
	5	Presença de neblina	80,80	61,47	92,35
	6	Tempo chuvoso	79,08	63,24	89,71
	7	Presença de iluminação pública	81,72	67,65	86,18
	8	Dirigir com farol alto quando não há outro veículo próximo	78,97	72,94	87,94
	9	Dirigir com farol baixo quando não há outro veículo próximo	61,45	69,41	66,76
	10	Dirigir com farol alto quando há outro veículo próximo	69,58	39,41	71,18
	11	Dirigir com farol baixo quando há outro veículo próximo	69,12	68,53	74,71
	12	Farol alto de outro veículo	79,89	58,82	78,24
	13	Farol baixo de outro veículo	54,35	50,00	80,88
DIA	14	Dirigir com Farol baixo aceso em seu veículo	55,84	63,24	73,82
	15	Outro veículo circulando com farol baixo	56,64	57,94	76,47
	16	Presença de neblina	75,99	63,24	78,24
	17	Tempo chuvoso	78,17	63,24	82,65
	18	Fazer uma ultrapassagem com o farol baixo aceso	60,99	64,12	76,47
	19	Farol baixo aceso na presença de neblina	76,34	66,76	84,41
	20	Farol baixo aceso durante tempo chuvoso	78,97	72,06	86,18

*GI calculado com uma amostra de 17 respondentes

Foi calculado o GI, de cada item, para a amostra total (131 respostas) e em vários estratos e foi constatado que não há diferença significativa entre os diferentes perfis dos entrevistados. No entanto para o grupo de motoristas que desempenham, ou já desempenharam atividade remunerada percebeu-se que, em alguns itens avaliados há uma discrepância significativa no GI quando se compara com o grupo que não exerce atividade remunerada como motorista.

Para comparar tal discrepância apresenta-se nas duas últimas colunas da tabela 4 o GI dos dois estratos. De acordo com a composição da amostra 17 respondentes exercem, ou já exerceram, atividade remunerada como motorista. Para efeitos de comparação foi calculado o GI de um grupo de 17 respondentes que não exercem atividade remunerada como motorista e que apresenta um perfil (idade, tempo de habilitação, frequência com que dirige por rodovias de pista simples, etc.) semelhante aos 17 do primeiro grupo.

Observa-se que entre os fatores de risco abordados, os que apresentaram maior discrepância entre percepções dos dois grupos, no período da noite são: presença de neblina, tempo chuvoso, presença de iluminação pública, dirigir com farol alto quando não há outro veículo próximo, dirigir com farol alto quando há outro veículo próximo, farol alto de outro veículo e farol baixo de outro veículo. Já para o período do dia todos os fatores avaliados pelos

respondentes apresentam discrepância significativa.

Uma hipótese que merece devida atenção é que esta considerável discrepância entre as percepções destes dois grupos pode estar associada às experiências por eles vividas, visto que profissionais da área, geralmente, vivem neste ambiente por cerca de oito horas por dia, ou mais. Assim sendo, é possível que esta percepção dos usuários de que os fatores de risco não influenciam tanto esteja ligada a confiança que estes têm sobre o que estão fazendo ao dirigir, o que os leva a assimilar uma maior sensação de segurança, mesmo em situações adversas.

Além das dispersões entre os dois grupos, o uso do farol durante o dia, que é obrigatório por lei desde 2016, (Lei Nº. 13.290, de 23 de maio de 2016) é algo que, de acordo com o GI geral, não contribui com tanta eficiência à segurança nas rodovias em situações climáticas normais (sem neblina e sem chuva). Observa-se que para o fator "dirigir com Farol baixo aceso em seu veículo" tem-se um GI de 55,54, para o fator "veículo circulando com farol baixo" obteve-se um GI de 56,64 e para o fator "fazer uma ultrapassagem com o farol baixo aceso" o GI é de 60,99. Considerando que o GI pode variar de 5 a 95 e que os demais fatores apresentaram um maior GI, é possível considerar que para estes fatores o GI obtido foi relativamente baixo.

Por fim, considerando a variação do GI, para os 131 motoristas entrevistados, é possível considerar que os condutores entrevistados consideram que as luzes de faróis durante a noite, bem como presença de sinalização refletiva nas rodovias podem influenciar de forma positiva na segurança em rodovias de pista simples.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização desta pesquisa exploratória foi possível perceber que alguns assuntos estão em aberto para estudos mais aprofundados, o que foi colocado como um dos objetivos deste estudo. Desta forma, vê-se que assuntos como a experiência de motorista merece atenção especial, pois as percepções se divergem, mostrando que o processo de formação do condutor está em constante desenvolvimento e que podem ser extremamente afetadas pelas experiências às quais este é subordinado.

Viu-se ainda que a percepção dos usuários não é dispersa, pois apresentou alto GI sobre a eficiência da sinalização refletiva durante o período noturno e que, além disto, o uso constante do farol alto pode afetar ainda mais a visibilidade. Unindo estas percepções, é possível dizer que, talvez, o uso constante do farol alto, consequente da ausência de sinalização adequada, seja um risco à segurança no trânsito. Desta forma, este se torna outro assunto que merece certo aprofundamento, principalmente sobre a opinião dos usuários, que vivenciam na prática o que o corpo técnico pressupõe na teoria.

Da mesma forma, a eficiência do uso de faróis durante o dia em rodovias ainda não é estimada. Assim, sua valia também deve ser mais bem observada para que conclusões mais concisas possam ser alcançadas observadas do ponto de vista científico. Sugere-se também para estudos futuros que sejam observados um número maior de motoristas, bem como comparar os números de acidentes em rodovias durante o dia antes e após a aprovação da Lei nº 13.290, de 23 de maio de 2016.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) bem como à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de auxílio financeiro e

condicionamento ao desenvolvimento do estudo. Agradecem ainda a todos os envolvidos na pesquisa, que auxiliaram na obtenção de dados, divulgação e aprimoramento do instrumento de estudo utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2004) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.* American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

Andrade, A. L. de (2007) *A técnica do diferencial semântico para avaliação de fenômenos acústicos no interior de aeronaves*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

Barbosa, G. A. C. (2010). *Percepção de risco e comportamento dos pedestres: Um estudo exploratório na cidade de Maceió.* Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Bottesini, G. (2010) *Influência de medidas de segurança de trânsito no comportamento dos motoristas*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS.

BRASIL (1997). LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997. *Institui o Código de Trânsito Brasileiro*. República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 27 out. 2000. Seção 1-E, p. 87.

Chagas, D. M. (2011) *Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CONTRAN (2007a) *Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. I. Sinalização Vertical de Regulamentação.* Conselho Nacional de Trânsito, Brasília, DF.

CONTRAN (2007b) *Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. IV. Sinalização Horizontal.* Conselho Nacional de Trânsito, Brasília, DF.

CONTRAN (2014) *Manual brasileiro de sinalização de trânsito. Vol. III. Sinalização Vertical de Indicação.* Conselho Nacional de Trânsito, Brasília, DF.

Davidoff, L. (2001) *Introdução à psicologia*. 3 ed. São Paulo, Makron Books.

DNIT (2004) *Custos de Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais*. Sumário Executivo. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro: IPR -733.

DNIT (2006) *Manual de estudos de tráfego.* Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, DF.

DNIT (2007) *Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas.* Diretoria de planejamento e pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, DF.

Ferraz, A. C. P.; A. A. R. Júnior; B. S. Bezerra; J. T. Bastos e K. C. R. Silva (2012) *Segurança viária*. Suprema Gráfica e Editora, São Carlos, SP.

Hoffmann, M. H. (2005) Comportamento do condutor e fenômenos psicológicos. *Psicologia: pesquisa e trânsito*, v. 1, n. 1, p. 17-24, 2005.

IPEA (2006) *Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas – Síntese da pesquisa*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA/ANTP, Brasília.

Júnior, R. da C. S. (2007) *Comportamento de risco no trânsito dos motoristas em Campo Grande – MS.* Dissertação de Mestrado. Universidade Católica Dom Bosco.

Marconi, M. de A. e E. M. Lakatos (2003) *Fundamentos de metodologia científica*. 5. ed.-São Paulo: Atlas.

Martins, J. P. (2004) *A educação no trânsito – Campanhas educativas nas escolas*. Belo Horizonte: Autêntica.

Parker, M. R. e C. V. Zegeer (1989) *Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations*: *Observers Manual*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Universidade Northwestern, EUA.

Pellegrini, P. T. (2006) *Contribuição para o estudo das distâncias de visibilidade de ultrapassagem para rodovias bidirecionais com duas faixas de tráfego*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Resende, P.; E. Diez-Roux e S. D. L. Peña (2011) Em busca de mais segurança e menos mortes em rodovias da América Latina: O Caso Brasileiro. *Uma análise dos acidentes no Brasil, com um enfoque nas condições de tráfego e características dos acidentes*. Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID e Fundação Dom Cabral.

Rozestraten, R. J. A. (1981) Psicologia do trânsito: o que é e para que serve. *Psicologia: ciência e profissão*, v. 1, n. 1, p. 141-143, 1981.

Schützer, K. (2010) *A percepção do pedestre sobre a qualidade da paisagem urbana*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos.

Vasconcellos, E. A. (1998) *O que é Trânsito*. 3ª edição, revisado e ampliado. Ed. Brasiliense, São Paulo, SP.

Velloso, M. S.; M. A. P. Jacques e C. V. Torres (2017) Estudo das crenças do condutor em relação ao respeito à velocidade limite em vias urbanas: estudo de caso em Brasília. *Anais do XXX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, v. 1, p. 1334–1357.

EFICIÊNCIA E EFICÁCIA DA FILOSOFIA "VISÃO ZERO" NA SEGURANÇA DE TRÂNSITO

Ana Carolina Oliveira Prado
Archimedes Azevedo Raia Junior
Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

RESUMO
A acidentalidade viária no mundo vem aumentando e gerando muitas perdas materiais e humanas. Em contrapartida alguns países vêm apresentando resultados significativos na redução dos acidentes, dentre eles a Suécia, que desenvolveu uma filosofia importante na década de 1990, a Visão Zero (VZ). Essa nova percepção dos acidentes tem um diferencial, considera uma gama mais ampla de responsáveis pela segurança viária, como projetistas, legisladores, gestores e os próprios usuários. Esta pesquisa de mestrado busca contribuir com a disseminação da VZ como ferramenta para a mitigação da acidentalidade brasileira, tendo como método uma revisão da literatura, a fim de sintetizar o estado da arte da VZ e extrair parâmetros para a sua implantação, os quais serão submetidos à especialistas que opinarão sobre sua viabilidade no Brasil. Como resultado parcial foi verificado que o índice de mortes na Suécia é de 2,7 mortes/100 mil habitantes, um dos mais baixos do mundo.

Ana Carolina Oliveira Prado (anacarolina_oprado@hotmail.com)
Archimedes Azevedo Raia Junior (raiajr@ufscar.br)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade de Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luís, km 235 - São Carlos, SP, Brasil

CENÁRIO DOS ACIDENTES POR ATROPELAMENTO DE FAUNA NAS RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS E A MORTALIDADE DOS HUMANOS ENVOLVIDOS

Danúbia Mutiz Tavares
Igor Brugnara Coelho
Pedro Henrique de Oliveira Cardoso
Rogério Pedersoli de Lima
Peolla Paula Stein
Departamento de Engenharia de Transportes
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

RESUMO
O atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras é um índice pouco mencionado no estudo de causas de mortalidade de motoristas e passageiros. Esse artigo traz uma coleta de dados sobre o perfil desses acidentes entre os anos de 2010 e 2016 e os números dos mesmos de acordo com a região do país onde eles ocorreram. A fase do dia onde esse índice tem sua maior taxa e a classificação quanto a tipologia com relação ao seu impacto na gravidade dessas ocorrências também foram estudados. Com as análises é possível validar a importância de se investir atenção mais afunda no quesito abordado, para identificar as regiões mais densas e susceptíveis de ocorrência dos acidentes, investigar e combater as causas mais diversas com relação direta a eles, reunindo e agrupando um conjunto suficiente de dados e informações que possibilitem amenizar e, posteriormente, sanar as causas de tantas mortes de humanos com atropelamento de fauna.

ABSTRACT
The trampling of fauna on Brazilian federal highways is a little mentioned index in the study of causes of mortality of drivers and passengers. This article brings a collection of data on the profile of these accidents between the years 2010 and 2016 and their numbers according to the region of the country where they occurred. The phase of the day which this index faces its highest rate and the classification as to the typology towards its impact on the severity of these occurrences were also studied. With the analysis, it is possible to validate the importance of investing a deeper attention to the question addressed, to identify the densest and most likely regions for accidents, to investigate and combat the most diverse causes with direct relation to them, gathering and grouping a sufficient set of data and information that make it possible to minimize, and then remedy the causes of so many human deaths due to trampling of fauna.

1. INTRODUÇÃO

Atropelamento de fauna é frequentemente relatado na literatura especializada da ecologia/biologia destacando a ameaça à vida selvagem. Rodrigues et al. (2002) relata neste sentido que entre os problemas que envolvem a ameaça das espécies da fauna brasileira, o atropelamento é um dos poucos ressaltados e uma importante causa de mortalidade para várias espécies de animais silvestres em todo o mundo. Em geral, os dados apresentados nestes estudos referem-se em sua grande maioria aos números de animais feridos e mortos distinguindo-os por espécies.

Tão importante quanto esta abordagem, é o estudo da consequência destes atropelamentos para os humanos, quanto a incidência e mortalidade no território brasileiro. Quando se trata da presença de animais na pista, independentemente de o animal ser de grande ou pequeno porte, a colisão entre ele e o veículo pode ser fatal levando em conta a velocidade com a qual se move e o local no veículo em que o animal é atingido. Muitas vezes os motoristas cogitam conscientemente o atropelamento por crerem que o impacto seria consideravelmente menor do que o risco de uma manobra defensiva para se evitá-lo. Porém segundo levantamentos do DNIT, a colisão de um carro a 60 km/h em um objeto fixo equivale a pancada de uma pessoa ao cair de um prédio de quatro andares (aproximadamente 14 metros), se a velocidade subir para 80 km/h, a pancada equivale a queda de uma altura de 25 metros, e levando-se em conta que em

rodovias federais a velocidade média permitida está entre 100 km/h a 110 km/h, uma colisão entre um veículo de pequeno porte a esta velocidade e um animal médio proporcionaria um significativo risco de ferimentos graves e até mortais tanto para os animais quanto para os humanos.

Este estudo apresenta dados sobre atropelamento de fauna no período de 2010 até o ano de 2016 em rodovias federais brasileiras com o objetivo de caracterizar os acidentes e quantificar o número de feridos e mortos humanos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Os atropelamentos da fauna selvagem são um sério problema em malhas rodoviárias desenvolvidas e em desenvolvimento ao redor do mundo (SAEKI e MACDONALD, 2004). Segundo Dornas et al., 2012 estimativas da taxa de animais atropelados nas rodovias brasileiras, incluindo dados de pesquisas científicas e de licenciamento ambiental para ampliação ou construção de novas rodovias, apontam para o mínimo de 14,7 milhões de animais vertebrados silvestres por ano, a maioria de pequeno ou médio porte. Estimativas menos conservadoras sugerem que 475 milhões de animais selvagens são atropelados por ano no Brasil (CBEE, 2014).

A perspectiva de segurança em relação às colisões entre veículo e animais é a principal justificativa para os monitoramentos de atropelamentos de fauna na América do Norte e na Europa, e para a aplicação das consequentes medidas de mitigação, principalmente porque a frequência de acidentes com animais de grande porte resulta em muitas vítimas humanas e altos custos para a sociedade (SEILER e HELLDIN, 2006; HUIJSER *et al.*, 2009).

Nos Estados Unidos, estima-se que anualmente ocorrem 2 milhões de colisões entre veículos e mamíferos de grande porte, tendo como consequência 211 mortes de pessoas e mais de 29.000 feridos (HUIJSER*et al.*, 2009). Em outro estudo nos EUA, mas em período de estudo diferente com base em registros do Conselho de Segurança Nacional (“National Safety Council”), ocorreu 165 mortes em média em 10 anos, sendo estimado um custo de mais de 1 bilhão de dólares com gastos médicos e prejuízos materiais (LANGLEY*et al.*, 2006). Estima-se que os custos com danos materiais com o veículo e ferimentos ou fatalidades humanas atinjam mais de 1 bilhão de euros por ano na Europa e de 23 milhões a 1 bilhão de dólares por ano nos Estados Unidos (SEILER e HELLDIN, 2006; HUIJSER*et al.*, 2009).

Freitas e Barszcz (2015) desenvolveram um estudo que teve como objetivo avaliar os acidentes causados por colisões entre veículos e animais, analisando os animais envolvidos, o número de mortos e feridos, além da distribuição espacial e temporal desses acidentes no Brasil. Para tanto, utilizaram como método de amostragem notícias, disponíveis na internet, de acidentes entre veículos e animais registrados no Brasil no período de cinco anos. Foram analisados 125 acidentes, que envolveram 135 animais, tendo como consequência 66 pessoas mortas, 166 feridos e 73 animais mortos. O principal resultado foi que a maioria dos acidentes envolveu animais domésticos, acarretando, principalmente, em pessoas feridas. No entanto, os acidentes com animais silvestres levaram mais pessoas a óbito, particularmente aqueles envolvendo capivaras.

Em relação à Segurança Viária, acidentes que envolvem animal na via podem ser classificados pelo fator viário-ambiental (CHAGAS et al. 2012). De acordo com Forman et al. (2003) podem ser enumerados vários fatores que influenciam os atropelamentos de animais nas estradas mas que estes podem ser resumidos em apenas três grupos: velocidade dos veículos e volume de tráfego; características da paisagem e comportamento e ecologia das espécies. Dias e Freitas (2005) destacam que a presença de corpos de água e vegetação próxima das rodovias, bem

como pontos que são utilizadas por alguns animais como corredores de conexão entre ambientes e o aumento da densidade de estradas por quilômetro quadrado de área geográfica são alguns fatores da paisagem que influenciam o aumento no número de atropelamentos de vertebrados.

3. METODOLOGIA

3.1 - Base de dados dos acidentes nas rodovias federais brasileiras

O Departamento da Polícia Rodoviária Federal – PRF tem por finalidade, além de exercer o policiamento ostensivo de aproximadamente 70 mil quilômetros da malha rodoviária federal brasileira, também é o consciencioso pelos registros e levantamentos de todos os acidentes rodoviários, sendo que esses registros são documentados no Boletim de Acidente de Trânsito – BAT.

Atualmente, a PRF possui base de dados dos acidentes os quais estão agrupados por ocorrência ou por pessoas. Todos os registros de acidentes por ocorrências são classificados, dentre outros, de acordo com a causa, tipo e classificação do acidente; data e horário da ocorrência; período do dia; envolvidos (mortos, feridos graves e leves, ilesos); veículos envolvidos; condição meteorológica; tipo de pista e traçado da rodovia. Estes dados estão disponibilizados pelo Departamento de Polícia Rodoviária Federal através do sítio< https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>.

3.2 - Análise da base de dados da PRF dos acidentes nas rodovias federais

Foi utilizada a base de dados da PRF nos anos-base 2010 a 2016. O processamento das informações foi realizado utilizando o software de planilhas eletrônicas MS EXCEL a partir do qual foi realizado critério para seleção das ocorrências de acidente de trânsito pelo tipo de categoria envolvida, usando as variáveis: tipo de acidente, no caso, sinistros envolvendo atropelamento de animal; número de vítimas com grau de lesão fatal, grave e leve; quantidade de acidentes; fase do dia (amanhecer, anoitecer, pleno dia, plena noite); uso do solo (urbano, rural).

Para análise dos dados foi utilizada estatística descritiva a qual tem como principal função fornecer dados e fatos através da tabulação deles, gerando gráficos, tabelas e valores.

4. RESULTADOS

4.1 - Perfil dos acidentes de trânsito segundo o período de análise dos dados

No período de 2010 a 2016 foram registrados 25.075 acidentes (Figura 1) envolvendo atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras. Foram envolvidas 11.105 vítimas das quais constataram-se 613 registros de óbitos, 2.933 feridos graves e 7.559 feridos leves. Acidentes com vítimas fatais, para este estudo, são aqueles em que a vítima faleceu no local da colisão veículo-animal conforme registro no Boletim de Acidente de Trânsito da Polícia Rodoviária Federal. Ainda, aproximadamente 3% das ocorrências de acidentes registraram vítimas fatais e 44% representa a relação entre feridos (fatais, graves e leves) e o número de acidentes.

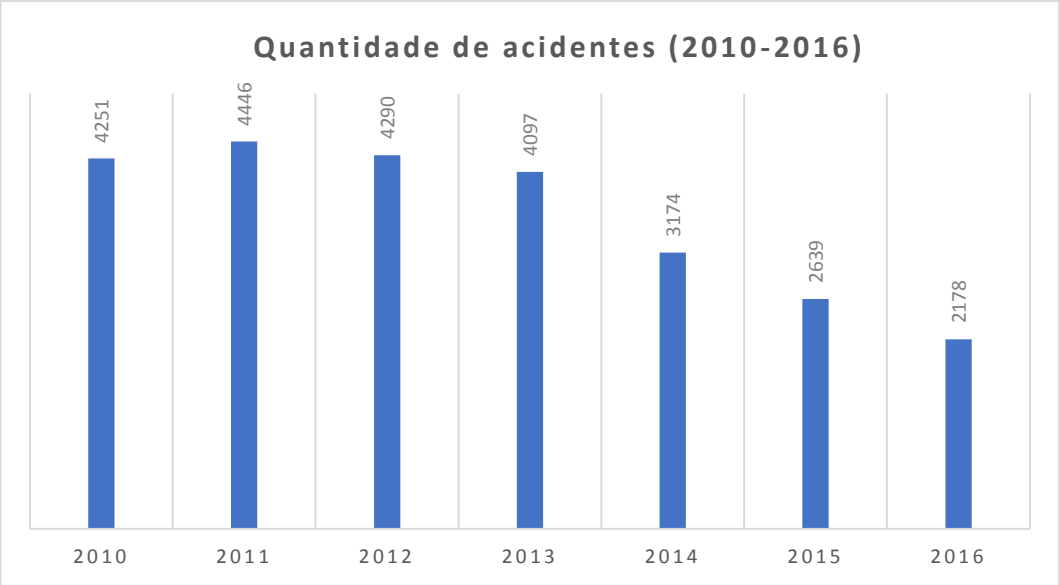


Figura 1 – Quantidade de acidentes por atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras (2010-2016)

Foram registrados em média 3.582 acidentes e 88 vítimas fatais por ano envolvendo atropelamento de animal, sendo 27.059 a quantidade de veículos relacionados, o que representa 1,1 veículos por ocorrência de acidente (Tabela 1 e Figura 2). Dentre o número de vítimas, 6% correspondem àquelas que faleceram no local do acidente.

Ano	Vítimas	Óbitos	Feridos Leves	Feridos Graves	Veículos
2010	1566	79	1053	434	4562
2011	1721	86	1150	485	4751
2012	1848	104	1238	506	4611
2013	1645	99	1167	379	4454
2014	1386	82	950	354	3444
2015	1479	81	1009	389	2861
2016	1460	82	992	386	2376

Tabela 1 - Quantidade de vítimas (mortos, feridos graves e feridos leves) e veículos envolvidos nos acidentes por atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras (2010-2016)

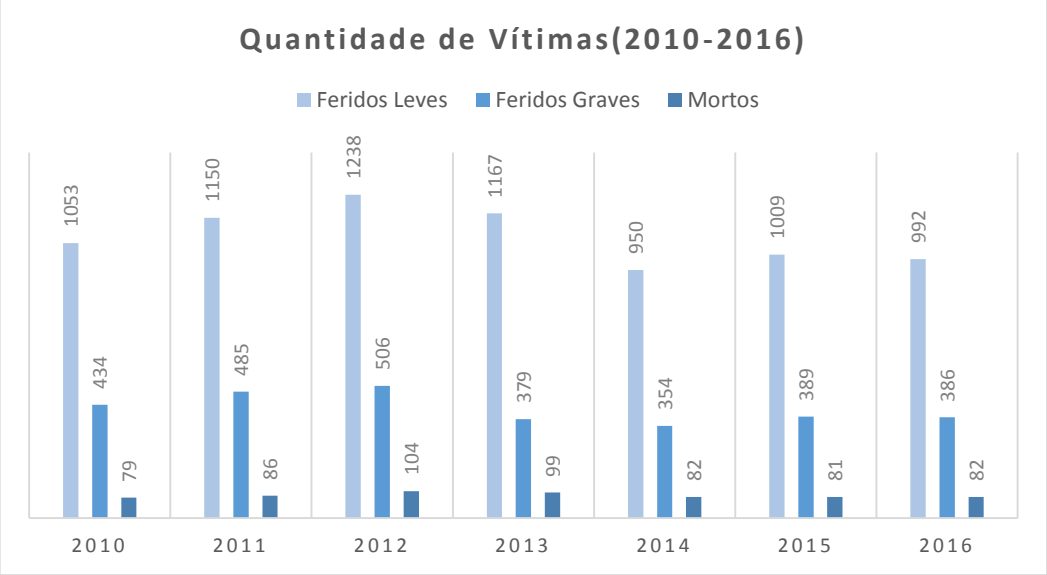


Figura 2 - Quantidade de vítimas (feridos leves, feridos graves e mortos) envolvidas nos acidentes por atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras (2010-2016)

Ao analisar a principal causa dos acidentes, constatou-se que a presença de animais na pista é destaque nos casos em geral, apresentando 90% (22.444) das ocorrências. Em seguida, a falta de atenção é a segunda maior causa dos acidentes, a qual corresponde a 2% (379) dos casos ocorridos, o que justifica a intensificação das campanhas em relação ao comportamento defensivo dos condutores para se evitar esses acidentes.

Com relação ao período em que ocorreram os acidentes, é evidente que a maioria, 74% (18.441) dos casos, ocorreu em plena noite, superando a média de ocorrências para o período estudado, que corresponde a 3.582 registros (Figura 3). Secundariamente, 14% (3.510) dos registros ocorreram durante o dia. Além disso, acidentes ocorridos durante o amanhecer e anoitecer, em conjunto, apresentaram 3.121 ocorrências. Os óbitos registrados em plena noite superam os dos demais períodos, apresentando 82% (500) dos casos.

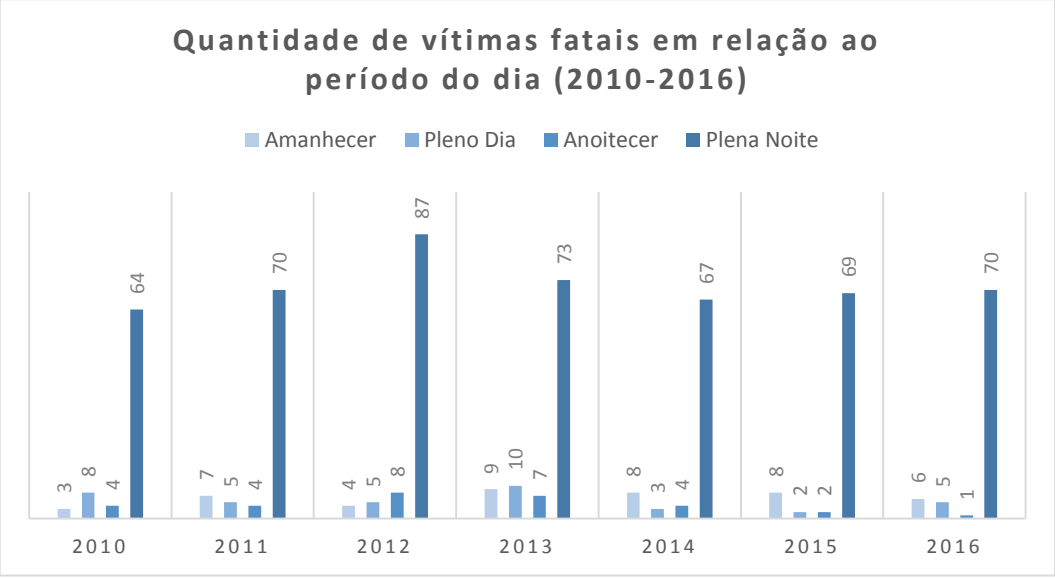


Figura 3 – Quantidade de vítimas fatais em relação ao período do dia nos acidentes por atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras (2010 a 2016)

No que diz respeito aos atropelamentos de animais, esses eventos ocorrem com muita frequência e principalmente nos trechos rurais. No período de 2010 a 2016, 72% (18.114) dos acidentes ocorreram nesses trechos, apresentando 73% (447) dos óbitos registrados no período.

4.2 - Perfil dos acidentes de trânsito segundo as Regiões Brasileiras

A Região Nordeste foi a que obteve o maior percentual do número de acidentes (40%, 10.077) e óbitos (58%, 358), conforme Figura 4, o que evidencia que este tipo de evento é mais frequente nessa região do que nas demais. Na sequência, destaca-se a Região Sudeste, com 24% (5.956) dos registros de acidentes, a Região Sul com 18% (4.627), a Região Centro-Oeste com 12% (3.053), enquanto a Região Norte apresenta o menor percentual de vítimas fatais (5%, 33) e acidentes (5%, 1362), respectivamente, no cenário nacional (Tabela 2).

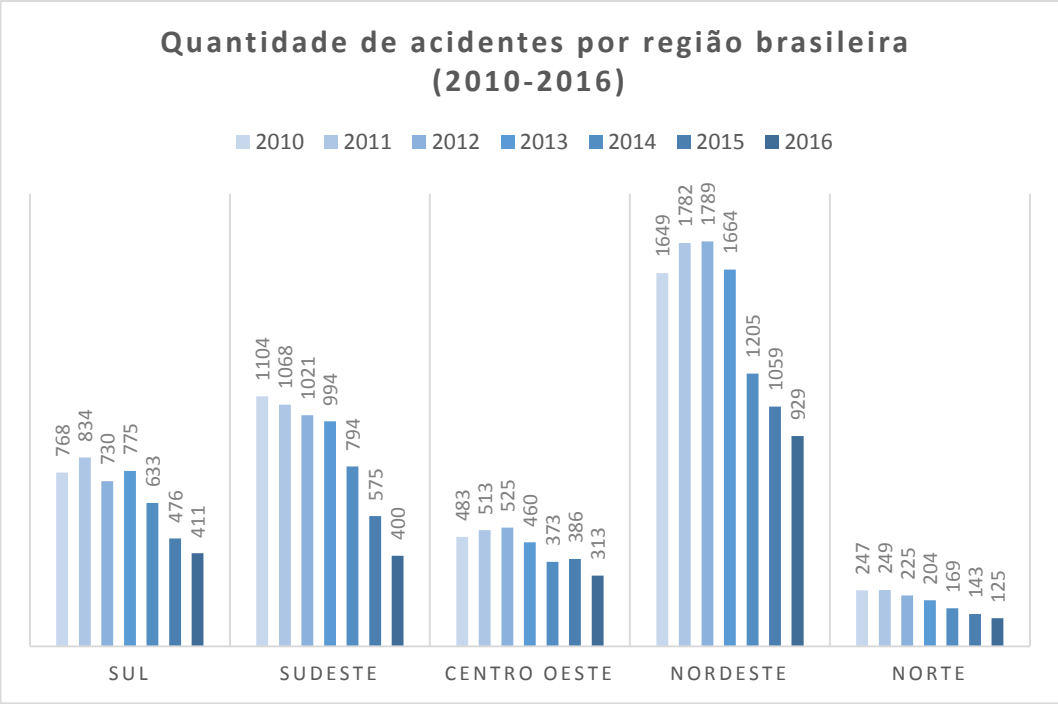


Figura 4 – Quantidade de acidentes por atropelamento de fauna nas rodovias federais distribuídos por regiões brasileiras (2010-2016)

Em relação a tipologia do acidente, apresentando como principal causa a presença de animais na pista, a Região Nordeste é a mais afetada com esse tipo de ocorrência, com 42% dos registros (9.318), superando a média por região que é de 4.480 casos. Já a Região Norte mostrou o menor índice, com 6% (1.274).

Os casos registrados demonstram que no período de plena noite está concentrada a maioria dos acidentes, sendo a Região Nordeste novamente a que apresenta maior índice de ocorrências, com 40% (7.292) do total de acidentes nesse período do dia. Em contrapartida durante o amanhecer é quando ocorre o menor número de acidentes e a Região Norte corrobora essa afirmativa com o índice mais baixo de 6% (70) dos casos.

Região Brasileira	Número de Acidentes	Número de Óbitos
Sul	4627	62
Sudeste	5956	101
Centro-Oeste	3053	59
Nordeste	10077	358
Norte	1362	33

Tabela 2 - Quantidade de acidentes e vítimas fatais nas ocorrências com atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras por regiões do Brasil ao longo do período de 2010 a 2016

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Acidentes envolvendo atropelamento de animais nas rodovias federais brasileiras geraram um número considerável de vítimas fatais. A análise estatística demonstrou que a quantidade de acidentes registrados tem diminuído a partir do ano de 2013. Em comparação com estudos, a taxa de 613 óbitos é aproximadamente três vezes à registrada nos Estados Unidos (Conover, et al, 1995) onde foi registrada taxa de 0,0001 mortes a cada acidente. É superior, também, à taxa na Suécia onde se evidenciou 10 a 15 vítimas fatais por ano numa taxa de 0,003 mortes a cada atropelamento com alces (SEILER, 2004).

Apesar de a quantidade de ocorrências apresentar tendência de queda a partir de 2013, os dados demonstram a severidade entre o número de óbitos humanos e os acidentes de trânsito envolvendo colisão veículo-animal. Considerando que este estudo analisou somente os casos nas rodovias federais, excluindo os registros nas estradas estaduais e municipais brasileiras, acredita-se que os resultados representam subestimativas da quantidade e letalidade dos acidentes no território nacional. Nesse sentido, as perdas de vidas humanas bem como a morte de animais fundamentam a necessidade de se conhecer os cenários desse tipo de acidente também nas estradas estaduais e municipais.

O fato da maioria dos acidentes ocorrerem no período de plena noite pode estar relacionado com a desatenção e baixa visibilidade dos condutores dos veículos, como também com os aspectos biológicos dos animais quanto a locomoção, ecologia e comportamento que os tornam vulneráveis. Além disso, fatores relacionados às características da paisagem e mesmo da rodovia podem ser importantes para explicar esse fenômeno (Laurance, et al, 2009). Isso também pode justificar a grande quantidade de acidentes que ocorreram nos trechos rurais das rodovias federais analisadas.

Em relação à distribuição dos acidentes envolvendo atropelamento da fauna por regiões brasileiras, foi evidenciado que o cenário para algumas regiões é mais expressivo e, por isso, necessitam de mais estudos para se entender o comportamento dos acidentes, além de ampliar medidas de segurança nas rodovias.

É notório que as Regiões Nordeste e Sudeste são as regiões brasileiras com maior concentração da malha rodoviária federal, o que justifica a ocorrência do maior número de acidentes em tais localizações. Muitos são os veículos que usufruem das rodovias, desde carros de passeio a turismo até grandes carretas transportadoras de mercadorias. Além do constante e abundante

uso das rodovias nessas regiões, releva-se impreterivelmente o turno em que a maioria absoluta dos acidentes ocorrem: plena noite. Pode-se atribuir como justificativa para a concentração dos acidentes ao longo da plena noite o cansaço dos condutores e, mais ainda, a baixa visibilidade durante o período noturno, que reduz efetivamente a capacidade defensiva dos motoristas, caso estes se deparem com uma situação de possível colisão com fauna.

Muito embora o número de acidentes rodoviários tenha caído ao longo dos últimos sete anos, eles ainda somam uma estrondosa e relevante quantidade. Os números de acidentes anuais caíram não só em quantidade bruta nacional, como também em todas as cinco regiões brasileiras, o que permite uma comparação ao longo dos anos em nível regional e federal. Apesar de os acidentes terem diminuído, a quantidade de vítimas envolvidas, sejam as consideradas leves, graves ou fatais, apresentou uma constância ao longo do período analisado, acarretando numa maior proporção de vítima por acidente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como componente os acidentes rodoviários, os registros de colisões veículo-animal têm revelado a severidade do assunto. No período de 2010 a 2016, estes acidentes mataram 88 pessoas por ano e deixaram mais de 2.933 vítimas com lesões graves.

O número de registros dessa modalidade de acidente nas rodovias federais brasileiras revela a necessidade de se atentar à problemática, especialmente sob o ponto de vista da segurança dos usuários das estradas. Neste contexto, o cenário, a magnitude, a tendência e a localização destas ocorrências podem destacar claramente o problema, documentar a necessidade de mitigações e permitir um processo de priorização dos possíveis locais de mitigação, sendo a melhor maneira de garantir que atenuações apropriadas sejam instaladas nos locais onde há um maior impacto.

Os dados utilizados na pesquisa de Freitas e Barszcz (2015) diferem dos dados utilizados na presente pesquisa. Enquanto eles utilizaram dados encontrados on-line, este estudo utilizou dados oficiais da PRF. Desta forma, analisando os boletins oficiais, sugere-se mais detalhamento sobre as ocorrências, e até mesmo uma exigência de realização das mesmas. Assim, os números sobre os acidentes e mortes serão parâmetros mais confiáveis para um plano de prevenção e combate desses acidentes, diminuindo e mais tarde zerando o número de óbitos de motoristas e passageiros por atropelamento de fauna nas rodovias federais brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG e ao CEFET-MG pelo auxílio coletivo para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CBEE. *Atropelômetro*, 2014a. Disponível em: <http://cbee.ufla.br/portal/atropelometro/>. Acessoem: 02 set. 2016.

CHAGAS, Denise M.; NODARI, Christine Tessele; LINDAU, LuisAntonio. *Lista de fatores contribuintes deacidentes de trânsito para pesquisa no brasil*. XXVI ANPET – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte, Joinville, RS, 2010.

CONOVER, M.R.; PITT, W.C.; KESSLER, K.K.; SANBORN, W.A.; *Review of human injuries, illnesses, and economic losses caused by wildlife in the United States.*Wildlife Society Bulletin, 23(3):407-414, 1995.

DNIT. *ABC do cinto de segurança*. Disponível em:<http://www1.dnit.gov.br/imprensa/feriasverao/abc%20cinto%20seguran%C3%A7a.htm>. Acesso em: 03 jul. 2017.

FREITAS, C.H. e DIAS, R.C. *Estudo dos atropelamentos fatais de mamíferos silvestres no triângulo mineiro enordeste do estado de São Paulo*. Livro de resumos do XXV Congresso Brasileiro de Zoologia, Brasília-DF: p.275, 2004.

FREITAS, S. R.; BARSZCZ, L. B.*A perspectiva da mídia Online sobre osacidentes entre veículos e animais em rodovias brasileiras: uma questão de segurança?*Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, SP, 2015.

FORMAN, R.T.T.; SPERLING, D.; BISSONETE, J.A.; CLEVENGER. A.P.; CUTSHALL, C.D.; VALE,V.H.; FAHRIG, L.; FRANCE, R.; GOLDMAN, C.R.; HEANUE, K.; JONES, J.A.; SWANSON F.J.;TURRENTINE, T. e WINTER, T.C. Editor. *Road Ecology – Science and Solutions*. 1ª ed. Washington, DCIsland Press. 482 p., 2003.

HUIJSER, M.P.;DUFFIELD, J. W.; CLEVENGER, A. P.; AMENT, R. J.; MCGOWEN, P. T. *Cost-benefit analyses of mitigationmeasures aimed at reducing collisions with large ungulates in the Unites States and Canada: a decision support tool*. *Ecology and Society*, 14(2), 15, 2009.

LANGLEY, R. L.; HIGGINS, S. A.; HERRIN, K. B. *Risk factors associated with fatal animal-vehicle collisions in theUnited States, 1995-2004. Wilderness and Environmental Medicine*, 17, 229-239, 2006.

LAURANCE, W.F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S.G.W.; *Impacts of roads and linear clearings on tropical forests.* Trends in Ecology and Evolution 24: 659-669. 2009.

PRF. *Polícia Rodoviária Federal*. Disponível em:<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>Acesso em: 05 mar. 2017.

RODRIGUES, F. H. G.; HASS, A.; REZENDE, L. M.; PEREIRA, C. S.; FIGUEIREDO, C. F.; LEITE, B. F.; França, F. G. R. 2002. *Impacto de rodovias sobre a fauna daEstação Ecológica de Água Emendadas, DF*. Anais do III Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Fortaleza, Brasil, p.585-593.

SAEKI, M. e MACDONALD, D.W. *The effects of traffic on the raccoon dog (Nyctereutsprocyonoidesviverrinus) and other mammals in Japan*. Biological Conservation 118: p.p 559-571, 2004).

SEILER, A. *Trends and spatial patterns in ungulate-vehicle collisions in Sweden.* Wildlife Biology, 10(4),301-313, 2004.

SEILER, A.; HELLDIN, J.O. *Mortality in wildlife due to transportation.In*: Davenport, J.; Davenport, J. L. (Eds.). *Theecology of transportation: managing mobility for the environment*. Dordrecht: Springer, p. 165-189, 2006.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE VARIAÇÃO DE RAIOS DA CURVA HORIZONTAL: ESTUDO DE CASO NA "CURVA DA SANTA" – BR 376

Rosemary Janneth Llanque Ayala
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia
Philippe Barbosa Silva
Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde
Curso de Engenharia Civil
Universidade de Brasília
Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO
O presente trabalho objetivou analisar a variação das velocidades dos veículos em uma curva de raio mínimo. O trecho elencado para estudo foi a Curva da Santa, trecho BR-376 com elevado número de acidentes. A curva em questão tem raio de curva de 180 m e a velocidade regulamentada da via no trecho é 60 km/h. Foram realizadas 70 simulações variando-se o raio de curva com incrementos de 10 m até atingir um raio de 270 m. Simultaneamente, foram realizadas variações da velocidade do trecho de 60 km/h a 120 km/h. Como conclusões verificou-se significativas variações de velocidade até um raio de 230 m. Para raios maiores as variações de velocidade são pouco relevantes. Ainda conclui-se o uso potencial de um simulador de tráfego como suporte na elaboração de projetos geométricos.

ABSTRACT
The present work aimed to analyze the variation of vehicle speeds in a minimum radius curve. The section listed for study was Curva da Santa, roadway BR-376 with a high number of accidents. The curve in question has a curve radius of 180 m and the regulated track speed in the stretch is 60 km/h. We performed 70 simulations by varying the radius of the curve in increments of 10 m until reaching a radius of 270 m. simultaneously; variations of the speed of the stretch from 60 km / h to 120 km / h were carried out. Significant variations in velocity up to a radius of 230 m were found. For larger the speed variations are not relevant. The potential use of a traffic simulator as support in the elaboration of geometric designs is also conclude.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, constata-se grande número de acidentes em rodovias que possuem trechos críticos devido a curvas perigosas. Verifica-se que todos os projetos geométricos elaborados seguem os parâmetros estabelecidos em normas locais.

Um projeto de rodovias abrange várias características importantes para se obter uma via que atenda às necessidades locais dos condutores. Sendo necessário cumprir os requisitos de segurança, manter um bom fluxo e proporcionar conforto no trajeto a ser percorrido. A elaboração correta de um projeto geométrico influencia diretamente nos resultados finais da rodovia. Assim, a implantação de projetos geométricos inadequados resulta em acidentes, limitações da capacidade de trafego da rodovia e no aumento dos custos operacionais (DNIT, 2010).

Nos últimos anos foram registradas centenas de acidentes em pontos críticos de rodovias em território brasileiro, os números registrados refletem diretamente a periculosidade que esses trechos oferecem, em sua maioria se destacam as curvas horizontais simples e de transição.

Apesar desses trechos apresentarem nítidas características de possíveis irregularidades, laudos técnicos confirmam coerência e cumprimento da norma em relação aos parâmetros geométricos das vias e os já estabelecidos na norma. Os acidentes no tráfego ocorrem na maioria das vezes em trechos críticos com alto índice de periculosidade, e a imprudência dos

condutores é um agravante nesse quadro.

Na maioria dos casos, o projeto geométrico é elaborado basicamente a partir da região topográfica, classificação da via que inclui os veículos de projeto e o fluxo ao dia, estabelecendo a velocidade diretriz. A partir do entendimento dessas características e embasamento de cálculos, torna-se possível verificar se os raios mínimos estabelecidos na norma são compatíveis com o raio de giro dos veículos que trafegam nestas rodovias. Deve se levar em conta o veículo com condições mais desfavoráveis, que exige maior raio mínimo para realizar uma manobra. Com os valores estabelecidos para esses veículos, consequentemente a via vai atender às condições dos demais. Ou seja, para a análise dos raios mínimos já estabelecidos em norma, serão avaliados os veículos de carga que possuem maior raio de giro e que apresentam dificuldade para executar manobras em determinados pontos da via.

Com o auxílio de programas computacionais a pesquisa será direcionada a análise da planimetria, correlacionando os raios de curvatura, velocidade diretriz da via e os veículos de projeto. Essa análise proporciona a possibilidade de observar se os raios mínimos de curvatura das vias definidos em norma, são compatíveis e adequados às categorias que abrange todos os tipos de veículos que trafegam nas estradas brasileiras. Para tanto, serão utilizados *softwares* de projeto e desenho geométrico associado a um *software* de microssimulação de tráfego, o que torna possível a previsão de possíveis readequações para os raios mínimos definidos, utilizando os veículos de projeto como referência.

2. ELEMENTOS DO PROJETO GEOMÉTRICO

As condicionantes geométricas das rodovias decorrem da definição por norma de valores mínimos e máximos a partir da classificação das rodovias, do relevo e das características do veículo de projeto e, consequentemente da determinação da velocidade diretriz.

2.1. Dimensionamento de um Projeto Geométrico

Todo projeto geométrico começa com a classificação da rodovia, consequente a uma demanda de viagens. Determina-se relevo característico da região em que a rodovia será construída e, posteriormente, são dimensionados todos os elementos geométricos, observadas as normas vigentes.

2.1.1. Classe de Rodovia

Segundo Lee (2000), as normas do DNER estabelecem 5 classes técnicas para o projeto de rodovias rurais integrantes da rede nacional. Na Tabela 1 apresenta-se a classificação das rodovias rurais.

Tabela 1: Classes de Projeto para Novos Traçados de Rodovias Rurais

CLASSES PROJETO		CARACTERÍSTICA	CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA	VELOCIDADE DE PROJETO (km/h)		
				PLANO	ONDULADO	MONTANHA
	0	Via Expressa	Decisão Administrativa	120	100	80
I	A	Pista Dupla	O projeto da pista resultaria em Níveis de serviço inferiores ao aceitável.	100	80	60
	B	Pista Simples	Volume de Tráfego > 200vph ou 1400vpd			

	II	Pista Simples	Volume de Tráfego: 700vph ou 1400vpd	100	70	50
	III	Pista Simples	Volume de Tráfego: 300vph ou 7000vpd	80	60	40
IV	A	Pista Simples	Tráfego na data de abertura 50 vpd a 200vpd	60	40	30
	B	Pista Simples	Tráfego na data de abertura < 50vpd			

2.1.2. Veículo de projeto

As características físicas dos veículos e a proporção entre os veículos de vários tipos constituem-se em parâmetros que condicionam diversos aspectos do dimensionamento geométrico e estrutural de uma via. São exemplos: a largura do veículo influencia a largura da pista de rolamento, do acostamento e dos ramos; a distância entre eixos influi no cálculo da superlargura das pistas principais e na determinação da largura e dos raios mínimos internos das pistas dos ramos; o comprimento do veículo influencia a largura dos canteiros, a extensão de faixas de espera, a capacidade da rodovia e das dimensões de estacionamentos. (DNER, 1999).

Segundo DNIT (2005), existe uma pequena divergência entre os veículos – tipo nacionais e os americanos e devido a ausência de estudos mais completos, serão recomendados aqueles usados pela AASHTO.

Segundo a AASHTO (2001), as proporções físicas de um veículo é um dos controles que se deve ter em um projeto geométrico. Portanto, é apropriado examinar todos os tipos de veículos, estabelecer grupos de classes gerais e selecionar veículos de tamanho representativo dentro de cada classe para uso de projeto. Para fins de desenho geométrico, cada veículo de projeto tem dimensões físicas maiores e um raio de giro mínimo maior do que a maioria dos veículos de sua classe.

Segundo DEINFRA (1998), o cálculo manual do raio de giro de cada veículo depende do tipo de veículo. Alguns deles constam na Tabela 2.

Tabela 2: Fórmulas de cálculo de raio de giro de diferentes veículos

Tipo de veículo	Raio de curvatura
Veículo simples	$Rm = \frac{E}{tan_a} - \frac{L}{2}$ $\quad Re = \sqrt{(Rm + L)^2 + (E + BD)^2}$
Semirreboque	$Rm = \frac{E2}{tan_a} - \frac{L2}{2}$ $\quad Re = \sqrt{\left(\sqrt{\left(\frac{E2}{tan_a}\right)^2 + E2^2 + P^2} + \frac{L1}{2}\right)^2 + (E1 + BD)^2}$
Reboque	$Rm = \frac{E2}{tan_a} - \frac{L2}{2}$ $\quad Re = \sqrt{\left(\sqrt{\left(\frac{E2}{tan_a}\right)^2 + E2^2 + E3^2 + P^2} + \frac{L1}{2}\right)^2 + (E1 + BD)^2}$

Onde: **L** = largura do veículo; **E** = distância entre eixos; **BD** = balanço dianteiro; **a** = ângulo de giro médio das rodas; **Rm** = raio mínimo; **Re** = raio externo (raio de giro); **F** = Re – Rm; **L1** = largura do veículo; **L2** = largura do reboque; **E1** = distância entre eixos; **E2** = distância eixo reboque/pino rei; **E3** = distância eixo/pino rei.

Segundo o DNIT (2008), as dimensões dos veículos WB 12 são similares às do caminhão

trator + semirreboque cuja a classificação é 2S2. Já o WB 15 é similar ao caminhão trator trucado + semirreboque. Na Tabela 3 apresentam-se os tipos de veículo de projeto e sua recomendação de uso.

Tabela 3: Veículos de Projeto

TIPOS DE GABARITO		
Novo Métrico – AASHTO	Antigo – Pés Canadá	Onde utilizar
WB-15	WB - 50	Vias expressas, rodovias e cruzamento com outras vias expressas de rodovias.
WB – 12	WB - 40	Principais ligações com áreas urbanizadas, ou malha viária secundaria.
SU – 9	SU - 30	Ligações secundárias com base areas urbanizadas ou malha viária secundária.
B - 12 R B – 12	B - 40 R B - 40	Locais de atendimento, acessos de entrada e saída de ônibus interestaduais.
	B 35	Trajetos de coletivos malha viária secundária, vias, locias, etc.
P	P	Estacionamentos, conversões exclusivas em vias estruturais tipo II, III, IV, etc.
PM		

2.1.3. Projeto Geométrico

O projeto geométrico deve garantir a segurança e conforto dos usuários da via. Para cumprir este objetivo, a concepção de um projeto geométrico está dividida em três etapas apresentadas na Figura 1.

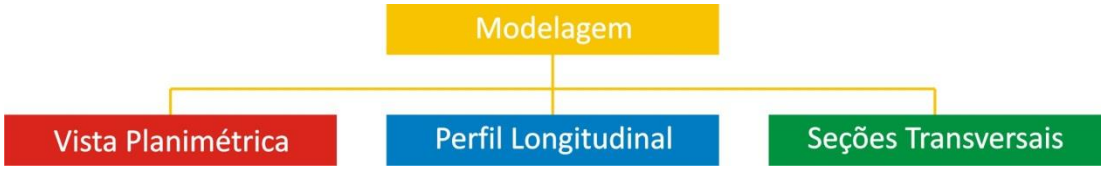


Figura 1: Etapas de um projeto viário

O traçado da via inicialmente deve ser executado de forma que crie harmonia com o relevo, evitando obstáculos naturais. Também devem ser observados os aspectos ambientais e programa de mitigação de impactos da construção da rodovia.

2.1.4 Curvas Horizontais de Projeto

Ao elaborar um Projeto Geométrico, deve se levar em consideração o raio de curvatura, tornando possível ao motorista executar a manobra gradualmente, sem se afastar da sua faixa de tráfego, evitando-se mudança brusca das condições de equilíbrio do veículo (Sousa e Sousa, 2012).

A determinação do raio mínimo é dependente do relevo, tipo de veículo e a velocidade de projeto. Em uma curva horizontal atuam dois vetores: a força centrífuga, que tenta deslocar o veículo fora da curva e, a velocidade do veículo na curva.

O raio mínimo é um valor limite de curvatura para uma determinada velocidade diretriz da via, adotando a taxa máxima de superelevação e do fator de atrito lateral máximo dado pelo veículo de projeto selecionado.

Para calcular o raio mínimo leva-se em consideração a superelevação da pista e o fator de

atrito lateral, a fim de promover condições de equilíbrio para o veículo durante o percurso. A seguinte equação é utilizada para calcular o raio mínimo:

$$R_{min} = \frac{Vp^2}{127(e_{max} + f_{max})} \quad (1)$$

Onde: R_{min} é o raio mínimo de projeto da curva horizontal, em metros; V (ou V_p) é a velocidade de projeto da curva, em km/h; f_{max} é o fator de atrito lateral máximo e e_{max} é a superelevação máxima, expressa em m/m (%).

"O raio mínimo de curvatura (R_{min}) horizontal é o menor raio da curva que pode ser percorrido nas condições limite, com a velocidade diretriz e a taxa máxima de superelevação admissível, em condições aceitáveis de segurança" (Corrêa, 2016).

Conforme consta em DNER (1999): "Os valores mínimos dos raios, calculados para velocidades variando de 30 km/h a 120 km/h, utilização de valores superiores aos mínimos, que se aplicam essencialmente em condições limites".

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O trabalho foi realizado seguindo quatro etapas, conforme Figura 2.

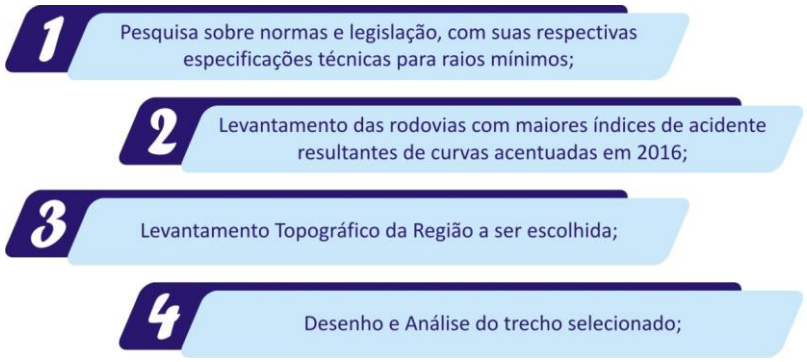


Figura 2: Detalhamento das etapas metodológicas

Etapa 1 – Normas e legislação sobre raios mínimos: ao analisar o Manual de Projetos Geométricos de Rodovias Rurais do DNER (1999), verificou-se que os parâmetros levados em consideração para o cálculo do raio mínimo são: superelevação e coeficiente de força de atrito. O efeito da força centrífuga que age sobre um veículo em movimento circular já está representado na fórmula pela constante 127, sendo assim aplicando a fórmula se espera adquirir resultados satisfatórios e seguros para que o equilíbrio do veículo seja garantido. No entanto, apesar desses parâmetros já estarem inseridos na forma de cálculo, as dimensões dos veículos de projeto e seus limites operacionais não são adotados para fins de cálculo. Com base na presente pesquisa é possível verificar o desempenho de um veículo-tipo ao efetuar uma manobra em um determinado raio de curvatura, e por fim, analisar seu desempenho rotacional à geometria da via.

Etapa 2 – Rodovia com índice crítico de acidentes: a Curva da Santa – BR 376, localizada no km 668,5, em Guaratuba no extremo sul Paraná é considerada pela Polícia Rodoviária Federal um dos trechos do Brasil com altos índices de acidente. O relevo da topografia indica uma

área montanhosa e segundo a classificação do DNER corresponde a uma rodovia tipo I-a. No decorrer de seis anos foram 246 ocorrências. Por sua posição geométrica a 18 quilômetros do início de uma serra e com acentuado declive, a velocidade da via é limitada a 60 km/h. A sinalização é composta por três radares em pórtico, placas com sinalização e painéis eletrônicos de mensagem variável para alertar sobre os riscos existentes. Tais fatos justificam a escolha do local de estudo e remetem aos potenciais benefícios decorrentes da análise proposta neste trabalho. Na Figura 3 são apresentadas fotografias extraídas de filmagens do *site* da Polícia Rodoviária Federal, PRF (2013), de um acidente ocorrido no local em questão.

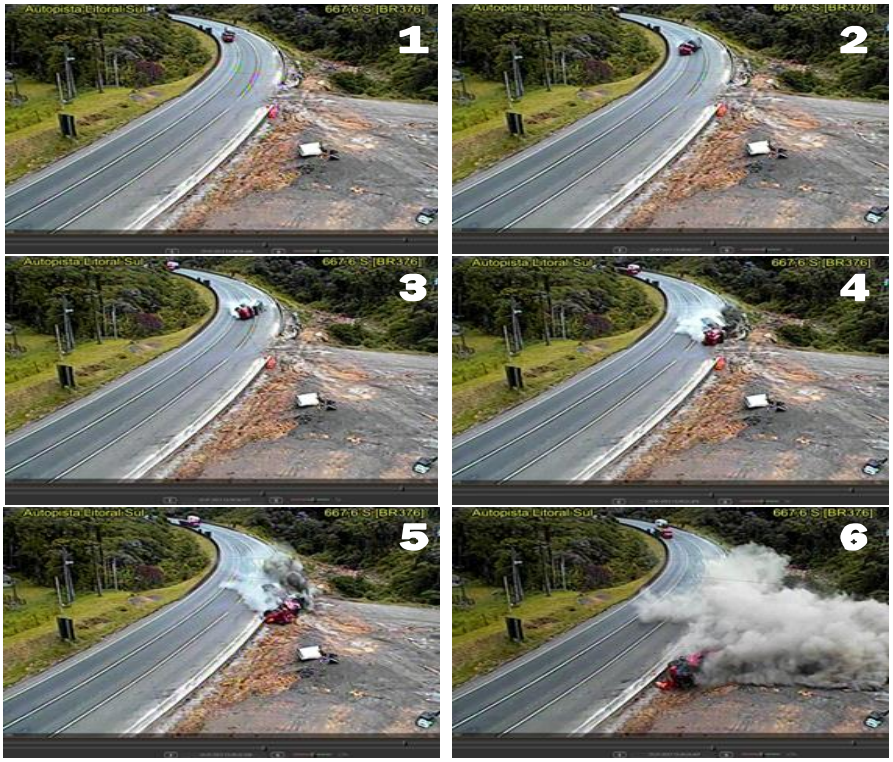


Figura 3: Tombamento de veículo na Curva da Santa: sequência de fotografias
Fonte: PRF (2013)

O ponto de tombamento dos veículos de carga está localizado no ponto central da curva, como mostrado na Figura 4.



Figura 4: Ponto de tombamento/ Fonte: *Global Mapper* (2016)

Na Etapa 3 – O levantamento topográfico da região escolhida: com base em ferramentas de domínio público, *Google Earth*, é definido um traçado de 932,81 m, localizado a uma altitude que varia de 540 m a 598 m acima do nível do mar. Uma declividade média de 6%.

Na Etapa 4 – Desenho e simulação do trecho selecionado: a partir da geometria obtida na Etapa 3 é carregado no simulador de tráfego AIMSUM a geometria da curva. Na Figura 5 apresenta-se a geometria da curva. A superelevação é mantida constante para fins de simulação.

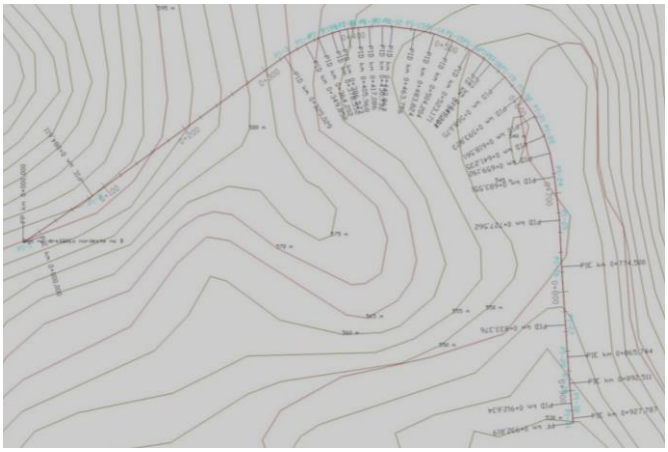


Figura 5: Geometria da curva a simular

A partir da geometria atual da curva, raio de 180 m, são simuladas variações do raio mínimo desde 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260 e 270 metros, avaliando a medida de desempenho "velocidade diretriz".

Para criar um modelo de simulação no AIMSUN se faz necessário o levantamento dos parâmetros geométricos da rodovia, sua configuração, inserção de sinalizações e velocidade diretriz.

O fluxo diário de veículos na rodovia é de 1100 veículos por hora, sendo destes 900 caminhões e 200 carros de passeio. Estes dados foram utilizados para configurações das demandas e replicações para obter velocidades de caminhões e seus respectivos tempos de viagem em raios estabelecidos.

Dentre os veículos de carga avaliados para serem considerados como o veículo de projeto, o escolhido foi o caminhão trator trucado + semirreboque, classificado como 3S2. Segundo os limites legais do DNIT ele possui um peso máximo de 40 t. Comparado a AASHTO, o 3S2 possui a mesma configuração do veículo WB 15. As dimensões deste veículo são: comprimento máximo de 18,60 m; e raio de giro de 13.93 m (obtido através da velocidade máxima de 15 km/h). Introduzindo no simulador os dados da geometria e veicular, procede-se à simulação para cada variação de raio, conforme ilustração constante na Figura 6.



Figura 6: Simulação da curva para raio 180 m

Foram simulados 70 cenários variando o raio desde 180 m (real) até 270 m em acréscimos de 10 metros de curva. A medida de desempenho avaliada foi a velocidade dos veículos na curva. A Figura 7 apresenta uma variação de um raio de curva de 230 m a simular e o real.



Figura 7: Simulação variação de raio de curvatura 230 m

4. RESULTADOS

Realizada a simulação das variações dos raios na curva, foram feitas duas análises: por tipo de veículo e total. No caso dos caminhões, os resultados das simulações permitiram evidenciar variações relevantes para menores velocidades de projeto na curva, chegando a um ponto em que esta variação se torna menos relevante.

Tabela 2: Velocidade veículos na curva (caminhões)

PARÂMETROS		VELOCIDADE DE PROJETO NA CURVA						
		60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h
RAIO	180	52,03	62,08	80,29	83,52	83,89	83,94	83,98
RAIO	190	62,46	72,77	80,37	83,56	83,95	83,95	84,01
RAIO	200	62,60	72,86	80,50	83,65	83,97	83,98	83,99
RAIO	210	62,57	72,52	80,18	83,29	83,74	83,79	83,83
RAIO	220	62,21	72,37	79,98	83,38	83,84	83,89	83,93
RAIO	230	64,48	72,65	80,24	83,51	83,95	83,97	84,03
RAIO	240	62,20	72,38	79,99	83,32	83,84	83,88	83,95
RAIO	250	62,45	72,44	80,08	83,38	83,84	83,86	83,92
RAIO	260	62,46	72,78	80,31	83,49	83,91	83,88	83,91
RAIO	270	62,11	72,28	79,90	83,24	83,72	83,77	83,91

Conforme a Figura 8, os resultados das replicações obtidas para os caminhões de carga criam um parâmetro de diferentes velocidades inicialmente bem distintas no Raio 180 e Raio 230 que, posteriormente se estabilizam em uma velocidade quase única quando aplicamos a velocidade diretriz 80 km/h nas vias.

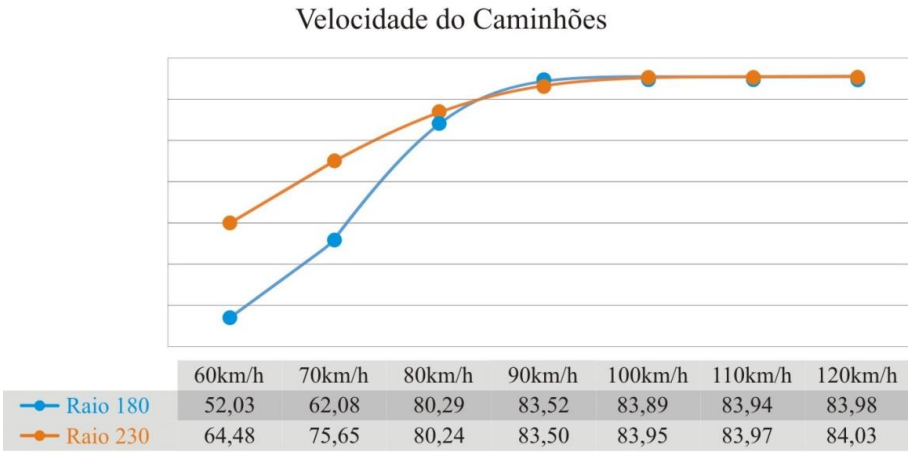


Figura 8: Velocidade dos veículos caminhões

Em relação aos veículos de passeio, foi constatado comportamento semelhante ao dos caminhões, no entanto, foram verificadas velocidades superiores, chegando a velocidade real de cerca de 106 km/h, tendo como velocidade diretriz da via 120km/h. Na Tabela 3 são apresentados os resultados das velocidades dos veículos de passeio na curva.

Tabela 3: Velocidade de veículos (carros)

PARÂMETROS		VELOCIDADE DE PROJETO DA CURVA						
		60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h
RAIO	180	53,82	64,03	86,06	94,87	101,23	104,46	105,70
RAIO	190	64,87	75,65	86,07	94,97	101,24	104,54	105,69
RAIO	200	65,15	75,93	86,31	95,16	101,49	104,43	105,43
RAIO	210	65,04	75,37	85,75	94,62	100,74	103,33	104,41
RAIO	220	64,81	75,52	85,76	94,58	100,77	104,22	105,40
RAIO	230	67,16	75,63	86,03	94,87	101,42	104,50	105,46
RAIO	240	64,74	75,50	85,77	94,56	101,01	104,09	105,26
RAIO	250	64,82	75,51	85,69	94,60	101,15	104,29	105,37
RAIO	260	64,80	75,67	85,98	94,89	101,33	104,39	105,32
RAIO	270	64,69	75,38	85,53	94,40	100,83	103,86	105,32

Na Figura 9 apresenta-se a variação das velocidades dos veículos de passeio.

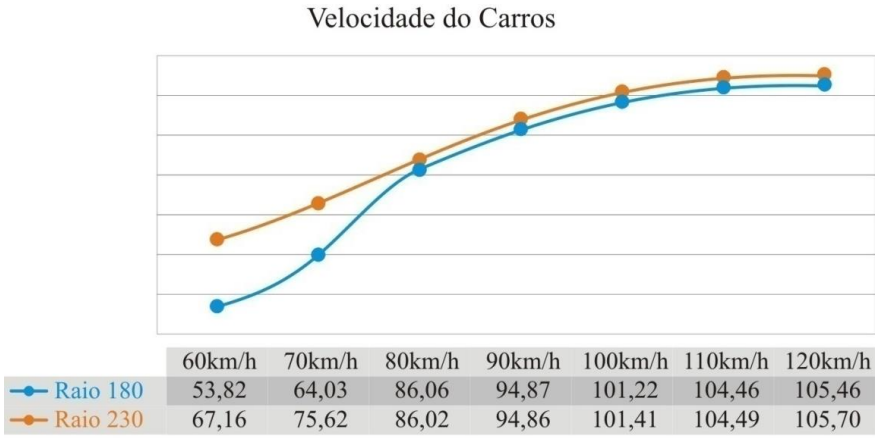


Figura 9: Variação de velocidade na curva (carros)

Finalmente, realizando-se uma análise do cenário global, verifica-se um incremento de velocidade enquanto o raio cresce.

Tabela 4: Velocidade de veículos (todos)

PARÂMETROS		VELOCIDADE DE PROJETO						
		60 km/h	70 km/h	80 km/h	90 km/h	100 km/h	110 km/h	120 km/h
RAIO	180	52,39	62,48	81,42	85,73	87,26	87,93	88,21
RAIO	190	62,94	73,33	81,48	85,78	87,31	87,96	88,22
RAIO	200	63,10	73,46	81,63	85,90	87,37	87,96	88,15
RAIO	210	63,05	73,97	83,02	89,05	92,39	93,73	94,30
RAIO	220	62,72	72,98	81,11	85,56	87,13	87,84	88,10
RAIO	230	65,03	73,23	81,37	85,72	87,34	87,96	88,20
RAIO	240	62,70	72,99	81,11	85,50	87,17	87,81	88,09
RAIO	250	62,91	73,04	81,17	85,56	87,21	87,83	88,09
RAIO	260	62,91	73,35	81,41	85,70	87,30	87,87	88,07
RAIO	270	62,62	72,88	81,00	85,41	87,04	87,67	88,07

Analisando os resultados das simulações, observa-se inicialmente que o raio adotado de 180 m, quando replicado no programa para o tráfego de caminhões, incorre em velocidade máxima de 52,03 km/h.. Todavia, se for considerada a altimetria do terreno, nem sempre esta velocidade garante a segurança dos usuários.

Visando não depender apenas dos parâmetros básicos do trecho citado, inúmeras replicações com velocidades distintas e com alterações o raio de 10 em 10 metros foram aplicadas ao sistema original aumentando gradativamente até o raio 230 m. Após este raio, mesmo com o aumento de velocidade diretriz da via, a velocidade de operação se estabiliza e mantém um padrão que não se altera para veículos de carga classe 3S2.

Com esta avaliação observa-se que o raio indicado para esta situação seria a replicação simulada que antecede o parâmetro de estabilização. Quanto maior for o raio, maior será sua velocidade permitida e consequente a facilidade de executar o raio de giro do caminhão na rodovia. Entretanto, ao atingir o Raio de 230 m o simulador desenvolveu uma respectiva singularidade de velocidades até o Raio de 270 m, não demonstrando uma visível variação de velocidade crescente como vistas nos parâmetros anteriores.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os primeiros resultados obtidos pelo simulador, ficou evidente que o raio da curva de 180 m atende aos parâmetros mínimos da via, e que a curva já trabalha na faixa de margem de segurança. A velocidade diretriz da BR 376 no km 668 é 60 km/h e a pesquisa revelou que os parâmetros ideais de velocidade a serem assumidos para este trecho, teriam de ser no máximo 52,03 km/h, um percentual de velocidade 8,67% menor que o usado atualmente. Nesta circunstância, velocidade da curva deveria passar a ser 50 km/h, para se garantir a segurança do tráfego.

Em contrapartida, foi calculado que ao se aumentar o raio atual da curva para 230 m, tem-se uma circulação do mesmo padrão e quantidade de veículos, entretanto, com uma velocidade de 64,48 km/h, valor 7,46% maior do que a diretriz atual de circulação neste trecho. Como as velocidades regulamentadas devem ser múltiplas de 10, a velocidade de 60 km/h deveria ser mantida.

Como constatado pela presente pesquisa, raios maiores que 230 m seguem o mesmo padrão de giro e não aumentam a velocidade da via. Por meio da simulação se concluiu que a velocidade se estabiliza em uma média de 84 km/h, o que torna inviável o uso de raios superior ao de 230 m.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos alunos Michelle e Ruperto pelo desenho geométrico da curva e o fornecimento de detalhes históricos da curva simulada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington: FourthEdition. 905 p.

CORRÊA, I. C. S. (2016) *Cálculo da superelevação para uma curva circular horizontal*. Agrimensura e Registros públicos. p. 42-44.

DEINFRA (1998). *Gabaritos de Giro dos Veículos Representativos da Frota*. Departamento Estadual de Infraestrutura do Rio de Janeiro**.** Rio de Janeiro.

DNER (1999) *Manual de Projeto Geométrico De Rodovias Rurais Geral*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER 706/20**:** Rio de Janeiro: Brazil, 1999. 195 p.

DNIT (2005) *Manual de Projeto de Interseções*. 2 ed. Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte. Rio de Janeiro: Ipr - 718, 2005. 528 p.

DNIT (2008) *Listagem das Velocidades das Médias de Operação*. Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte.72 p.

DNIT (2010) *Manual de Projeto Geométrico de travessias urbanas*. Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte.392 p.

Lee, S. H. (2000) *Projeto Geométrico de Estradas: introdução ao projeto geométrico de rodovias*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 146 p.

PRF (2013) *Acidentes*. Polícia Rodoviária Federal. Disponível em www.prf.gov.br

Sousa, J. M.; Sousa, D. F. (2012) *O Ensino de Concordância Horizontal para Rodovias Rurais com o Auxílio Computacional*. Anais do Cobenge**,** Belém.

Rosemary Janneth Ll. Ayala (janneth.civil.100@gmail.com)
Philippe Barbosa Silva (philippe.silva@ifgoiano.edu.br)
Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília
Campus Darcy Ribeiro – Brasília, DF, Brasil

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADO AOS DADOS DO PROGRAMA NACIONAL DE SEGURANÇA E SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA BR-LEGAL

Mariane P. Bobermin
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
Daniel Sergio Presta Garcia
Cristhiane P. Demore
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia da UFRGS

RESUMO
Este artigo trata sobre o uso de informações das rodovias federais coletadas no Programa BR-Legal, iniciativa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, por meio de um Sistema de Informação Geográfica, para realização de análises geoespaciais. Para tanto, foi selecionado um segmento de rodovia com 79,5 quilômetros, da BR-116, no Rio Grande do Sul. Neste segmento, foram realizados levantamentos por vídeo registro, utilizando uma combinação de vídeo digital de alta resolução com SIG. As coordenadas foram importadas para uma plataforma CAD e transformadas em elementos planialtimétricos. Dessa forma, os objetos gerados (alinhamento horizontal e vertical) por este processo semiautomático passaram a possuir referencial quilométrico e propriedades geométricas e foram exportados para um programa SIG. Foram incluídos, ainda, dados sobre a localização de defensas, velocidade regulamentar e ocorrência de acidentes. Assim, foi criado um banco de dados do segmento, permitindo a visualização de mapas temáticos e a condução de análises geoespaciais.

ABSTRACT
This paper studies the using the information on federal highways collected through the Highway Sign and Road Safety BR-Legal National Program, according to the National Department of Transport Infrastructure (DNIT), by means of a Geographic Information System (GIS) to perform geospatial analyses. For this, a 79.5-kilometer-long segment of BR-116 highway, of Rio Grande do Sul state, was selected. On this segment, video recordings using technology that combines high resolution digital video with GIS registered the survey. The coordinates were imported to a CAD platform and transformed into roadway planialtimetric elements. Thus, the objects generated (horizontal and vertical alignment) by these semi-automatic process attained a kilometric reference as well as geometric properties and exported to a GIS program. Georeferenced data on the defenses location, the speed and information on accidents were also incorporated into the system. Hence, a database of the segment enabled thematic maps visualization and geospatial analysis.

1. INTRODUÇÃO

O Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-Legal, iniciativa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), surgiu como um modelo inovador em sua área de aplicação, associando as fases de elaboração dos projetos de engenharia com a implantação dos projetos e sua manutenção. Considerando a malha rodoviária pavimentada sob administração do DNIT no ano de lançamento dos Editais do Programa (2013), do total de, aproximadamente, 54 mil quilômetros de rodovias (BRASIL, 2011), 50 mil quilômetros foram contemplados pelo BR-Legal (Bôto, 2016).

O desenvolvimento do Programa proporcionou grande quantidade de coleta e registro de dados das rodovias, tanto da infraestrutura como da sinalização e, também, dos dispositivos de segurança existentes. Considerando a quantidade e a relevância dessas informações e também o contexto em que se encontram as instituições públicas, onde se enfrenta o desafio de fazer mais com menos, deve-se usufruir da melhor forma os dados obtidos aplicando-se tecnologias disponíveis, proporcionando respostas rápidas e precisas sobre as atuais e as futuras necessidades relacionadas à infraestrutura de transportes.

Sendo assim, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) surgem como centralizadores das

informações e possibilitam análises espaciais dos dados, associando a infraestrutura viária a outros elementos. As funcionalidades do SIG mostram um caráter integrador, fazendo uso de sua característica espacial e da estruturação como banco de dados relacional, capaz de agregar dados de várias fontes, formando uma base sólida no auxílio do planejamento e da gestão das rodovias (Ferreira e Faria, 2012).

Desta forma, verificou-se a possibilidade do uso das informações, coletadas no Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária BR-Legal, através de levantamentos por vídeo registro, por meio de um SIG para a criação de um banco de dados sobre a rodovia em estudo e realização de análises geoespaciais. Para tal objetivo foi selecionado um segmento com 79,5 quilômetros de extensão da rodovia BR-116, pertencente ao Lote 65 do Programa BR-Legal, no estado do Rio Grande do Sul.

2. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SUAS APLICAÇÕES NA ÁREA DE TRANSPORTES

O conhecimento das características geométricas das rodovias é de fundamental importância para seu bom gerenciamento e também para a melhoria da segurança viária, entretanto, informações precisas ou atualizadas sobre essas características, especialmente em projetos de rodovias já implantados, não existem ou não estão disponíveis. Nesse sentido, o primeiro passo para o desenvolvimento de qualquer pesquisa é, justamente, a coleta de dados.

No caso de rodovias, essa coleta é, comumente, realizada por meio de veículos equipados com diferentes instrumentos, a fim de se gerar uma aproximação do alinhamento da via (Marinelli *et al.*, 2017). Através deste método ainda pode-se identificar outros atributos viários como sinalização, dispositivos de segurança, interseções, acessos, entre outros.

Após essa fase, deve-se adotar algum procedimento para a transformação dos dados preliminares em parâmetros geométricos como raios, ângulos, elevações e comprimentos, reconstruindo, assim, o projeto da rodovia. Existem vários métodos e estudos, com diferentes níveis de precisão, de tempo despendido e de recursos aplicados para a reconstituição dos elementos horizontais (Findley *et al*. 2012; Bogenreif *et al.* 2011; Rasdorf *et al*. 2012; Andrásik e Bíl, 2016) e também para a reconstituição dos elementos verticais das rodovias (Easa e Kikuchi, 2009; Castro *et al*., 2015; Castro e de Frutos, 2017).

Ao final destas etapas, depara-se com uma grande diversidade de informações e muitas vezes elas não estão centralizadas ou ainda, leva-se tempo para reuni-las ou encontra-se dificuldades na sua apresentação. Sendo assim, a aplicação de um SIG bem concebido e implementado pode melhorar substancialmente a gestão dos recursos, incluindo recursos humanos, financeiros, de informação e de tempo (TRB, 2011). O potencial do SIG para análise e o crescente número de inventários rodoviários suportados por um SIG tornam essas técnicas ferramentas muito úteis para facilitar e melhorar os estudos de segurança rodoviária.

Na experiência do Departamento de Transportes do Texas – TxDOT (Li *et al.*, 2012) sobre um projeto de pesquisa desenvolvido para analisar as rotas das cargas com sobrepeso ou sobrelargura, em formato SIG, alguns dos desafios enfrentados foram a falta de integridade e de padronização dos dados e, também, o grande número de registros a serem mapeados. Por isso, ressalta-se que, mesmo com programas SIG bem desenvolvidos, outros fatores como bons dados, cultura de colaboração e compartilhamento, procedimentos padronizados e apoio das lideranças são as chaves necessárias para o êxito de um bom gerenciamento de dados (FHA, 2012).

Ainda, na área de transportes, a incorporação de outros dados, não só os ligados à infraestrutura da via, como, por exemplo, informações relacionadas a acidentes, ao tráfego, ao perfil do motorista, ao entorno da área e a aspectos ambientais, expandem as possibilidades de análises neste campo. Num estudo, desenvolvido na cidade de Edmonton, no Canadá, avaliou-se diversos dados relacionados ao tráfego, como ocorrência de colisões, de violação do limite de velocidade, de escolas, de zonas com obras de grande volume de pedestres e, inclusive, de reclamações da comunidade pelo excesso de velocidade dos veículos, para identificar e traçar as prioridades de locais para a implantação de medidores de velocidade usando SIG (Li *et al*., 2016).

3. O PROGRAMA BR-LEGAL

O Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-Legal tem como objetivo proporcionar a elaboração de projeto básico e executivo de engenharia e execução dos serviços técnicos de aplicação e manutenção de dispositivos de segurança e de sinalização rodoviária em praticamente toda a malha federal, através de contratos firmados com diferentes empresas. Este Programa é dividido em cinco fases:

a) Pré-análise do trecho;
b) Identificação da classe homogênea e análise do trecho;
c) Contagem de tráfego e consolidação dos dados;
d) Dimensionamentos e;
e) Confecção do projeto.

Trata-se de um Programa de magnitude grandiosa, possibilitando a identificação e localização de vários elementos das rodovias e dados de tráfego, além do planejamento da sinalização. Inclui, ainda, após concluída a fase de projeto, a execução e manutenção da sinalização horizontal, vertical e dos dispositivos de segurança, o que amplifica ainda mais a amplitude de atuação do Programa.

Para uma melhor compreensão da significância do Programa BR-Legal, os relatórios a serem apresentados deveriam conter, dentre outras informações, a divisão dos segmentos rodoviários classificando-os pelo tipo de pista, pela utilização do solo lindeiro e pela inclinação da rampa máxima do segmento; deveriam ser apresentados dados da largura da pista e do acostamento, tipo de curva horizontal, tipo de pavimento, condições da área de escape, identificação de paradas de coletivos, postos de serviços, postos de fiscalização, acessos, retornos, escolas e etc. Também incluía a apresentação do levantamento da sinalização existente, bem como a identificação de pontes, viadutos, passarelas e túneis.

Juntamente aos dados relativos à infraestrutura da rodovia, era previsto também a definição do Volume Diário Médio Anual – VDMa, dos diferentes segmentos homogêneos, através de contagens volumétricas e classificatórias automatizadas de sete dias ininterruptos. Assim, de posse de todos estes dados, o dimensionamento da sinalização e dos dispositivos de segurança poderia ser elaborado.

Além da apresentação do projeto em planta, deveriam também ser apresentadas tabelas das soluções elaboradas para os segmentos. Essas tabelas consistiam na forma de apresentação não só do projeto, mas também dos dados do inventário das rodovias. O Guia Prático do Programa BR-Legal (DNIT, 2015) contém modelos de configuração destas tabelas.

Desse modo, nota-se que, para possibilitar o desenvolvimento do Programa, eram necessárias várias informações referentes ao projeto geométrico das rodovias implantadas. De fato, uma das primeiras fases do Programa consistia na identificação de elementos do projeto da rodovia e referia-se, em específico, à identificação de todos os elementos do projeto geométrico

relacionados ao trecho rodoviário em estudo. Ainda, segundo as Especificações Técnicas Programa BR-Legal (DNIT, 2011), na ausência de qualquer tipo de informação existente que permitisse uma visualização em planta do projeto, o segmento deveria ser refeito por meios de levantamentos de coordenadas geográficas através de um sistema de posicionamento georreferenciado (GPS) com precisão de cinco metros.

Assim, uma vez que muitos dos projetos das rodovias não estavam disponíveis em meio digital e, ainda, era necessário verificar as condições atuais dos trechos, já modificados por outras intervenções, a maioria das empresas participantes do BR-Legal optaram pela utilização da tecnologia de veículo de coleta de dados provido de vídeo registro com sistema de posicionamento georreferenciado para a determinação das coordenadas horizontais e vertical. Desta forma, grande parte da malha rodoviária federal brasileira foi georreferenciada.

3.1. Origem dos dados

Com a disponibilidade dos dados do levantamento do Programa BR-Legal, escolheu-se um segmento para aplicação do método para a obtenção de dados geométricos e referencial quilométrico. Os dados utilizados, portanto, referem-se à parcela norte da BR-116/RS, iniciando no quilômetro zero, divisa do estado com Santa Catarina, e terminando no entroncamento com a RS-437, totalizando 79,5 quilômetros, referente aos municípios de Vacaria/RS e Campestre da Serra/RS. Este segmento pertence ao Lote 65 do Programa BR-Legal.

As coordenadas X e Y e Z, referentes ao alinhamento do segmento rodoviário foram obtidas através de um sistema de posicionamento georreferenciado (GPS – *Global Positioning System*) com precisão submétrica. O levantamento empregou o sistema YonaPMS.Video, que utiliza uma tecnologia que combina vídeo digital de alta resolução com SIG (Botner e Hoffman, 2011).

O receptor GPS utilizado foi o modelo Trimble BX982 GNSS (TRIMBLE, 2016) que incorpora antenas de qualidade superior aos receptores comerciais, além de implementar correções diferenciais que melhoram a precisão do sistema. O receptor GPS registra a localização do veículo como uma função do tempo, que permite o georreferenciamento com precisão de três metros funcionais.

Ainda, o sistema conta com um sensor de movimento inercial, modelo Inertial+ da OxTS, composto de três sensores de velocidade angular (giroscópios), que possibilitam a medição de inclinações e curvas, e três acelerômetros, proporcionando um aumento na precisão das coordenadas GPS e prevenindo a falha de sinal em zonas como túneis ou sob pontes (OTS, 2016). O veículo também contava com um Instrumento de Medição de Distância (DMI), conectado ao sistema de rodas, para registrar com precisão de 0,8m a distância percorrida.

O trajeto foi executado nos dois sentidos da rodovia no mês de maio de 2014. O veículo utilizado era equipado com três câmeras coloridas frontais cobrindo 140º.

4. MÉTODO APLICADO

O método utilizado para a transformação dos dados do GPS em elementos planialtimétricos da rodovia seguiu o método já aplicado em Garcia (2008), particularizado às necessidades do formato dos dados de origem desta pesquisa. Foi utilizada a plataforma SAEPRO – Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários (Garcia *et al*., 2014) devido às funcionalidades de *software* de CAD (*Computer Aided Design*) aliadas às personalizações já existentes dos comandos no programa que se enquadram ao objetivo deste trabalho.

O trabalho consistiu, primeiramente, na importação das coordenadas X, Y e Z do GPS para o

SAEPRO em formato de texto, que formaram uma base de pontos. Como o levantamento em campo resultou em dados tanto da faixa da direita como da faixa da esquerda, foi necessário, primeiramente, construir uma linha de pontos única, referente ao eixo da rodovia, ligando os pontos médios dos registros referentes aos dois sentidos de tráfego através da criação de uma superfície tridimensional.

Após, nas intertangentes do trajeto, foi utilizado um comando personalizado no SAEPRO que, através da análise de mínimos quadrados, traça uma linha reta entre os pontos. Ressalta-se que, em ambas as etapas, a inserção ou exclusão de um ou mais pontos na análise é necessária para identificar a correta orientação do alinhamento, porém isso não é considerado um fator de interferência no resultado.

São determinadas, então, as curvas circulares através de outro comando personalizado programado no SAEPRO para ajustar um arco circular a partir de dois alinhamentos concorrentes (intertangentes), e a distância do afastamento entre o arco e o ponto de interseção das tangentes (BD na Figura 1). A escolha do afastamento (BD) é determinada visualmente, procurando-se ajustar um arco sobre os pontos georreferenciados. Todos os outros elementos da curva são calculados automaticamente após essa definição. Salienta-se que, através deste método, não é possível a identificação de curvas do tipo composta, somente circulares simples, sem trechos de transição.

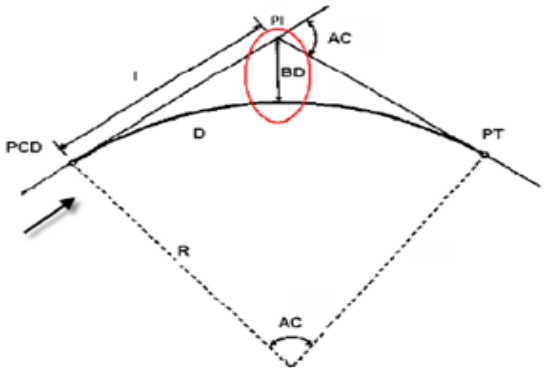


Figura 1: Elementos geométricos de uma curva circular simples (Garcia, 2008)

Foi feita ainda uma compatibilização dos dados obtidos desse processo, em relação à extensão do alinhamento, com os dados do Sistema Nacional Viação – SNV (Brasil, 2011) considerando a sua atualização de julho de 2016. Assim, o comprimento do alinhamento era ajustado, a cada código do SNV, para que os valores fossem semelhantes. Deve-se observar que o sentido do crescimento da quilometragem da rodovia é também considerado no método.

Nesse aspecto é importante ressaltar que não existe definição física, como, por exemplo, um marco topográfico, que indique a localização exata de alteração de um código do SNV para outro. Assim, a posição estabelecida para o início e fim do segmento indicado no SNV foi feita visualmente, considerando, sempre que possível, um ponto central de um entroncamento da rodovia federal com outra via.

Após a construção do alinhamento planimétrico, passou-se a obtenção dos elementos altimétricos. Lançou-se o greide do projeto, de forma semiautomática, baseado no perfil do alinhamento planimétrico gerado. As inclinações foram definidas de forma visual e nas curvas verticais usou-se a parábola como forma de concordância com os pontos georreferenciados, através da definição de flecha (“e”, na Figura 2). Nesse processo, foi respeitada uma diferença entre o perfil do alinhamento formado pelo levantamento de campo e o greide lançado de, no máximo, vinte centímetros de diferença.

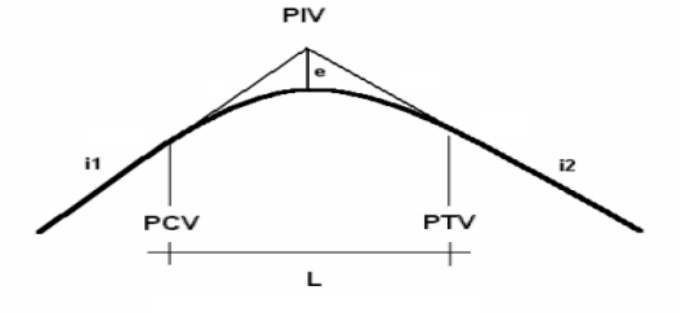


Figura 2: Elementos geométricos de uma parábola (Garcia, 2008)

Os objetos gerados por este processo (alinhamento horizontal e vertical) passam a possuir propriedades geométricas como raios, ângulo interno e inclinações, além de cada ponto estar ligado a uma referência quilométrica (ou por estacas) e podem ser exportados para arquivos em formato de planilha para melhor manipulação dos dados. O SIG, então, foi abastecido com vários pontos, cada qual possuindo informações sobre o valor da estaca a que se refere (ou quilômetro), inclinação, coordenadas X, Y e Z, raio (se reta, o raio possui valor zero), etc.

4.1. Incorporação de dados da rodovia e de acidentes

Além da geração dos elementos planialtimétricos do eixo da rodovia, outros dados ainda foram incorporados ao SIG. Dentre as várias informações coletadas pelo Programa BR-Legal, e apresentadas em forma de tabelas, muitas delas identificadas com coordenadas geográficas, foram incorporados dados da localização das defensas e também da velocidade regulamentada.

Afora os dados provenientes do Programa BR-Legal, foram ainda utilizadas informações sobre as ocorrências de acidentes de trânsito, disponibilizadas pela Polícia Rodoviária Federal – PRF (DPRF, 2016). A identificação de local do acidente, realizada pela PRF é feita com referência aos quilômetros da rodovia e o sentido da mesma, crescente ou decrescente, e sua precisão é de 100 metros.

Assim, devido ao processo de geometrização da rodovia, que fez com que os pontos da rodovia passassem a possuir também um identificador de referência quilométrica, a correlação entre os dados da PRF e os dados do eixo da rodovia tornou-se possível. Os acidentes, que antes possuíam apenas a informação de quilometragem puderam ser associados às coordenadas e também a todas as outras propriedades geométricas ligadas ao eixo. Os registros da PRF utilizados neste estudo cobrem nove anos de ocorrência de acidentes nas rodovias federais (2007-2016).

5. RESULTADOS

Para a obtenção dos dados planialtimétricos da rodovia aplicou-se o método descrito no item 4 deste artigo. Esse procedimento proporcionou a apropriação de referencial quilométrico (ou estacas) e de dados geométricos, como a inclinação e o raio de curvas, aos pontos georreferenciados. O produto gerado é uma planilha eletrônica que pôde ser importada com facilidade para um programa SIG. A Figura 3(a) é um resultado da apropriação de propriedades geométricas aos pontos do levantamento. Nela, pode-se visualizar um mapa temático com a localização das curvas classificadas como “curvas” e “curvas acentuadas” de acordo com o raio, ângulo central e velocidade do segmento, conforme o Programa BR-Legal.

Ainda, provenientes das planilhas do relatório do Projeto BR-Legal, foram incorporados dados de da localização das defensas, como se mostra na Figura 3(b).

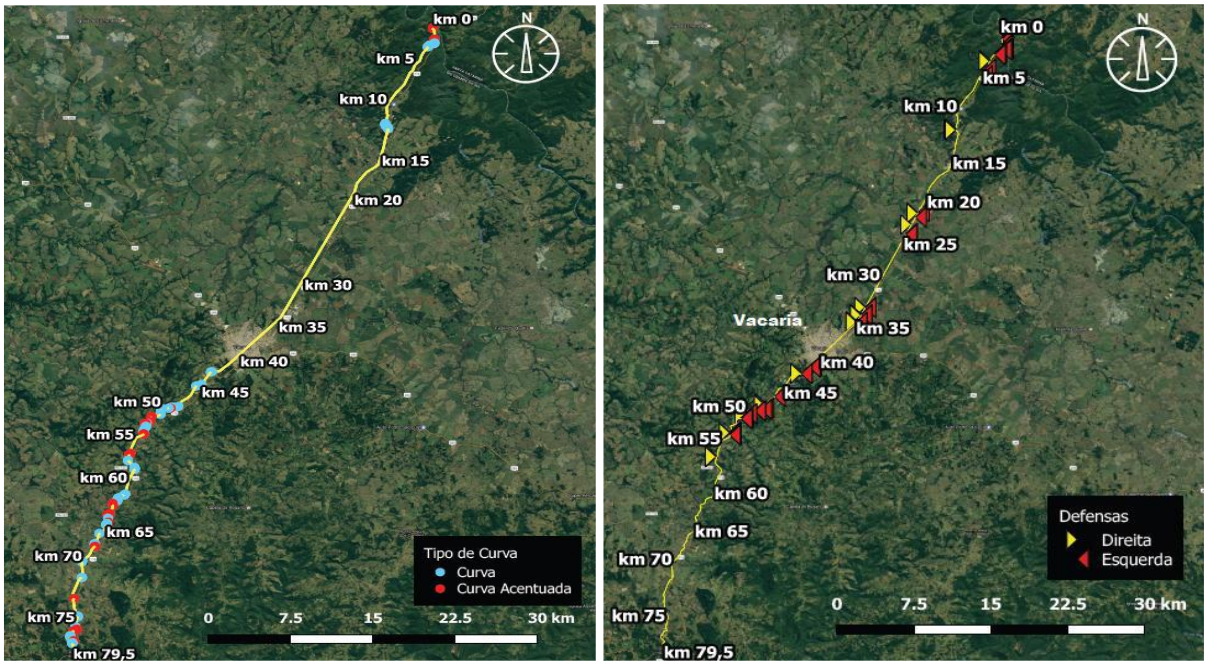


Figura 3: (a) Tipos de curvas identificadas e **(b)** localização das defensas

Do mesmo modo, as informações sobre a velocidade regulamentada, obtidas do registro da sinalização vertical ao longo do segmento, no sentido do crescimento, Figura 4(a), e do decréscimo, Figura 4(b), da quilometragem, também foram incorporadas. Nelas percebe-se a grande variedade de valores de velocidades adotadas, bem como sua constante alternância.

Em relação às informações de acidentes provenientes do banco de dados da PRF, estas também foram incorporadas ao sistema, ampliando a gama de operações e análises possíveis de serem realizadas. Como esse banco de dados não é georreferenciado, a sua utilização somente foi possível devido à correlação existente entre a informação do quilômetro de ocorrência do acidente dado pela PRF e o quilômetro atrelado aos pontos georreferenciados, fruto do desenvolvimento desta pesquisa.

Na Figura 5 são mostrados os acidentes registrados do ano de 2007 ao ano de 2016 no segmento estudado. O mapa demonstra que as maiores densidades de acidentes ocorrem na região urbana do município de Vacaria/RS e também entre o km 50 e o km 55.

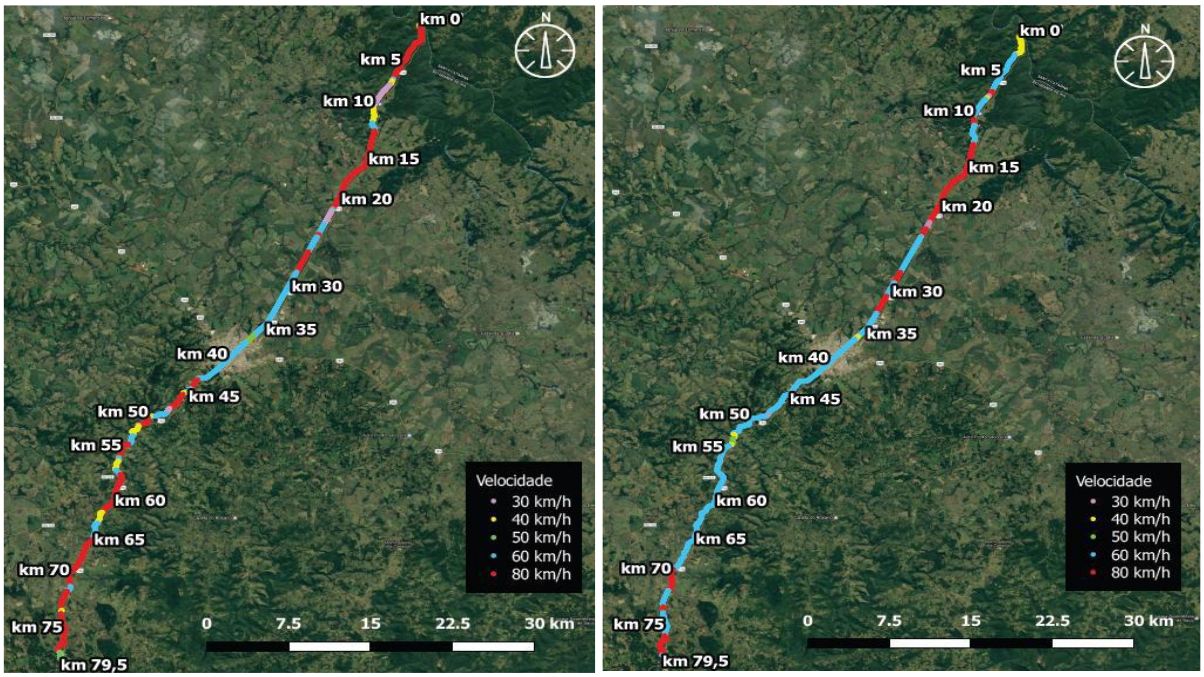


Figura 4: (a) Perfil de velocidade regulamentar de acordo com o registro da sinalização vertical no sentido do crescimento e **(b)** do decréscimo da quilometragem

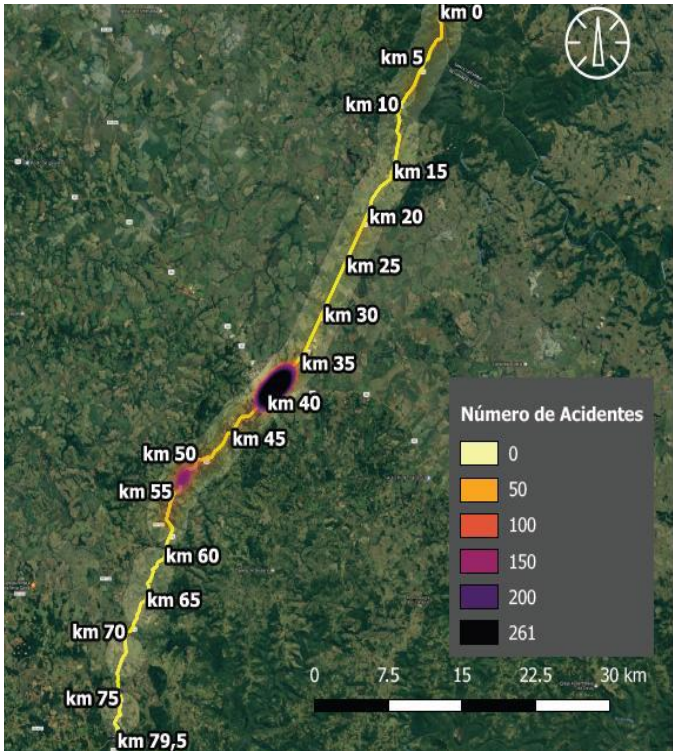


Figura 5: Mapa da densidade de acidentes na rodovia

Muitos outros mapas poderiam ser gerados a partir dos dados coletados. A Figura 6 representa a densidade de acidentes de saída de pista, o tipo de acidente com maior número de registros no segmento estudado, considerando-se a área rural, correlacionado com uma de suas possíveis causas: curvas de raios pequenos, Figura 6(a), e também com uma de suas possíveis medidas mitigadoras: a inserção de defensas, Figura 6(b).

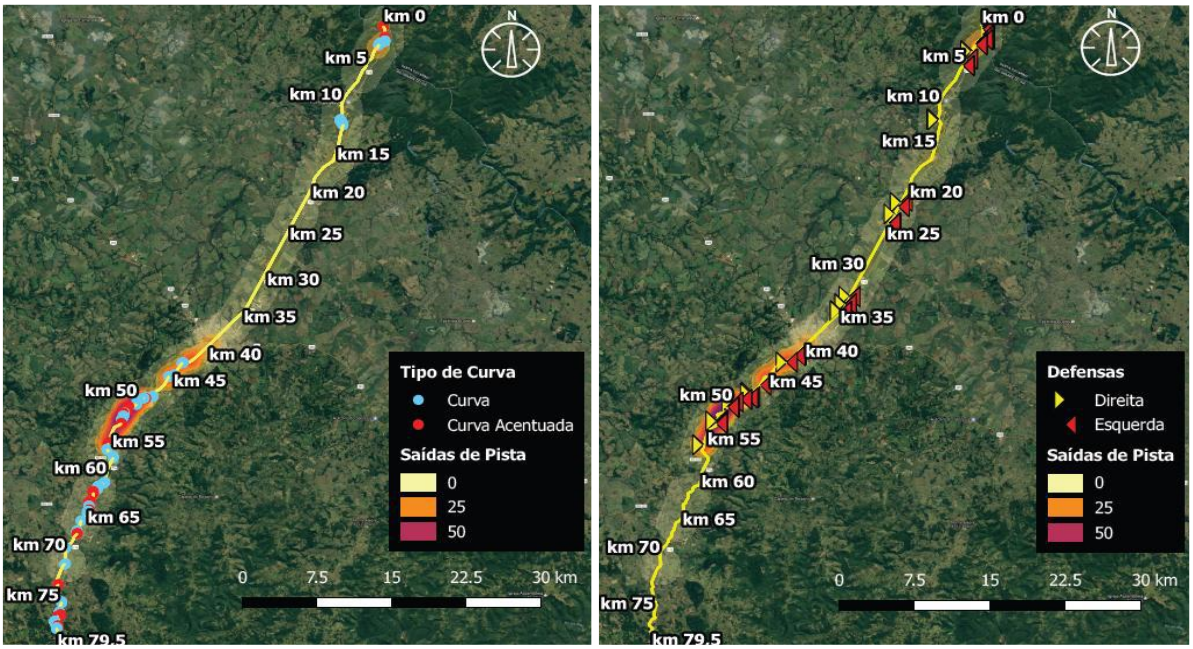


Figura 6: (a) Mapa da densidade de acidentes do tipo saída de pista e ocorrência de curvas e **(b)** mapa da densidade de acidentes do tipo saída de pista e ocorrência de defensas

Já a Figura 7 apresenta a ocorrência de acidentes, em região rural, do tipo colisão frontal, um dos acidentes de maior gravidade, e a sua correlação com as inclinações da rampa máxima do eixo da rodovia. Percebe-se que esse tipo de acidente ocorre tanto em inclinações elevadas como em locais planos, o que pode sugerir a necessidade de implantação de terceira faixa não somente restritas a segmentos de prolongados aclives, mas também em segmentos planos.

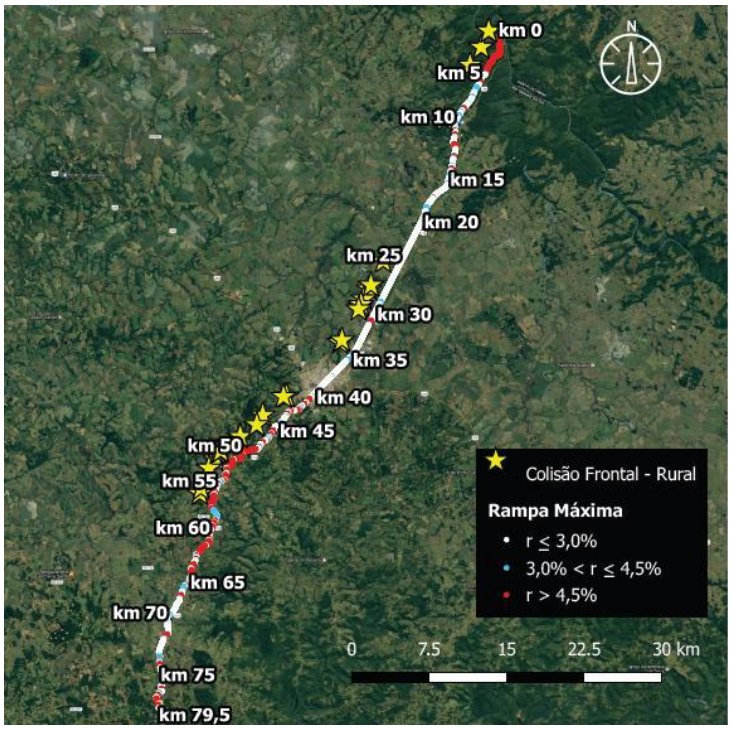


Figura 7: Mapa da ocorrência de acidentes de colisão frontal e inclinações da rampa máxima

Uma questão a destacar é que o banco de dados sobre acidentes da Polícia Rodoviária Federal, disponibilizado no *site* da instituição (DPRF, 2016) não consta a indicação do código do SNV ligado à quilometragem da rodovia. Isso acarreta problemas nas análises dos dados quando um trecho de rodovia possui acessos ao eixo principal que reiniciam o valor da quilometragem.

Como exemplo cita-se o acesso da rodovia BR-116/RS que parte do entroncamento da BR-290/RS até o aeroporto internacional de Porto Alegre e possui a identificação de quilometragem de 0 a 3 quilômetros, enquanto que o eixo principal, e início da rodovia, relativo à quilometragem de 0 a 3, é referente ao segmento próximo a divisa do estado do RS com SC, conforme Quadro 1.

Quadro 1: Equivalência de quilometragens na mesma rodovia (adaptado de Brasil, 2011)

BR	UF	Tipo de trecho	Código	Local de Início	Local de Fim	km inicial	km final
116	RS	Acesso	116ARS1005	ENTR BR-116	P/PORTO ALEGRE	0	3
116	RS	Eixo Principal	116BRS3010	DIV SC/RS (FIM PONTE S/RIO PELOTAS)	ENTR BR-285(A) (P/VACARIA)	0	37,3

Esse acesso ao aeroporto da capital, no banco de dados da PRF, apenas diferencia-se dos quilômetros iniciais "originais" da rodovia, na divisa do estado do RS com SC, pelo município onde estão implantados: o relativo ao eixo principal, em Vacaria e o relativo ao acesso, em Porto Alegre. Porém, essa possibilidade de diferenciação entre os trechos, no banco de dados da PRF, é mera coincidência deste caso.

Muitos outros dados obtidos do Programa BR-Legal ainda poderiam ser incorporados ao sistema, entretanto, devido ao delineamento desta pesquisa, as informações se restringiram às previamente elencadas. Apesar desta limitação, o resultado final do trabalho propiciou a criação e armazenamento de grande quantidade de dados, permitindo a visualização através de mapas temáticos e condução de análises geoespaciais que podem ser executadas rapidamente.

5.1. Recursos aplicados

O maior esforço de recursos humanos e de tempo alocados para a realização deste trabalho refere-se à obtenção dos dados planialtimétricos. Essa atividade foi desenvolvida manualmente por discentes do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no Laboratório de Transportes. Após a finalização do trabalho, estimou-se que a produtividade para a execução do serviço de geometrização dos dados do Programa BR-Legal foi de, em média, 250 km/mês/pessoa. Essa estimativa considera a carga horária de 20 horas semanais por discente.

Salienta-se que alguns aspectos da rodovia, como a quantidade de curvas, tanto verticais como horizontais, pista simples ou dupla e ainda a divisão pelo código SNV influenciam na produtividade do trabalho. Aspectos humanos, como nível de treinamento da equipe, e ligados à tecnologia, como a disponibilidade de equipamentos modernos, também influenciam neste resultado, porém, o valor da produtividade estimada de 250 km/mês/pessoa representa uma ordem de grandeza.

Sendo assim, considerando os 50 mil quilômetros de rodovias pavimentadas contempladas pelo BR-Legal (Bôto, 2016), seriam necessárias em torno 17 pessoas trabalhando durante 12 meses no regime de 20 horas/semana para a geometrização dessas rodovias. Um esforço bastante razoável em detrimento dos benefícios que uma iniciativa desta magnitude e significância pode proporcionar.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização dos dados coletados no Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária BR-Legal empregando-se um SIG para a realização de análises geoespaciais. Essa pretensão se mostrou possível através da utilização das coordenadas obtidas dos levantamentos de campo para a geração de objetos (alinhamento horizontal e vertical), com propriedades geométricas e referencial quilométrico incorporados através de um processo semiautomático realizado no *software* SAEPRO. Fez-se, ainda, uma estimativa do tempo e dos recursos humanos necessários para a expansão desse esforço para toda a malha federal comtemplada pelo BR-Legal, o que resultou em um período viável de 12 meses, considerando 17 pessoas trabalhando no regime de 20 horas/semana.

Do trabalho, também foi possível observar que devido aos limites indicados no SNV possuírem apenas a indicação da quilometragem, a posição estabelecida para o início e fim de cada segmento precisou ser identificada de forma visual, o que dificulta o trabalho com dados georreferenciados. Também, observou-se que o banco de dados disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal em seu *site* não está integrado ao SNV acarretando problemas nas análises dos dados quando um trecho de rodovia possui "eixos secundários" ao eixo principal, que reiniciam o valor da quilometragem.

De um modo geral, como resultado final desse trabalho, foi possível a criação e armazenamento de um banco de dados sobre o segmento de rodovia em estudo, permitindo a sua visualização através de mapas temáticos e a condução de análises geoespaciais que podem ser executadas rapidamente. Considera-se importante a ampliação dos dados englobando outros elementos do Programa BR-Legal bem como outros segmentos de rodovias para execução de análises mais robustas e consistentes. Também, considera-se importante a realização de comparativo entre as coordenadas levantadas no BR-Legal com levantamentos de campo mais precisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrásik, R. e M. Bíl (2016) Efficient Road Geometry Identification from Digital Vector Data. *Journal of Geographical Systems*. Springer Berlin Heidelberg, v. 18, n. 3, p. 249-264.

Bogenreif C.; R. R. Souleyrette; Z. Hans (2011) Identifying and Measuring Horizontal Curves and Related Effects on Highway Safety. *Journal of Transportation Safety & Security*. Taylor & Francis Group, LLC and The University of Tennessee v. 4. p. 179-192.

Botner, E. J. e M. S. Hoffman (2011) Digital Video-GIS Referenced System for Spatial Data Collection and Condition Assessment to enhance Transportation Asset Management. In: International Conference on Managing Pavement Assets, 8th, 2011, Santiago, Chile. *Proceedings*... Santiago: Pontificia Universidad Catolica de Chile.

Bôto, L. A. (2016) BR-Legal. In: Fórum de Infraestrutura de Transportes, II, Brasília. *Palestra*... Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em < http://www.dnit.gov.br/noticias/ii-forum-de-infraestrutura-de-transportes-debate-entraves-juridicos-as-atividades-do-dnit>. Acesso em 16 fev. 2017.

BRASIL (2011) *Lei n. 12379*, de 6 de janeiro de 2011. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação – SNV e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12379.htm>. Acesso em 30 nov. 2016.

Castro, M.; S. H. de Frutos; C. de Santos-Berbel (2015) A Methodology for Estimation of Vertical-alignment Geometric Parameters. In: International Symposium on Highway Geometric Design, 5th, Vancouver, Canada. *Proceedings…*, Vancouver. p. 1-14.

Castro, M. e S. H. de Frutos (2017) A Method to Identify and Classify the Vertical Alignment of Existing Roads. *Computer-Aided Civil and Infrastruture Engineering.*

DPRF (2016) *Acidentes*. Departamento de Polícia Rodoviária Federal, Ministério da Justiça e Segurança Pública, Brasília, DF. Disponível em <https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>. Acesso em 08 dez 2016.

DNIT (2011) *Especificações Técnicas Programa BR-Legal*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, Brasília, DF. Disponível em

<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/programa-br-legal>. Acesso em 26 nov. 2016.

_____ (2015) *Guia Prático*: Programa Nacional de Segurança e Sinalização Rodoviária – BR-Legal. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, Brasília, DF. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviarias/programa-br-legal>. Acesso em 26 nov. 2016.

Easa, S. M. e S. Kikuchi (2009) Generalized Method for Estimating Best-fit Vertical Alignments for Profile Data. *International Journal of Civil, Enviromental, Structural, Construction and Architectural Engineering*. World Academy of Science, Engineering and Technology. v. 3. n. 9. p. 308-316.

Ferreira, R. M. P. e S. D. Faria (2012) Aplicação de sistemas de informações geográficas na gestão da informação e no planejamento de sistema rodoviário. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO): Geotecnologias para o Planejamento e Gestão Eficiente do Território, IV, Recife. *Anais*... Recife: Universidade Federal de Pernambuco. p. 1-8.

FHA (2012) *Best Practices in Geographic Information Systems-based*: Transportation Asset Management. Federal Highway Administration, Program and Organizational Performance Division John A. Volpe National Transportation Systems Center Research and Innovative Technology Administration, U.S. Department of Transportation, Cambridge (Massachusetts), MASS, USA.

Findley, D. J.; C.V. Zegeer; C. A. Sundstrom; J. E. Hummer; W. Rasdorf; T. J. Fowler (2012) Finding and Measuring Horizontal Curves in a Large Highway Network: a GIS Approach. *Public Works Management Policy*. v. 17. p. 189-211.

García, D. S. P. (2008) *Método para análise da consistência geométrica de rodovias brasileiras de pista simples*. 162 f. Tese (Doutor em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

García, D. S. P.; M. A. Wandscheer; F. F. F. Santos; P. G. R. Fraga; F. G. Teixeira; Z. S. d'Azevedo e G. R. di Rado (2014) Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: o conceito BIM no projeto de obras de infraestrutura. *PANAM 2014*, Santander. Anales.

Li, Y.; J. T. Le; D. R. Middleton e C. A. Quiroga (2012) Mapping Oversized and Overweight Truck Routes with Procedure Based on Geographic Information Systems. *Transportation Research Record*: Journal of the Transportation Research Board, Washington, DC, USA. n. 2291, p. 8-16.

Li, Y.; A. M. Kim; K. el-Basyouny e R. Li (2016) Using GIS to interpret automated speed enforcement guidelines and guide deployment decisions in mobile photo enforcement programs. *Transportation Research Part A*: Policy and Practice, Amsterdam, Netherland. v. 86, p. 141-158.

Marinelli, G.; M. Bassani; M. Piras; A. M. Lingua (2017) Mobile Mapping Systems and Spatial Data Collection Strategies Assessment in the Identification of Horizontal Alignment of Highways. *Transportation Research* Part C: Emerging Technologies, v. 79, p. 257-273.

OTS (2016) *Inertial+ Family*. Oxford Technical Solutions, Oxfordshire, OFE, UK. Disponível em <http://www.oxts.com/products/inertialplus/>. Acesso em 05 dez. 2016.

Rasdorf, W.; D. J. Findley; C. V. Zegeer; C. A. Sundstrom e J. E. Hummer (2012) Evaluation of GIS applications for horizontal curve data collection. Journal of Computing in Civil Engineering. v. 26. p. 191-203.

TRB (2011) Guide *for Implementing a Geospatially Enabled Enterprise-wide Information Management System for Transportation Agency Real Estate Offices*. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, USA.

TRIMBLE (2016) *BX982*. California, CA, USA. Disponível em <http://www.trimble.com/gnss-inertial/bx982.aspx?dtID=overview>. Acesso em 05 dez. 2016.

Mariane P. Bobermin (mariane.bobermin@dnit.gov.br)
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Superintendência Regional no Estado do RS
R. Siqueira Campos, 664 – Porto Alegre, RS, Brasil
Daniel Sergio Presta Garcia (daniel.garcia@ufrgs.br)
Cristhiane P. Demore (cristhianedemore@gmail.com)
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Produção e Transportes – DEPROT
Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre, RS, Brasil

METODOLOGIA DE RANQUEAMENTO E PROPOSIÇÃO DE INTERVENÇÕES PARA UM GRUPO ESPECÍFICO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS NAS RODOVIAS

Brunno Emidio Sobrinho
Willian Benke Afonso
Leonardo Roberto Perim
Ivone Catarina Simões Hoffmann
Carmen Regina Linhares Pereira Resende
Aymoré Vaz Pinto Júnior
Wallace Vargas Roque
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)

RESUMO
A Gestão das Obras de Arte Especiais (OAEs) envolve um conjunto de ações necessárias para planejamento voltado à manutenção da integridade estrutural e de níveis operacionais adequados. Devido à importância desses elementos dentro do contexto de uma rodovia, ou mesmo para uma região faz com que a manutenção das OAEs se torne uma atividade importante a ser trabalhada pelos setores públicos e privados responsáveis, contemplando a previsibilidade de ações em toda a extensão da malha rodoviária. Nesse sentido, será abordada nesse trabalho uma metodologia de ranqueamento, com apontamentos finais de ações a serem tomadas num cenário de planejamento específico, utilizando características dos segmentos em que as OAEs em estudo estão inseridas, sendo feita uma análise voltada para um grupo específico de OAEs do Estado do Pará (Brasil).

ABSTRACT
The management of Special Engineering Structure involves a set of actions necessary for planning aimed at maintaining structural integrity and adequate operational levels. Due to the importance of these elements within the context of a highway, or even to a region, the maintenance of Special Engineering Structure becomes an important activity to be worked by the responsible public and private sectors, contemplating the predictability of actions throughout the mesh road network. In this sense, a methodology of ranking will be approached in this work, with final notes of actions to be taken in a specific planning scenario, using characteristics of the segments in which the Special Engineering Structure under study are inserted, being made an analysis directed to a specific group of Special Engineering Structure of Pará state (Brazil).

1. INTRODUÇÃO

As Obras de Artes Especiais, são elementos componentes essenciais em um sistema de transportes. As mesmas envolvem estruturas com suas variações morfológicas e de concepções estruturais diversas, servindo como via de ligação a pontos diversos de um sistema, construídas sobre depressões ou mesmo alguma obstrução, como águas de rios e mares, sobre uma estrada qualquer ou uma via férrea, permitindo assim a continuidade das mesmas e possibilitando a passagem de meios de transportes diversos. Uma possível interrupção pode ocasionar transtornos diversos a um sistema de transportes, sendo necessário para evitar isso, sempre o seu bom funcionamento, muitas vezes obtidos por um sistema de gestão de OAEs eficiente.

Segundo Mendes (2009), ao longo desses anos ocorreram muitas modificações relativas às pontes em termos de volume de tráfego, de capacidade de carga e número de eixos de veículos, das normas de projeto e construção, dos materiais utilizados e da matriz de financiamento para sua execução, o que torna a gestão desse patrimônio uma tarefa extremamente difícil, quando se pretende utilizar critérios menos subjetivos para tomadas de decisão.

As ações de manutenção da malha rodoviária federal sempre devem contemplar as OAEs. Ações rotineiras, periódicas ou emergenciais, devem ser realizadas no intuito de manter as características técnicas e operacionais de determinada via em conjunto com seus elementos componentes.

A ausência de políticas e estratégias nas esferas federal, estaduais e municipais, voltadas para a manutenção das obras públicas, faz com que os órgãos responsáveis por estas obras preocupem-se apenas com a execução, não havendo qualquer prioridade para as questões relacionadas à conservação de tais obras. Exemplos evidentes disso são as pontes e viadutos que compõem a malha viária brasileira. Isso pode ser constatado através da simples observação do atual estado de degradação de significativa parte desses importantes acervos técnicos, econômicos e sociais do país, conhecidos como Obras de Arte Especiais (Vitório, 2006).

Em Moscoso (2017) cita-se que a palavra manutenção indica manter em ação, significando muito mais do que consertar, afirmando que a atuação em um tempo adequado das manutenções evita que as estruturas tenham um alto custo na sua reposição ou reparação e um menor desgaste das estruturas que a compõem, gerando assim, períodos de preservação similares aos estabelecidos nos cálculos de projeto.

Visando a garantia da segurança dos usuários e a longevidade das estruturas sob jurisdição do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), foi elaborado dentro do Plano Nacional de Manutenção Rodoviária (PNMR) um módulo voltado ao planejamento de intervenção em OAEs. A sistematização e estruturação do planejamento levando em consideração a real necessidade de cada OAE demonstra-se imprescindível para a eficácia das políticas públicas nesse ramo.

2. PARÂMETROS DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA A PRIORIZAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DO DNIT

Além de investimentos nas áreas de pavimentos, a preocupação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) também abrange as OAEs, evidenciado pelo estudo das OAEs dentro do Plano Nacional de Manutenção Rodoviária (PNMR) e a criação de um programa específico para sua manutenção, no caso o Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas (PROARTE). A consideração de fatores funcionais, estruturais, operacionais e estratégicos passam a ser extremamente necessários para que se alcance propostas de ranqueamento que melhor se adequem às diversas situações que podem estar submetidas.

2.1. Fatores relacionados às análises de priorização das OAEs do DNIT

A relação metodológica entre a Malha Rodoviária Federal Estratégica (MRFE) e os Polos Concentradores de Tráfego constitui o fator estratégico a ser utilizado nessas análises. Ao final de um ciclo de intervenções, busca-se as OAEs inseridas em locais prioritários e que possam ter passado por ações de manutenção.

2.1.1. Malha Rodoviária Federal Estratégica (MRFE)

Visa atender, em essência, o escoamento da produção, a interligação de capitais, ligações com pontos importantes da fronteira, ligação com portos relevantes sob o ponto de vista da demanda e os grandes fluxos de cargas e passageiros. Envolve o conjunto de rodovias federais consideradas essenciais para assegurar o atendimento às principais demandas de circulação de

bens e passageiros. A identificação das rodovias federais que compõem a MRFE é advinda de critérios estabelecidos para criação da Rede de Integração Nacional (RINTER) que constam na Lei nº 12.379 de 06 de Janeiro de 2011 que dispõe sobre o Sistema Nacional de Viação (SNV). Em termos de priorização e otimização dos recursos disponíveis para a manutenção, a MRFE ficou subdividida em quatro níveis hierárquicos, conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Classificação da MRFE

Níveis	Características
N1	Rede de rodovias formadas pelos principais eixos logísticos, vias de acesso à capitais e fronteira, conexões turísticas, acessos a portos e outras rodovias que formam as rotas mais importantes na circulação de cargas e passageiros relacionadas na MRFE
N2	Rede de rodovias que interligam os principais eixos N1 e que possuem funções secundárias previstas na MRFE
N3	Rodovias de importância local, não elencadas na MRFE
N4	Segmentos de acesso com baixa representatividade no escoamento atual da produção, não elencadas na MRFE

2.1.2. Polos Concentradores de Tráfego

Tem como objetivo encontrar regiões em que as condições locais causam impacto no fluxo de veículos de passeio e/ou de carga dentro de um mesmo corredor logístico da MRFE. Uma rede prioritária para atuação governamental visa estabelecer uma hierarquização da malha rodoviária em função do tráfego, determinando possíveis rotas prioritárias para o transporte.

Como critério de sua definição, estabelece-se uma hierarquização das intervenções previstas para um mesmo corredor logístico, buscando uma proposição de investimentos em função de uma programação de longo prazo, reflexo de uma fase de baixos recursos disponíveis resultante do cenário econômico atual.

Consideram-se, elementos diversos e a interferência individual de forma positiva ou negativa ao tráfego resultando em uma infinidade de análises posteriores e mapas que abordem os diversos cenários possíveis.

3. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA A PRIORIZAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DO DNIT

Para se incorporar as atividades necessárias às intervenções diversas em OAEs, seria necessário definir custos referenciais a serem adotados para as intervenções propostas, sendo que este não foi alvo desse trabalho.

As intervenções propostas serão de reabilitação e manutenção, que contemplam serviços de reabilitação estrutural e funcional, e nos serviços de manutenção preventiva e corretiva.

Nesse contexto, podem ser criadas propostas de inclusão de investimentos por metro quadrado para as OAEs de forma diferenciada, com um estudo de custos adequado e limitando esse trabalho somente à proposição de ações, alternada de acordo com a relação entre os critérios funcionais, operacionais e estratégicos, como a seguir:

- Ações de recuperação, reforço e alargamento: Reabilitação;
- Ações de conservação de OAEs: Manutenção;
- Sem intervenção proposta: Descoberto.

Visando a garantia da melhor aplicação possível dos recursos públicos, adiciona-se a proposição "Descoberto", já que nem todas as OAEs necessitariam de intervenções em curto prazo.

3.1. Proposição de ações de intervenção nas OAEs administradas pelo DNIT

As ações de Reabilitação destinam-se às OAEs com níveis mais críticos da condição estrutural e funcional. Neste caso, foram previstas ações voltadas ao reforço e alargamento, bem como as ações de recuperação.

Em todos os casos de Reabilitação foram previstos o alargamento da plataforma, contemplando-se duas faixas de rolamento, dois acostamentos e dois dispositivos de drenagem.

Já nas intervenções de Manutenção de OAEs, contempla-se serviços de pequena monta e pequenos reparos, objetivando manter o pleno funcionamento da estrutura, são eles: reparo de guarda-corpo (inclusive reposição de peças), reparo de piso (passeio), reparo de pavimento de concreto armado/asfalto, pintura de guarda-corpo, pintura de estrutura látex acrílico, correção de depressão em encontro, reparo de junta (lábio e perfil), reparo de guarda-roda, injeção e selagem de fissuras, limpeza e desobstrução, recuperação de sistemas de drenagem dos tabuleiros (buzinotes) e pingadeira.

Serão apresentados a seguir os parâmetros utilizados para o ordenamento das OAEs para posterior proposição de alguma das intervenções definidas anteriormente.

3.1.1. Índice Funcional (If_o)

A capacidade quanto à trafegabilidade e segurança dos usuários relaciona a condição funcional da OAE, ligados à dinâmica dos veículos e ao custo operacional.

Com base na nota de avaliação técnica da OAE listada no Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais do DNIT, de acordo com a Norma DNIT 010/2004 – PRO, que se considera a condição funcional. O índice funcional utilizado para a representação dessa condição, relaciona a criticidade da OAE com o Volume Médio Diário Comercial (VMDc) do segmento no qual ela está localizada.

A Tabela 2 apresenta os índices propostos na relação entre criticidade e VMDc. Nela é possível observar que OAEs em melhores condições e localizadas em segmentos com menores VMDc recebem menores índices funcionais, resultando em intervenções mais simples.

Tabela 2: Valores propostos para o Índice Funcional

Índice Funcional - If_o				
Criticidade da OAE	**VMDc**			
	<4000	**4000 - 6000**	**6000 - 8000**	**>8000**
1	0,7	0,8	0,9	1,0
2	0,6	0,6	0,7	0,9
3	0,4	0,5	0,5	0,6
4	0,2	0,3	0,4	0,5
5	0,2	0,3	0,4	0,4

3.1.2. Índice Estratégico ($Iest_o$)

O índice estratégico considera a relação entre MRFE e Polos Concentradores de Tráfego, os mesmos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Índices atribuídos à cada classe de prioridade

Índice Estratégico - $Iest_o$				
MRFE	**Polos Concentradores de Tráfego**			
	Sem Prior.	**Baixa**	**Média**	**Alta**
N1	0,7	0,8	0,9	1,0
N2	0,6	0,6	0,7	0,9
N3	0,5	0,5	0,6	0,8
N4	0,4	0,5	0,5	0,7

Infere-se daí que quanto maior o índice proposto, maior será a representatividade da OAE dentro do universo analisado.

3.1.3. Índice Operacional (Io_o)

A utilização do VMDa como parâmetro operacional, possibilita mesmo que simplificadamente a avaliação da capacidade de suporte a qual a OAE é submetida.

É de fundamental importância a avaliação da capacidade de suporte de OAEs principalmente quando se busca uma análise de sua adequabilidade operacional. No SGO está contemplada a condição estrutural da OAE, porém não apresenta uma avaliação pormenorizada do atendimento ao volume de tráfego a qual ela está submetida.

A Equação 1 a seguir detalha a operação realizada.

$$Io_o = \frac{VMDa^i}{VMDa} \qquad (1)$$

em que Io_o: Índice operacional para a OAE;
$VMDa^i$: VMDa referente ao segmento do SNV da OAE;
VMDa: maior VMDa referente ao estado no qual a OAE está localizada.

Pode se observar que, com base na formulação proposta, quanto maior a solicitação de tráfego maior o índice sugerido.

3.1.4. Peso Funcional (Pf_o), Peso Estratégico ($Pest_o$) e Peso Operacional (Po_o)
Como a condição estrutural da OAE e a segurança dos usuários são prioritárias, foram atribuídos os maiores pesos para a condição funcional e para a condição operacional. Desta forma, teve-se como objetivo a garantia por uma maior eficácia da proposta quanto à condição de estabilidade da OAE.

Estão definidos os pesos utilizados para cada atributo da OAE na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Pesos utilizados para a análise das OAEs

	PESOS - OAEs	P
Pf_o	Peso Funcional	3,0
$Pest_o$	Peso Estratégico	1,0
Po_o	Peso Operacional	2,0

3.1.5. Determinação do Número de Ordem (NO)
Com a definição dos três índices (funcional, estratégico e operacional), a determinação do valor dos segmentos, denominado Número de Ordem (NO), é feita pela média ponderada entre eles, conforme demonstra a Equação 2.

$$NO = \frac{Po_o \times Io_o + Pf_o \times If_o + Pest_o \times Iest_o}{Po_o + Pf_o + Pest_o} \qquad (2)$$

em que NO: Número de Ordem;
$Pest_o$: Peso estratégico da OAE;
$Iest_o$: Índice estratégico da OAE;
Pf_o: Peso funcional da OAE;
If_o: Índice funcional da OAE;
Po_o: Peso operacional da OAE;
Io_o: Índice operacional da OAE.

Através dessa Equação 2 determina-se os valores representativos para OAEs de determinada base de dados.

3.1.6. Determinação dos Intervalos para Sugestão de Novas Intervenções
A intervenção correspondente ao segmento será estabelecida com a definição dos intervalos (ver Tabela 5) referentes à cada ação a ser proposta, considerando que as intervenções mais significativas correspondem aos maiores valores.

Tabela 5: Intervalos adotados de Número de Ordem (NO) para as ações nas OAEs

Intervenção	Nota	Mínimo	Máximo
Descoberto	1	-	0,6300
Manutenção		0,6300	0,6300
Reabilitação		0,6300	1,0000
Descoberto	2	-	0,6210
Manutenção		0,6210	0,6210
Reabilitação		0,6210	1,0000
Descoberto	3	-	0,5488
Manutenção		0,5488	0,8500
Reabilitação		0,8500	1,0000
Descoberto	4	-	0,5488
Manutenção		0,5488	0,8500
Reabilitação		0,8500	1,0000
Descoberto	5	-	0,5500
Manutenção		0,5500	0,8500
Reabilitação		0,8500	1,0000

A condição global da OAE é o critério que considera as atribuições dos intervalos de cada tipo de intervenção correlacionando, intrinsecamente, a condição funcional, estratégica e operacional da OAE.

Em cenários de indisponibilidade de recursos em nível suficiente para atender todas as obras cadastradas de determinada região de análise, pode considerar a possibilidade de OAEs sem nenhum tipo de intervenção, em nível de ações, ou seja, atribuídas como descobertas.

3.2. Simulações de Grupos de OAEs por ações

Serão propostas ações gerenciais para grupos de segmentos das OAEs. Ressalta-se que na avaliação dos grupos, define-se como parâmetros de referência para novas ações os critérios de intervenção sugerida para a OAE, Estado e para a Unidade Local.

A ferramenta indica qual tipo de contratação está mais adequada ao Grupo. O resultado obtido se refere à necessidade gerencial da ação. Nesse caso, foi feito uma análise em cima das OAEs do Estado do Pará.

4. RESULTADOS DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA A PRIORIZAÇÃO DAS OBRAS DE ARTE ESPECIAIS DO DNIT

O universo de OAEs aplicadas às atividades necessárias às intervenções diversas que as mesmas podem sofrer contemplam no Estado do Pará (dados do SGO/DNIT), um total de 32 OAEs (ver Tabela 6).

Tabela 6: Resumo das ações nas OAEs do Pará

Estado	Número de OAEs	Área Total de OAEs	Necessidade de Intervenção			Área Total (m²)		
			Reabilitação	Manutenção	Descoberto	Reabilitação	Manutenção	Descoberto
PA	32	16.730,41	1	7	24	2.392,00	7.351,88	6.986,53
TOTAL (%)	**100,0%**	**100,0%**	**3,1%**	**21,9%**	**75,0%**	**14,3%**	**43,9%**	**41,8%**

A definição das intervenções, bem como o agrupamento das mesmas está apresentado na Tabela 7. Dados gerais como o Número de Ordem (NO), a localização e nome da Obra de Arte Especial e a classificação da rodovia dentro da MRFE também são apresentados e são possíveis de serem analisados. É importante colocar que nessa classificação o corredor N1 corresponde à rede de rodovias formadas pelos principais eixos logísticos, vias de acesso à capitais e fronteira, conexões turísticas, acessos a portos e outras rodovias que formam as rotas mais importantes na circulação de cargas e passageiros relacionadas na MRFE. Já o corredor N2 contempla a rede de rodovias que interligam os principais eixos N1 e que possuem funções secundárias previstas na MRFE.

Nesse contexto, podem ser propostas a inclusão de investimentos para as OAEs de forma diferenciada, quando estiver sendo feito algum estudo de custo específico, alternando de acordo com a relação entre os critérios funcionais, operacionais e estratégicos, são elas: ações de recuperação, reforço e alargamento, no caso a “Reabilitação”, ações de conservação de OAEs, a “Manutenção” e sem intervenção proposta, denominado “Descoberto”.

A última coluna da Tabela 7 seguinte indica a intervenção sugerida conforme itens listados no item 3 anterior.

Tabela 7: Intervenções sugeridas nas OAEs do Pará

UF	Rodovia	km	SNV	OAE	Corredor	Qtd. (und)	Área Total (m²)	NO Equiv.	INTERVENÇÃO SUGERIDA
PA	BR-010/PA	319,7	010BPA0650	Ponte sobre o Rio Guamá	N1	1	2.392,00	3,69	Reabilitação
	BR-010/PA	0,00	010BPA0490	Ponte sobre o Rio Itinga	N1				
	BR-010/PA	7,60	010BPA0490	Ponte sobre o Rio Água Azul	N1				
	BR-010/PA	30,48	010BPA0510	Ponte sobre o Rio Concrein	N1				
	BR-010/PA	38,51	010BPA0510	Ponte sobre o Igarapé Onça	N1				
	BR-010/PA	55,12	010BPA0510	Ponte sobre o Igarapé Cabeludo	N1				
	BR-010/PA	63,47	010BPA0510	Ponte sobre o Rio Febromio	N1				
	BR-010/PA	103,33	010BPA0530	Ponte sobre o Rio Piriá (Braço Direito)	N1				
	BR-010/PA	200,31	010BPA0570	Ponte sobre o Rio Ananauira	N1				
PA	BR-010/PA	213,98	010BPA0570	Ponte sobre o Rio Ipixuna	N1	17	4.963,70	1,87	Descoberto
	BR-010/PA	223,90	010BPA0570	Ponte sobre o Rio Pacuí	N1				
	BR-010/PA	245,50	010BPA0570	Ponte sobre o Rio Igarapé Jabuti Maior	N1				
	BR-010/PA	257,81	010BPA0570	Ponte sobre o Rio Caratateva	N1				
	BR-010/PA	272,66	010BPA0590	Ponte sobre o Igarapé Mãe do Rio	N1				
	BR-010/PA	278,52	010BPA0590	Ponte sobre o Rio Ajaraí	N1				
	BR-010/PA	284,76	010BPA0590	Ponte sobre o Igarapé Mãe do Rio 2	N1				
	BR-010/PA	300,62	010BPA0610	Ponte sobre o Rio Açu	N1				
	BR-010/PA	318,60	010BPA0650	Ponte sobre o Rio Guamá	N1				
PA	BR-010/PA	294,65	010BPA0590	Ponte sobre o Rio Atauaí	N1	1	154,28	2,59	Manutenção
	BR-153/PA	33,60	153BPA0010	Ponte km 33,605	N1				
	BR-153/PA	64,13	153BPA0070	Ponte km 64,135	N1				
	BR-153/PA	69,01	153BPA0070	Ponte sobre o Igarapé Jacuzinho	N1				
PA	BR-153/PA	78,16	153BPA0070	Ponte sobre o Igarapé Lagoa	N1	7	2.022,84	1,51	Descoberto
	BR-153/PA	102,47	153BPA0070	Ponte km 102,477	N1				
	BR-153/PA	125,83	153BPA0070	Ponte sobre o Igarapé Ximbioazinho	N1				
	BR-153/PA	135,00	153BPA0070	Ponte sobre o Igarapé Sururu	N1				
	BR-222/PA	164,11	222BPA0720	Ponte sobre o Igarapé Gancho	N1				
PA	BR-222/PA	202,60	222BPA0750	Ponte sobre o Rio Jacundazinho I	N1	3	823,00	1,55	Manutenção
	BR-222/PA	223,72	222BPA0750	Ponte sobre o Igarapé Flexeiro	N1				
	BR-230/PA	119,19	230BPA1290	Viaduto km 119,190	N2				
PA	BR-230/PA	120,28	230BPA1290	Viaduto km 120,285	N2	3	6.374,60	1,68	Manutenção
	BR-230/PA	120,75	230BPA1290	Ponte sobre o Rio Itacaiúnas (LE)	N2				

Os agrupamentos de OAEs aos quais não estão indicadas intervenções poderão ter essa

situação alterada conforme novos estudos e levantamentos forem feitos. Outro fator que contribuiria para a redução das sugestões de "Descoberto" seria o aumento do investimento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fontes (2015) evidencia que a proposta de manutenção e/ou reabilitação das OAEs devem ser ações de prognóstico, alterando a condição atual vinculada ao aparecimento de manifestações patológicas mais graves ou através do surgimento de sinais que indiquem alguma insuficiência estrutural. Ainda enfatiza que a importância das OAEs fica evidente quando, por exemplo, ocorrem sinistros que ocasionam a interrupção da operação rodoviária, em que o perigo de perda de vidas, a impossibilidade de manutenção do tráfego e de rápida substituição desses elementos acarretam em prejuízos sociais muitas vezes difíceis de mensurar.

Giovannetti e Pinto (2014), ressaltam que em um conjunto de obras, com elevados níveis de degradação, devem existir políticas cuidadosas e regulares de inspeções, para que sejam avaliadas a capacidade de carga, segurança e conforto. Ainda aponta a importância que essas políticas têm, priorizando as necessidades de manutenção e melhoramentos voltadas aos usuários, e que levando em conta que os recursos materiais e financeiros são finitos, deva-se estabelecer para isso, um sistema confiável e integrado de fiscalização, avaliação e manutenção destas obras. Desta forma fica mais uma vez evidenciado a importância de ações a serem aplicadas no âmbito de uma gestão adequada de OAEs.

A Figura 1 a seguir mostra a análise gráfica que relaciona um índice de desempenho estrutural em função do tempo levando em consideração ações de manutenção necessárias para manter o desempenho adequado das OAEs.

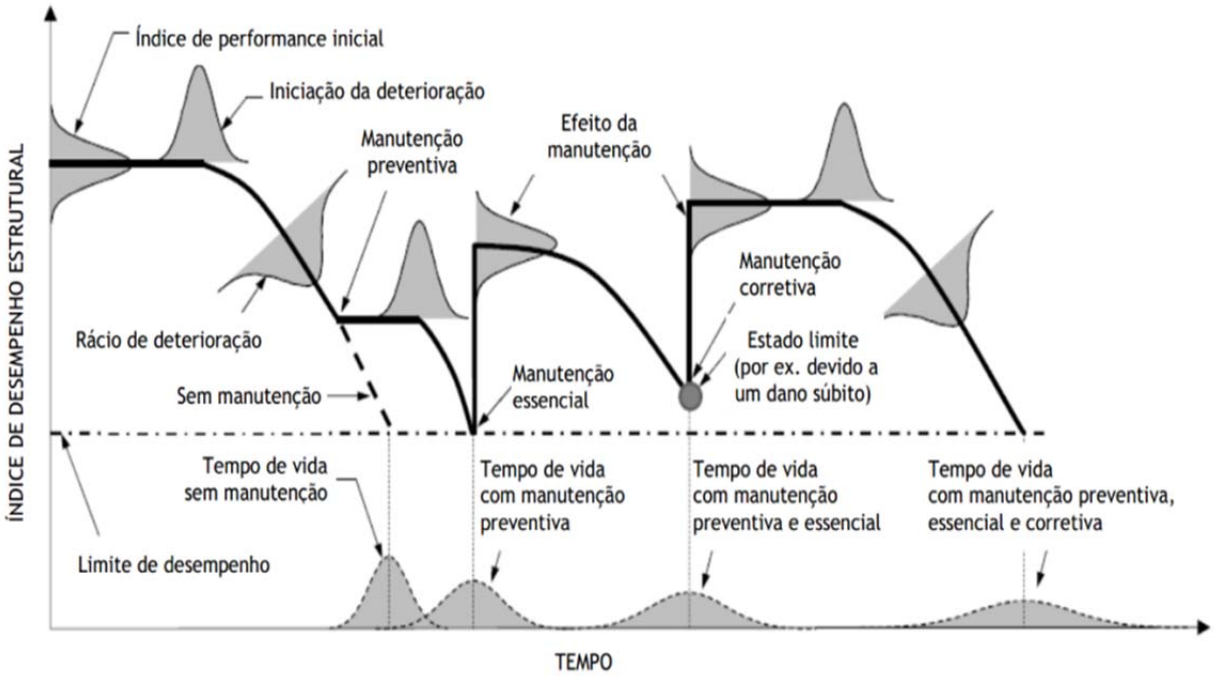


Figura 1: Impacto de diferentes tipos de intervenção no nível de desempenho estrutural ao longo do ciclo de vida de uma ponte e respectivas incertezas (Frangopol e Bocchini, 2011)

Nesse contexto, demonstra-se a importância de se manter a operacionalidade adequada das

OAEs, considerando os padrões de desempenho adequados para seus diversos usos. A hierarquização das OAEs através da análise das condições técnicas das estruturas torna as decisões gerenciais mais efetivas, traçando critérios claros para a escolha de diferentes níveis de intervenção. Desse modo, é possível garantir que o investimento público seja direcionado às OAEs que mais necessitam.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) pelo apoio na realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DNIT, 2004. *NORMA DNIT 010/2004 – PRO. Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Ministério dos Transportes. Brasil. 18p.

FONTES, Fernando Fernandes. *Manutenção de Obras de Arte Especiais no Brasil*. MBA em Gestão Pública – Fundação Getúlio Vargas. Brasil. 32p. - 2015.

FRANGOPOL, D. M. e P. BOCCHINI (2011). *Bridge service life estimation and extension based on reliability, maintenance and management.* ASCP 2011 – 2º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes. P. J. S. Cruz, C. Rebelo and T. Mendonça. Coimbra, Portugal.

GIOVANNETTI, A. C. V. P.; Pinto, R. C. de A.; *Avaliação da Condição de uma Ponte – Estudo de Caso*. VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. 10 p. - 2014.

LEI Nº 12.379 de 06 de Janeiro de 2011.

MENDES, P. T. *C. - Contribuições para um modelo de gestão de pontes de concreto aplicado à rede de rodovias brasileiras.* P.T.C. Mendes. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Estruturas e Engenharia Geotécnica. São Paulo, Brasil. 235 p. - 2009.

MOSCOSO, Y. F. M. – *Modelos de Degradação para Aplicação em Sistemas de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais – OAEs.* Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC). Tese de Doutorado. Universidade de Brasília (UNB), Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, 2017.

VITÓRIO, J. A. P., 2006. *Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto*. IBRACON, Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2006, ISBN: 85-98576-09-3. Rio de Janeiro. Brasil. 16 p.

Brunno Emidio Sobrinho (br_emidio@yahoo.com.br)
Willian Benke Afonso (willian.afonso@dnit.gov.br)
Leonardo Roberto Perim (leonardo.perim@dnit.gov.br)
Ivone Catarina Simões Hoffmann (ivone.hoffmann@dnit.gov.br)
Carmen Regina Linhares Pereira Resende (carmen.resende@dnit.gov.br)
Aymoré Vaz Pinto Júnior (aymore.vaz@dnit.gov.br)
Wallace Vargas Roque (wallaceroque@gmail.com)
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
Sede, Setor de Autarquias Norte, Quadra 03 Lote A, Ed. Núcleo dos Transportes, Brasília, DF, Brasil

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE MÉTODO PARA DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS DE TRÁFEGO VEICULAR UTILIZANDO *WAVELET*

Elaine Rodrigues Ribeiro
André Luiz Cunha
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO
Este trabalho apresenta uma análise exploratória do método proposto para detecção de anomalias utilizando a combinação de Transformada *Wavelet* e *threshold* a cada coeficiente gerado. O banco de dados contém um ano completo de dados de fluxo de tráfego e velocidade veicular em intervalos de 5 minutos, que foram utilizados como sinais discretos em função do tempo. O método proposto decompõe o sinal fornecido pelos dados de tráfego em 11 níveis pela Transformada *Wavelet* de Haar. Na sequência, é determinado um *threshold* e todas as oscilações acima desse valor limiar são definidas como anomalia. Os resultados indicaram: (1) as análises em sinais de período mensal concentraram mais anomalias do que a análise em um sinal de período anual, (2) os primeiros níveis de decomposição apresentaram maior número de anomalias e (3) a concentração de anomalias por tipo de dia está diretamente relacionada com o fluxo direcional.

ABSTRACT
This paper presents an exploratory analysis of a method to detect anomalies using a combination of Wavelet Transform and *threshold* every coefficient. The database contains a complete year of traffic flow at 5 minutes intervals and it was used as a discrete signal in a function of time. The proposed method decomposes the signal provided by traffic data in 11 levels by the Haar Wavelet Transform. Then, by the determination of a threshold and all oscillations above this value are defined as anomaly. Results indicate that: (1) monthly period signal analysis concentrate more anomalies than annual signals, (2) the first levels of decomposition show a bigger number of anomalies and (3) the anomaly concentration by each kind of day is directly related to traffic direction.

1. INTRODUÇÃO

O estudo de tráfego é etapa essencial na Engenharia de Transportes, tendo como propósito obter parâmetros que descrevam o comportamento do tráfego e a composição da frota de veículos. Três variáveis básicas podem ser usadas para descrever o tráfego em qualquer via: fluxo de tráfego, velocidade veicular e densidade (TRB, 2010). A análise dessas três variáveis permite obter um panorama global da fluidez do tráfego, mesmo o comportamento do tráfego sendo dinâmico no tempo e no espaço. De modo geral, é possível afirmar que o comportamento do tráfego típicos ocorre na maior parte do tempo, enquanto que os períodos de pico podem ser considerados eventos anômalos. Devido à importância do comportamento do tráfego em todos os campos da Engenharia de Transportes é fundamental a sua análise e compreensão.

É comum definir o tráfego em dias típicos utilizando médias horárias ou métodos empíricos que eliminam momentos atípicos do banco de dados. No entanto, esses dados excluídos considerados como atípicos podem fornecer informações valiosas do comportamento da corrente de tráfego. Castro-Neto *et al.*(2009), em suas pesquisas de previsão de fluxo de tráfego a curto prazo em dias típicos e atípicos, apontam para as limitações em utilizar apenas dados em situações típicas neste tipo de análise. Pois para os sistemas de transportes inteligentes é fundamental a previsão exata do fluxo de tráfego a curto prazo em condições atípicas, como acidentes veiculares, intempéries, zonas de trabalho e feriados.

Nesse contexto, este artigo visa detectar e analisar os momentos atípicos, definidos como anomalias, a partir de análise exploratória utilizando os coeficientes de detalhe gerados pela Transformada *Wavelet*. Para tal, foram utilizados dados de fluxo e velocidade veicular obtidos em estações permanentes de monitoramento em rodovias de pista dupla do estado de São Paulo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Zheng e Washington (2012), estruturas irregulares e fenômenos transitórios de um sinal, muitas vezes contêm ricas informações do fenômeno estudado. Considerando a aplicação em Engenharia de Transportes, essas irregularidades podem indicar a ativação ou desativação de um gargalo, alterações no estado do fluxo de tráfego e ocorrências de eventos anormais. Porém, o ruído aleatório e sistemático contido em dados do tráfego veicular, torna a detecção de singularidades um grande desafio, pois ao suavizar o impacto do ruído no sinal, existe a possibilidade de perder as singularidades autênticas dos dados (Zheng e Washington, 2012).

Zheng e Washington (2012) compararam a Transformada *Wavelet* com outros métodos comumente usados na Engenharia de Tráfego para o processamento de dados (média, média móvel, diferença de segunda ordem da soma cumulativa). Os autores concluíram que essas técnicas atenuam o impacto do ruído distorcendo ou perdendo totalmente a informação original e singularidades potencialmente importantes. Outros estudos também analisaram esses eventos atípicos no tráfego utilizando a Transformada *Wavelet* em detecção automática de incidentes de autoestrada (Adeli; Samant, 2000; Ghosh-Dastidar; Adeli, 2003; Jeong *et al*. 2009; Karim; Adeli, 2002 e 2003; Samant; Adeli, 2000; Teng; Qi, 2003) e em detecção de oscilações do tráfego (Mohan *et al*., 2014; Zheng *et al*., 2011; Zheng; Whashington, 2012).

Em linhas gerais, os estudos que concentram em detecção automática de incidentes de autoestrada buscam detectar de forma rápida e precisa os incidentes para o gerenciamento eficiente do tráfego em rodovias (Samant; Adeli, 2000). Incidentes de trânsito e acidentes em rodovias resultam frequentemente em lesões graves (até mesmo fatais), congestionamento de tráfego extenso e atraso prolongado (Jeong *et al*. 2009). Por sua vez, os estudos relacionados à detecção de oscilações do tráfego analisam as informações inferidas nos coeficientes da Transformada *Wavelet*, como origem, propagação e extensão do congestionamento do tráfego (Mohan *et al*., 2014; Zheng *et al*., 2011).

2.1. Transformada *Wavelet*

Wavelets ou ondaletas são funções em formas de "pequenas ondas" obtidas a partir de uma função modelo, conhecida como *Mother Wavelet* – $\psi(t) \in L^2$ ($\mathbb{R}$) –, por meio de dilatações (contrações ou escalamento) e translações (deslocamentos). O objetivo de realizar essas operações é obter uma família de funções base para descrever outras funções $\in L^2$ ($\mathbb{R}$) (Faria, 1997). Em linhas gerais, *Wavelets* são funções capazes de decompor e descrever uma série histórica de dados no domínio do tempo para o domínio da frequência, permitindo analisar esses dados em diferentes escalas e níveis.

A aplicação das funções *Wavelets* inclui a Transformada *Wavelet* Contínua (TWC) em sinais contínuos e Transformada *Wavelet* Discreta (TWD) em sinais discretos, além de suas respectivas Transformadas Inversas. A TWC traz muitas repetições de informações do sinal analisado, tornando-a desinteressante computacionalmente, no entanto a TWD é utilizada em sua versão mais simples, "análise de multiresolução", ou em uma versão mais completa que permite um detalhamento personalizado do espectro, "análise por pacotes" (Dias, 2003).

Uma das estruturas de Transformação Discreta mais utilizadas entre as disponíveis na literatura é as "diádicas", que opera com escalas e posições baseadas em potências de 2 (dois). Esse esquema foi disposto da forma que é conhecido hoje por Mallat, em 1989, que percebeu uma semelhança apropriada entre o algoritmo de decomposição diádico (análise de multiresolução)

e o uso de um banco de filtros, conceito este procedente a teoria geral de processamento de sinais. Por ser o esquema de decomposição mais empregado, o termo "Transformada *Wavelet* Discreta (TWD, do inglês *Discrete Wavelet Transform* – DWT) se refere especificamente ao algoritmo de Mallat, embora outros esquemas de Transformação Discreta existam (Dias,2003).

A TWD decompõe o sinal analisado em componentes de alta escala, nomeados de "Aproximações" e de baixa escala, nomeados de "Detalhes", em cada resolução. O componente de Aproximação corresponde ao conteúdo de baixa frequência do sinal, gerado pelo filtro passa-baixa e o componente de Detalhe corresponde ao conteúdo de alta frequência do sinal, gerado pelo filtro passa-alta (Guido; Slaets; Almeida, 2012). Se cada sinal analisado gera duas novas componentes, o resultado da TWD apresentaria, portanto, duas vezes mais dados do que o sinal original e assim sucessivamente a cada nível, o que seria um retrocesso em termos de eficiência computacional. No entanto, para compensar o esforço extra, a decomposição é realizada reduzindo a taxa de amostragem (*downsamlpling*) na mesma proporção que o número de decomposições (Dias, 2003).

Como exemplo, Ribeiro e Cunha (2016) consideraram um sinal discreto (S) de tamanho N. Ao aplicar a TWD pela primeira vez foram gerados dois novos sinais de tamanho $N/2$ no nível 1, representados por um par de coeficientes, sendo um denominado de aproximação (A_1) e outro de detalhe (D_1). A decomposição no nível 2 ocorre se aplicar a TWD nos coeficientes de aproximação A_1, o que resulta em outros dois sinais de tamanho $N/4$, descritos pelos coeficientes de detalhe D_2 e de aproximação A_2. A cada aplicação sucessiva da TWD no coeficiente de aproximação a representação do sinal anterior reduz pela metade. Esse processo hierárquico é apresentado na Figura 1, podendo se repetir por $\log_2(N)$. Em linhas gerais, os coeficientes de detalhe carregam informações das variações do sinal anterior, devido à filtragem passa-alta, enquanto os coeficientes da aproximação descrevem um sinal suavizado pelo filtro passa-baixa.

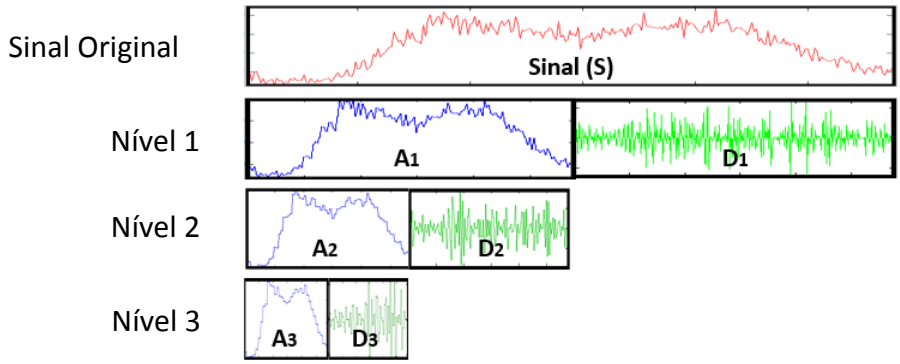


Figura 1: Representação de decomposição da Transformada *Wavelet* (Ribeiro e Cunha, 2016)

2.2. *Threshold*

O valor limiar ou *threshold* (λ) é estimado para encontrar um limiar ótimo entre os coeficientes que representam o ruído e o sinal real. O limiar de corte depende de um parâmetro de dispersão σ. Segundo Donoho e Johnstone (1994) o parâmetro σ pode ser estimado através de duas abordagens: (1) global, que pode ser aplicado a todos os níveis da *Wavelet*; ou (2) por nível, o que implica em um limiar de corte λ_j diferente a cada escala j. Os autores propuseram um *threshold* universal, denominado *VisuShrink*, podendo ser uma abordagem por nível que irá determinar um parâmetro de dispersão para cada nível da Transformada, ou de forma global, com um único parâmetro de dispersão para todos os níveis. O *Visu-Shrink* é dado pela Equação:

$$\lambda = \sigma\sqrt{2\log(n)} \quad \textbf{(1)}$$

sendo: σ o desvio padrão do ruído e n o comprimento do sinal.

Após determinar o valor limiar (*threshold*) é executada a função *thresholding* ou limiarização nos coeficientes que estejam abaixo desse valor limiar (Oliveira, 2016). As funções *thresholding* mais conhecidas são a *Hard-thresholding* (Equação 2) e a *Soft-thresholding* (Equação 3), dadas respectivamente por:

$$thr_\lambda^H(d) = \begin{cases} 0, & se\ |d| \le \lambda \\ d, & se\ |d| > \lambda \end{cases} \quad \textbf{(2)}$$

$$thr_\lambda^S(d) = \begin{cases} 0, & se\ |d| \le \lambda \\ sign(d)(|d| - \lambda), & se\ |d| > \lambda \end{cases} \quad \textbf{(3)}$$

sendo, *thr* a função *thresholding* e, *d* o vetor analisado.

A função *Hard-thresholding* seleciona todos os coeficientes maiores que o *threshold* e define o restante como zero. Por outro lado, a função *Soft-thresholding* reduz os coeficientes menores que o *threshold* e mantém o restante. Segundo Morettin (1999), a escolha entre *Hard-thresholding* ou *Soft-thresholding* é muitas vezes feita caso a caso, dependendo da aplicação.

3. MÉTODO PROPOSTO

A meta deste trabalho foi realizar uma análise exploratória para detectar anomalias em dados de tráfego veicular. Para isso, foi utilizado o software MATLAB R2013b (*MATrix LABoratory)* e a biblioteca de funções *Wavelet Toolbox*. O método proposto está descrito nos itens a seguir.

3.1. Tratamento dos dados

A ARTESP (Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transportes do Estado de São Paulo) forneceu os dados de 20 sensores disponibilizados pelas concessionárias ViaOeste e Autoban no período de 01/09/2011 a 31/05/2014 em diferentes pontos de rodovias paulistas de pista dupla. Esse banco de dados continha ambos os sentidos da via com intervalo de 5 ou 6 minutos (dependendo da concessionária) em planilhas de um ou dois meses, totalizando 685 planilhas que foram organizadas e filtradas em busca de ausência de informação. Após essa filtragem, foi definido o sensor localizado no km 51,9 da Rodovia Presidente Castelo Branco (SP-280/BR-374) entre o período de 01/09/2011 a 31/08/2012, por ter apresentado a menor quantidade de falhas durante a coleta de dados, com apenas duas falhas de uma hora cada. Os dados foram agrupados por todos os tipos de veículo e todas as faixas para cada sentido da via, mantendo o intervalo de tempo original (5 minutos). Em seguida, foram formados os sinais discretos em função do tempo para os dados de fluxo de tráfego e velocidade veicular no período de um ano completo e cada mês analisado. Como exemplo, a Figura 2 apresenta os dados de fluxo de tráfego no período de um ano e a Figura 3, os dados de velocidade veicular.

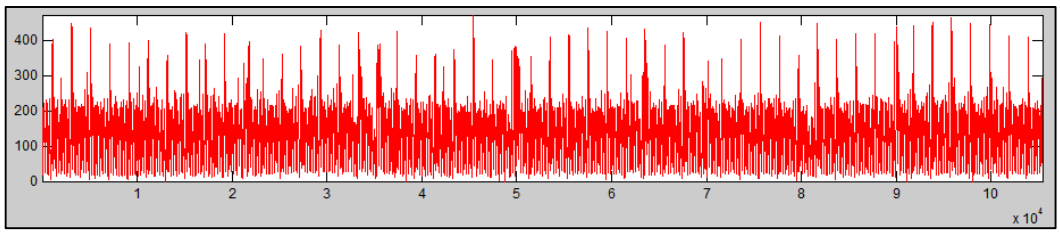


Figura 2: Fluxo de tráfego no sentido Leste no período de um ano completo na rodovia SP-280 km 51,9

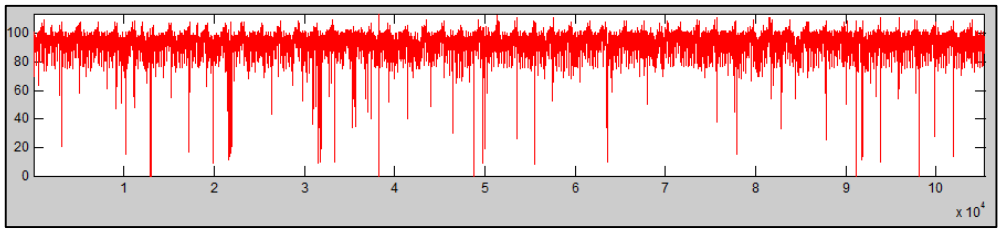


Figura 3: Velocidade veicular no sentido Leste no período de um completo na rodovia SP-280 km 51,9

3.2. Definição das propriedades da Transformada *Wavelet*

Para aplicar a Transformada *Wavelet* Discreta nos dados analisados são necessários definir dois aspectos, qual *Wavelet-Mother* será utilizada e quantos níveis de decomposição serão aplicados. Como os dados analisados são séries temporais com variações bruscas na frequência e em forma de degraus, há uma variação a cada ponto do sinal original, seja nos dados de fluxo ou de velocidade. Segundo Barbosa e Blitzkow (2008), a *Wavelet* de Haar é a mais indicada para tratar sinais com variação abrupta, portanto sendo a escolhida para o método.

Em seguida, para definir o nível de decomposição, foi necessário compreender o que resultaria do sinal a cada nível. Como o sinal original tem intervalo *t* de 5 minutos por ser originado dos dados da Rodovia Presidente Castelo Branco, cada nível de decomposição (*n*) redimensiona o sinal em uma nova janela de intervalo $t \cdot 2^n$. As janelas de cada nível são apresentadas na Tabela 1. Os níveis de coeficientes de detalhe analisados foram: 1 (10 minutos) e 2 (20 minutos) por serem as primeiras decomposições; 3 (40 minutos) e 4 (80 minutos) por serem os dois níveis mais próximos a uma hora; 8 (21 horas e 20 minutos) por ser a janela mais próxima a um dia e 11 (7 dias 2 horas e 40 minutos) por ser mais próximo a uma semana. No entanto, vale ressaltar que apesar da janela aumentar a cada nível de decomposição, a aplicação da Transformada *Wavelet* não acarreta em perda de informações do sinal original, independentemente do nível de decomposição. Ao utilizar a Transformada Inversa de *Wavelet* é possível reconstruir o sinal original.

Tabela 1: Escala da janela em cada nível

Nível (*n*)	**Janela de tempo (5×2^n)**
1	10 min
2	20 min
3	40 min
4	80 min (1h20min)
5	160 min (2h40min)
6	320 min (5h20min)
7	640 min (10h40min)
8	1.280 min (21h20min)
9	2.560 min (1dia18h40min)
10	5.120 min (3dias13h20min)
11	10.240 min (7dias2h40min)

3.3. Definição do *threshold*

O valor de *threshold* foi estimado em função do desvio padrão para cada nível de decomposição utilizando o *Visu-Shrink* de forma automática por uma função já implementada no Matlab. Em seguida, foi aplicado o *Hard-thresholding*, o que permitiu detectar os valores acima do limiar. No entanto, ao invés de serem tratados como ruídos esses valores foram definidos como anomalias no comportamento de tráfego e analisados conforme a Seção 3.4.

3.4. Detecção de anomalias

Foi investigado onde houve maior variação no comportamento do tráfego e essas variações foram classificadas como anomalias. O comportamento do tráfego veicular sofre variação temporal (ao longo do dia, semana, mês e ano), espacial (sentido e faixa de tráfego) e eventual, como jogos de futebol, shows, eventos regionais e feriados (DNIT, 2006). Para explorar as variações no comportamento do tráfego, foram definidos os critérios de avaliação:

a) **Variação temporal:** análise dos dados durante o período de um ano completo no mesmo sensor.
b) **Variação espacial:** análise dos dados no mesmo período, porém separados pelo sentido da rodovia (Leste e Oeste).
c) **Variação eventual:** verificação se as anomalias ocorreram em feriados e/ou os dias influenciados pelo mesmo, conforme o critério de Cunha (2007) apresentado na Tabela 2. Para classificar esse tipo de variação em relação ao restante dos outros dias da semana, foi definida uma classificação de dia eventual nas análises de resultados que abrange tanto os dias de feriado quanto os dias influenciados pelo mesmo. Para esta análise, foram considerados os feriados nacionais, estaduais e municipais da cidade de São Paulo, devido à localização do sensor (entre São Paulo e o interior, a 50 km de distância da capital). A Tabela 3 apresenta os feriados considerados para período dos dados: setembro/2011 a agosto/2012.

Tabela 2: Critérios de dias influenciados por feriados (Cunha, 2007)

Dia do feriado	Dias da semana influenciados
Domingo (dom)	sáb – dom – seg
Segunda-feira (seg)	sex – sáb – dom – seg – ter
Terça-feira (ter)	sex – sáb – dom – seg – ter – qua
Quarta-feira (qua)	ter – qua – qui
Quinta-feira (qui)	qua – qui – sex – sáb – dom
Sexta-feira (sex)	qui – sex – sáb – dom
Sábado (sáb)	sex – sáb – dom

Tabela 3: Feriados no período de setembro/2011 a agosto/2012

Data	Dia da Semana	Feriado
07/09/2011	quarta-feira	Independência do Brasil
12/10/2011	quarta-feira	Nossa Sra. Aparecida
02/11/2011	quarta-feira	Finados
15/11/2011	terça-feira	Proclamação da República
20/11/2011	domingo	Consciência Negra
25/11/2011	domingo	Natal
01/01/2012	domingo	Confraternização Universal
25/01/2012	quarta-feira	Aniversário de São Paulo
21/02/2012	terça-feira	Carnaval
22/02/2012	quarta-feira	Cinzas
06/04/2012	sexta-feira	Sexta-feira da Paixão
08/04/2012	domingo	Páscoa
21/04/2012	sábado	Tiradentes
22/04/2012	domingo	Descobrimento do Brasil
01/05/2012	terça-feira	Dia do Trabalho
13/05/2012	domingo	Dia das Mães
07/06/2012	quinta-feira	*Corpus Christi*
09/07/2012	segunda-feira	Revolução Constitucionalista de 1932
12/08/2012	domingo	Dia dos Pais

4. RESULTADOS

Foram analisados os sinais formados por cada mês separadamente no mesmo período de um ano. O objetivo de realizar essas duas análises distintas foi investigar se o tamanho do sinal original influencia na detecção de anomalias.

Comparando a análise anual com as análises mensais foi possível notar que o período mensal obteve maior número de anomalias do que o anual. Como o sinal de um ano é aproximadamente 12 vezes maior do que um sinal mensal, na análise anual sobressaíram apenas as anomalias que impactaram em relação ao ano todo. Pois na análise anual é definido apenas um *threshold* por nível de decomposição e para ser considerada uma anomalia, as oscilações devem estar acima desse valor limiar. Uma anomalia acima do *threshold* em relação ao mês em que ocorre, pode não ultrapassar o valor de *threshold* para o ano inteiro. Devido a essa diferença entre os resultados por período, e buscando analisar o máximo de informações, o método proposto para este artigo foi aplicado em sinais de menor período de tempo, realizando as análises apenas nos sinais mensais de um ano inteiro nos dados de fluxo e velocidade no sentido Leste e Oeste.

4.1. Anomalias nos dados de fluxo de tráfego

Os dados de fluxo de tráfego para os sentidos Leste e Oeste da rodovia estão apresentados nas subseções 4.1.1 e 4.1.2.

4.1.1. Sentido Leste

O sinal de um ano completo (01/09/2011 a 31/08/2012) foi separado em sinais mensais independentes. A Tabela 4 apresenta a distribuição percentual das anomalias para os quatro primeiros níveis de decomposição em cada dia da semana e nos feriados e os dias influenciados pelos mesmos, na categoria Eventual.

Tabela 4: Porcentagem de anomalias por tipo de dia a cada nível – Fluxo Leste

Dia	Nível 1 (%)	Nível 2 (%)	Nível 3(%)	Nível 4 (%)	Média (%)
Eventual	41,07	36,19	36,00	41,03	**38,57**
Dom	37,50	37,14	44,00	43,59	**40,56**
Seg	3,57	5,71	2,67	2,56	**3,63**
Ter	4,46	3,81	2,67	2,56	**3,38**
Qua	3,57	5,71	1,33	0,00	**2,65**
Qui	4,46	1,90	5,33	2,56	**3,57**
Sex	2,68	1,90	4,00	2,56	**2,79**
Sáb	2,68	7,62	4,00	5,13	**4,86**
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,00**

Os níveis apresentados na Tabela 4 são referentes as janelas sub-horárias, nível 1 (10 minutos) e nível 2 (20 minutos) e próximas a uma hora, nível 3 (40 minutos) e nível 4 (80 minutos). As anomalias detectadas do nível 1 ao 4 ocorreram em sua maioria nos dias eventuais (média de 38,57%) e aos domingos (média de 40,56%). Os sábados representaram média de 4,86%, enquanto os dias da semana (segunda à sexta-feira) somam 16%. O coeficiente de detalhe 8 apresentou 3 anomalias: 01/01/2012 às 21:15 (Eventual – Dom), 10/06/2012 às 18:35 (Eventual – Dom) e 09/07/2012 às 21:15 (Eventual – Seg), todas classificadas como feriado e duas delas (01/01/2012 e 10/06/2012) no domingo. Essas constatações indicam a influência dos domingos e feriados nas oscilações do fluxo de tráfego nesse período no sentido Leste dessa rodovia. Por fim, as anomalias definidas no nível 11 são apresentadas na Tabela 5.

Nota-se que de 13 semanas atípicas na análise mensal, 9 continham feriados, ou seja 69,2%. Isso reforça a influência do feriado e os dias da semana que o mesmo influencia na oscilação do tráfego veicular. As quatro ocorrências que não estão relacionadas a feriados, possivelmente, possuem vínculo com outros fatores que geram variações eventuais. A anomalia 10, por exemplo, pode estar relacionada as festividades juninas na região de análise enquanto as anomalias 12 e 13 podem estar relacionadas ao final das férias escolares e início do segundo semestre letivo.

Tabela 5: Anomalias no nível 11 – Fluxo Leste

	Anomalia	Feriado
1	08/10/2011 02:35 - 15/10/2011 05:15	SIM (12/10/2011)
2	22/10/2011 07:55 - 29/10/2011 10:35	NÃO
3	15/11/2011 05:15 - 22/11/2011 07:55	SIM (15/11/2011)
4	01/01/2012 00:00 - 08/01/2012 02:35	SIM (01/01/2012)
5	22/01/2012 07:55 - 29/01/2012 10:35	SIM (25/01/2012)
6	08/04/2012 02:35 - 15/04/2012 05:15	SIM (08/04/2012)
7	01/05/2012 00:00 - 08/05/2012 02:35	SIM (01/05/2012)
8	01/06/2012 00:00 - 08/06/2012 02:35	SIM (07/06/2012)
9	08/06/2012 02:35 - 15/06/2012 05:15	SIM (07/06/2012)
10	15/06/2012 05:15 - 22/06/2012 07:55	NÃO
11	08/07/2012 02:35 - 15/07/2012 05:15	SIM (09/07/2012)
12	22/07/2012 07:55 - 29/07/2012 10:35	NÃO
13	01/08/2012 00:00 - 08/08/2012 02:35	NÃO

4.1.2. Sentido Oeste

De forma similar, a Transformada *Wavelet* Discreta de Haar foi aplicada para cada mês separadamente nos dados de fluxo de tráfego para o sentido Oeste. A Tabela 6 traz a distribuição percentual de anomalias para os quatro primeiros níveis para cada tipo de dia.

Tabela 6: Porcentagem de anomalias por tipo de dia a cada nível – Fluxo Oeste

Dia	Nível 1 (%)	Nível 2 (%)	Nível 3(%)	Nível 4 (%)	Média (%)
Eventual	34,18	29,41	28,57	25,64	**29,45**
Dom	5,06	3,92	5,71	2,56	**4,32**
Seg	3,80	3,92	8,57	15,38	**7,92**
Ter	5,70	3,92	14,29	2,56	**6,62**
Qua	2,53	2,94	4,29	5,13	**3,72**
Qui	6,33	6,86	8,57	5,13	**6,72**
Sex	24,68	22,55	12,86	23,08	**20,79**
Sáb	17,72	26,47	17,14	20,51	**20,46**
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,00**

No sentido Oeste, as anomalias em média se concentraram nos feriados (29,45%), sextas-feiras (20,79%) e sábados (20,46%). Esses resultados indicam o impacto direcional do fluxo nos dias da semana. Como era de se esperar, os feriados ocorreram em ambos os sentidos da via, porém o sentido do tráfego mostrou uma diferença: no sentido Leste os feriados representaram média de 39% das oscilações, enquanto no sentido Oeste a média foi de 30%. A principal diferença dos resultados foi com relação aos dias da semana. Enquanto no sentido Leste as anomalias foram detectadas na maioria das vezes aos domingos, no sentido Oeste foram mais expressivas nas sextas-feiras e sábados. Com base nesses resultados foi possível avaliar de forma geral o comportamento do tráfego local. As anomalias nas sextas-feiras e sábados apontaram para um comportamento atípico nesses dias, que pode ser justificado pela viagem do usuário a lazer nos fins de semana. Quanto aos níveis 8 e 11 não foram observadas anomalias.

4.2. Anomalias nos dados de velocidade veicular

O mesmo método foi aplicado para os dados de velocidade veicular e descritos nos itens a seguir.

4.2.1. Sentido Leste

Os resultados obtidos para o sentido Leste da rodovia são apresentados na Tabela 7, que indica a porcentagem de anomalias para os quatro primeiros níveis em cada classificação de dia. Nota-se que os dados de velocidades apresentaram maior número de anomalias por nível analisado do que os resultados com o fluxo de tráfego. No entanto, os dados de velocidade mantiveram a concentração de anomalias similar a cada tipo de dia dos dados de fluxo: 68% foram classificadas como feriado ou domingo, sendo que a porcentagem de feriados caiu de 38,57% para 29,47% e o domingo de 40,56% para 38,75%, o que resultou em aumento percentual nas anomalias identificadas nos demais dias úteis.

Tabela 7: Porcentagem de anomalias por tipo de dia a cada nível – Velocidade Leste

Dia	Nível 1 (%)	Nível 2 (%)	Nível 3(%)	Nível 4 (%)	Média (%)
Eventual	24,55	29,17	30,83	33,33	**29,47**
Dom	40,91	36,31	37,50	40,28	**38,75**
Seg	4,55	10,71	12,50	8,33	**9,02**
Ter	7,73	5,36	5,00	2,78	**5,22**
Qua	4,09	2,98	1,67	4,17	**3,23**
Qui	9,09	8,33	8,33	6,94	**8,18**
Sex	4,09	4,76	1,67	0,00	**2,63**
Sáb	5,00	2,38	2,50	4,17	**3,51**
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,00**

No nível 8 de janela de tempo próximo a um dia (21 horas e 20 minutos) foram obtidas sete anomalias nos dados de velocidade (Tabela 8), ao invés de três obtidos com dados de fluxo de tráfego. Observa-se que três dessas anomalias correspondem a um dia de feriado, outras três o fim de tarde de domingo e a manhã de segunda-feira, e uma corresponde a um dia útil. Com base nesses resultados, é possível verificar que nas resoluções próximas a um dia, as anomalias também foram predominantemente feriados e domingos. No entanto, como a janela do nível 8 não abrange as 24 horas do dia, todos os domingos que foram definidos como anomalias, abrangeram o período noturno com a madrugada de segunda-feira, mostrando que as anomalias do domingo não ocorrem no período da manhã de domingo, entre o sábado e o domingo, até porque o fluxo de tráfego foi maior no período noturno do que no diurno.

Tabela 8: Anomalias no nível 8 – Velocidade Leste

	Anomalia	Dia
1	08/11/2011 23:55 - 09/11/2011 21:15	quarta-feira
2	18/12/2011 18:35 - 19/12/2011 15:55	domingo para segunda-feira
3	01/01/2012 00:00 - 01/01/2012 21:15	feriado
4	21/02/2012 10:35 - 22/02/2012 07:55	feriado
5	07/04/2012 23:55 - 08/04/2012 23:55	feriado
6	27/05/2012 15:55 - 28/05/2012 13:15	domingo para segunda-feira
7	15/07/2012 05:55 - 16/07/2012 02:35	domingo para segunda-feira

As anomalias definidas no nível 11 estão apresentadas na Tabela 9. Assim como os dados de fluxo, os de velocidade também definiram 13 semanas anômalas. Porém, para esses dados, cinco (38,46%) das anomalias identificadas ocorreram nos feriados e três em ocasiões relacionadas ao recesso de fim de ano (anomalia 4) e férias escolares (anomalias 6 e 7). Esses

resultados indicam que os dados de velocidade também determinaram anomalias, no entanto detectaram menos feriados que os dados de fluxo de tráfego (69,2%). Isso demonstra que a análise em dados de velocidade é mais sensível a detecção de anomalias em todos os tipos de dias do que os dados de fluxo de tráfego, pois apresentam uma variação distinta do sinal original e consequentemente nos coeficientes gerados a partir da Transformada *Wavelet*.

Tabela 9: Anomalias no nível 11 – Velocidade Leste

	Anomalia	Feriado
1	08/09/2011 02:35 - 15/09/2011 05:15	SIM (07/09/2011)
2	08/11/2011 02:35 - 15/11/2011 05:15	SIM (15/11/2011)
3	15/11/2011 05:15 - 22/11/2011 07:55	SIM (15/11/2012)
4	15/12/2011 05:15 - 22/12/2011 07:55	NÃO
5	01/01/2012 00:00 - 08/01/2012 02:35	SIM (01/01/2012)
6	08/01/2012 02:35 - 15/01/2012 05:15	NÃO
7	15/01/2012 05:15 - 22/01/2012 07:55	NÃO
8	08/03/2012 02:35 - 15/03/2012 05:15	NÃO
9	22/03/2012 07:55 - 29/03/2012 10:35	NÃO
10	08/04/2012 02:35 - 15/04/2012 05:15	SIM (08/04/2012)
11	15/05/2012 05:15 - 22/05/2012 07:55	NÃO
12	15/06/2012 05:15 - 22/06/2012 07:55	NÃO
13	15/07/2012 05:15 - 22/07/2012 07:55	NÃO

4.2.2. Sentido Oeste

Os resultados obtidos para análise de anomalia na velocidade veicular no sentido Oeste da rodovia estão na Tabela 10.

Tabela 10: Porcentagem de anomalias por tipo de dia a cada nível – Velocidade Oeste

Dia	Nível 1 (%)	Nível 2 (%)	Nível 3(%)	Nível 4 (%)	Média (%)
Eventual	20,44	26,06	24,14	32,26	**25,72**
Dom	20,99	11,97	17,24	9,68	**14,97**
Seg	18,23	19,01	12,64	14,52	**16,10**
Ter	10,50	11,27	10,34	12,90	**11,25**
Qua	4,97	0,00	0,00	4,84	**2,45**
Qui	4,97	7,04	12,64	9,68	**8,58**
Sex	9,39	14,79	10,34	4,84	**9,84**
Sáb	10,50	9,86	12,64	11,29	**11,07**
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,00**

Nota-se que os feriados continuam sendo os que mais concentram anomalias com média de 25,72%. Porém os dados de velocidade no sentido Oeste foram os dados que ficaram mais uniformemente distribuídos por tipo de dia. No nível 8 foram definidas seis anomalias (Tabela 11) e todas ocorreram no fim de semana, ao contrário dos níveis de menor escala (1, 2, 3 e 4). Ao contrário das janelas de menor resolução, ao analisar os dados de velocidade na escala de um dia, as anomalias correspondiam aos finais de semana.

Tabela 11: Anomalias no nível 8 – Velocidade Leste Mensal

	Anomalia	Dia
1	17/02/2012 21:15 - 18/02/2012 18:35	sexta-feira para sábado
2	25/03/2012 21:15 - 26/03/2012 18:35	domingo para segunda-feira
3	29/04/2012 10:35 - 30/04/2012 07:55	domingo para segunda-feira
4	14/07/2012 07:55 - 15/07/2012 05:15	sábado para domingo
5	27/07/2012 15:55 - 28/07/2012 13:15	sexta-feira para sábado
6	19/08/2012 15:55 - 20/08/2012 13:15	domingo para segunda-feira

Por fim, o nível 11 é apresentado na Tabela 12. É possível notar que apenas metade das anomalias continham períodos de feriado (6 de 12). Para os dados analisados, isso indicou que as resoluções em escalas menores foram mais suscetíveis aos dias da semana, enquanto janelas maiores (nível 8 e 11) foram mais suscetíveis aos fins de semana.

Tabela 12: Anomalias no nível 11 – Velocidade Oeste

	Anomalia	**Feriado**
1	08/09/2011 02:35 - 15/09/2011 05:15	SIM (07/09/2011)
2	01/11/2011 00:00 - 08/11/2011 02:35	SIM (02/11/2011)
3	08/11/2011 02:35 - 15/11/2011 05:15	SIM (15/11/2011)
4	15/11/2011 05:15 - 22/11/2011 07:55	SIM (15/11/2011)
5	22/11/2011 07:55 - 29/11/2011 10:35	NÃO
6	15/02/2012 05:15 - 22/02/2012 07:55	SIM (21 e 22/02/2012)
7	29/02/2012 23:55 - 08/03/2012 02:35	NÃO
8	08/05/2012 02:35 - 15/05/2012 05:15	NÃO
9	22/05/2012 07:55 - 29/05/2012 10:35	NÃO
10	01/06/2012 00:00 - 08/06/2012 02:35	SIM (31/05/2012)
11	15/06/2012 05:15 - 22/06/2012 07:55	NÃO
12	01/08/2012 00:00 - 08/08/2012 02:35	NÃO

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou o método exploratório para detectar anomalias em sinais de dados de tráfego veicular a partir da aplicação da Transformada *Wavelet*. O método foi aplicado em um sensor da Rodovia Presidente Castelo Branco (SP-280) em um período de um ano completo, em ambos sentidos da rodovia.

Entre o uso de sinal anual ou mensais , os resultados indicaram que analisar os meses separadamente concentra maior número de anomalias, pois na análise anual sobressaíram apenas as anomalias que impactaram em relação ao ano todo. Conclui-se que um mesmo sinal dividido e analisado em períodos menores concentra mais anomalias, portanto o tamanho do sinal original influencia na detecção de anomalias.

Os resultados também indicaram que os primeiros níveis de decomposição mostraram maior número de anomalias por apresentarem as menores resoluções das janelas, as quais correspondem as análises sub-horárias (nível 1 e 2) e horárias (nível 3 e 4). No nível 8, no qual a janela de tempo comparada ao sinal original representa 21 horas e 20 minutos, as anomalias indicaram os dias com comportamento atípicos em relação aos outros do período analisado. E no nível 11 a janela é próxima a uma semana (7 dias 2 horas e 40 minutos) e esse resultado indicou a semana com mais oscilações em relação ao sinal analisado, seja mensal ou anual. Sendo assim, conclui-se que os primeiros níveis de decomposição detectaram maior número de anomalias e conforme aumentou o nível de decomposição essas anomalias foram filtradas.

Por fim, nas análises por sentido da via foi possível avaliar de forma geral o comportamento do tráfego local, sendo que no sentido Leste (Interior – Capital) a maior concentração de anomalias ocorreu nos feriados e domingos e no sentido Oeste (Capital – Interior) nos feriados, sextas-feiras e sábados, ressaltando o impacto direcional no comportamento do tráfego. Portanto, concluí-se que o fluxo direcional influencia diretamente a concentração de anomalias por tipo de dia da semana.

Agradecimentos
Os autores agradecem o apoio da CAPES pelo suporte financeiro sob a forma de bolsas de mestrado. Os autores também agradecem à ARTESP e às concessionárias ViaOeste e AutoBan pela disponibilização dos dados de tráfego.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adeli, H.; Samant, A. (2000). An adaptive conjugate gradient neural network–wavelet model for traffic incident detection. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 15, n. 4, p. 251-260, 2000.

Barbosa, A. C. B.; Blitzkow, D.(2008) *Ondaletas: Histórico e Aplicação*. 39p. Apostila. IAG-USP, São Paulo, SP.

Castro-Neto, M.; Jeong, Y. S.; Jeong, M. K.; Han, L. D. (2009) Online-SVR for short-term traffic flow prediction under typical and atypical traffic conditions. *Expert systems with applications*, v.36, n.3, p.6164-6173, 2009

Cunha, A. L. B. N. (2007) *Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões*. 147p. Dissertação (mestrado), EESC-USP, São Carlos, SP.

Dias, M. H. C. (2003) *Estimação das respostas do canal real de propagação rádio-móvel nos domínios espacial e temporal*. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.

Donoho, D. L.; Johnstone, I. M. (1994). Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. *Biometrika*, v. 81, n. 3, p. 425-455, 1994. DOI: 10.2307/2337118.

Faria, R. R. A. (1997) *Aplicação de Wavelets na análise de gestos musicais em timbres de instrumentos acústicos tradicionais*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Ghosh-Dastidar, S.; Adeli, H. (2003). Wavelet-clustering-neural network model for freeway incident detection. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v.18, n. 5, 325-338, 2003.

Guido, R. C.; Slaets, J. F. W. e Almeida, L. O. (2012) Processamento Digital de Sinais: *Wavelet*s x Fourier. *Revista Saber Eletrônica*, n°466, 20-24, Novembro/Dezembro 2012.

Jeong, Y. S.; Castro-Neto, M.; Jeong, M. K. and Han, L. D. (2011) A *Wavelet*-based freeway incident detection algorithm with adapting *threshold* parameters. *Transportation Research Part C.*

Karim, A.; Adeli, H. (2002). Incident detection algorithm using wavelet energy representation of traffic patterns. *Journal of Transportation Engineering*, v. 128, n. 3, p. 232-242, 2002.

Karim, A.; Adeli, H. (2003). Fast automatic incident detection on urban and rural freeways using wavelet energy algorithm. *Journal of Transportation Engineering*, v. 129, n. 1, p. 57-68, 2003.

Mallat, S. G. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 11, n. 7, p. 674-693.

Mohan, D. M.; Asif, M. T.; Mitrovic, N.; Dauwels, J. e Jaillet, P. (2014) *Wavelet*s on graphs with application to transportation networks. *17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, p. 1707-1712, Qingdao, China.

Morettin, P. A. (1999). *Ondas e Ondaletas: da análise de Fourier à análise de ondaletas*. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 272 p., 1999.

Oliveira, H. C. R. (2016) *Proposta de redução da dose de radiação na mamografia digital utilizando novos algoritmos de filtragem de ruído Poisson*. Dissertação (mestrado), EESC-USP, São Carlos, SP.

Ribeiro, E. R.; Cunha, A. L. B. N. (2016). Análise exploratória de método para definição de dia típico utilizando transformada wavelet e análise de agrupamento. *XXX Congresso de Pesquisa e ensino em Transportes ANPET*. Rio de Janeiro, RJ, p. 1502-1513.

Samant, A.; Adeli, H. (2000). Feature extraction for traffic incident detection using wavelet transform and linear discriminant analysis. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 15, n. 4, 241-250, 2000.

Teng, H.; Qi, Y. (2003) Application of wavelet technique to freeway incident detection. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 11, n. 3, p. 289-308, 2003. DOI: 10.1016/S0968-090X(03)00021-4.

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

Zheng, Z.; Ahns S.; Chend D.; Laval J. (2011) Applications of *Wavelet* transform for analysis of freeway traffic: Bottlenecks, transient traffic, and traffic oscillations. *Transportation Research Part B: Methodological*, v.45, n°2, p. 372-384, 2011.

Zheng, Z.; Washington, S. (2012) On selecting an optimal *Wavelet* for detecting singularities in traffic and vehicular data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 25, p. 18-33.

Elaine Rodrigues Ribeiro (elainerribeiro@usp.br)
Prof. Dr. André Luiz Cunha (alcunha@usp.br)
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Transportes.

COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO DE MODELOS DE UMA RODOVIA DE PISTA SIMPLES NO SIMULADOR VISSIM: GOOGLE EARTH X LASER SCANNER

Lucas Paim De Maman
Douglas Zechin
Felipe Caleffi
Daniel Sergio Presta García
Helena Beatriz Bettella Cybis
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Laboratório de Sistemas de Transportes

RESUMO
A malha rodoviária brasileira é constituída predominantemente de rodovias de pista simples. Entretanto, existem poucos estudos sobre o comportamento de veículos em regiões montanhosas. Dados de geometria de rodovias são comumente obtidos por meio de plataformas como o *Google Earth*, contudo sua precisão pode ser insuficiente para uma boa representação em regiões montanhosas. O *software* de simulação de tráfego VISSIM, desde sua oitava versão, permite a simulação de ultrapassagens em sentido oposto. Este artigo faz uso do *software* VISSIM para comparar o desempenho de modelos gerados com dados de geometria da rodovia ERS-115 obtidos através do *Google Earth* e por meio de levantamento a *Laser*.

ABSTRACT
The Brazilian road network consists predominantly of two-lane highways. However, there are few studies on the behavior of vehicles in mountainous regions. Road geometry data are commonly obtained through platforms such as Google Earth, but their accuracy may be insufficient for good representation in mountainous regions. VISSIM traffic simulation software, since its eighth version, allows simulation of overtaking in the opposite lane. This article makes use of VISSIM software to compare the generated models' performance with ERS-115 highway geometry data obtained through Google Earth and through *Laser* scanning.

1. INTRODUÇÃO

A malha rodoviária brasileira é constituída por 1.720.756 km das quais 99,64% são rodovias de pista simples (CNT, 2016). Grande parte dos problemas operacionais em rodovias brasileiras ocorre em rodovias de pista simples. Entretanto, a literatura sobre rodovias de pista simples é escassa.

Os processos de codificação de modelos de simulação, que requerem informações planimétricas e altimétricas das rodovias, são, na prática, frequentemente baseados em dados públicos como Google Earth. Estas fontes, em grande parte das situações, fornecem dados adequados para subsidiar avaliações de desempenho viário por meio de processos de simulação de tráfego. Entretanto, estes dados podem apresentar imprecisões significativas em regiões acidentadas. Em particular, dados altimétricos tendem a apresentar distorções de maior magnitude. Em regiões acidentadas, o desempenho dos veículos é altamente dependente da declividade das rampas e dos raios das curvas. Erros na apropriação destas informações podem comprometer a qualidade da avaliação de desempenho fornecida pelos modelos de tráfego.

Existem poucos estudos sobre o comportamento de veículos em regiões montanhosas. Sendo assim, a combinação de rodovias de pista simples com região montanhosa é ainda mais restrita em função da falta de embasamento teórico consagrado. Neste contexto, é fundamental dedicar esforços para representar adequadamente o comportamento do tráfego neste tipo de rodovia. Modelos microscópicos de tráfego têm sido crescentemente utilizados

para avaliação de desempenho do sistema viário, entretanto a disponibilidade de ferramentas adequadas para simular manobras de ultrapassagem na pista de sentido oposto é restrita.

O *software* VISSIM (PTV, 2015) incorporou, em versão recente, a modelagem de manobras de ultrapassagem no sentido oposto. Esta particularidade, associada ao modelo de comportamento dinâmico de veículos em rampas, credencia este modelo a avaliar o desempenho de rodovias de pista simples em terrenos acidentados, um perfil de rodovia de avaliação complexa, mas muito frequente na malha rodoviária brasileira.

Tendo em vista as distorções dos dados planimétricos e altimétricos de uma rodovia obtidos por meio do *Google Earth*, este artigo tem os seguintes objetivos: (i) proposição de um procedimento para codificação de uma rodovia de região montanhosa, com correção das distorções observadas; (ii) comparação entre resultados da simulação de tráfego da codificação derivada dos dados de *Google Earth* com a codificação baseada em um levantamento realizado a *Laser* do mesmo trecho. A simulação de tráfego foi realizada com o *software* VISSIM (versão 8).

2. CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO EM ESTUDO

O trecho de estudo refere-se ao segmento da rodovia ERS-115 que liga as cidades de Três Coroas-RS (Início) e de Gramado-RS (Fim), com cerca de 700 m de diferença de altitude. A Figura 1 ilustra o trecho em estudo em projeção horizontal.

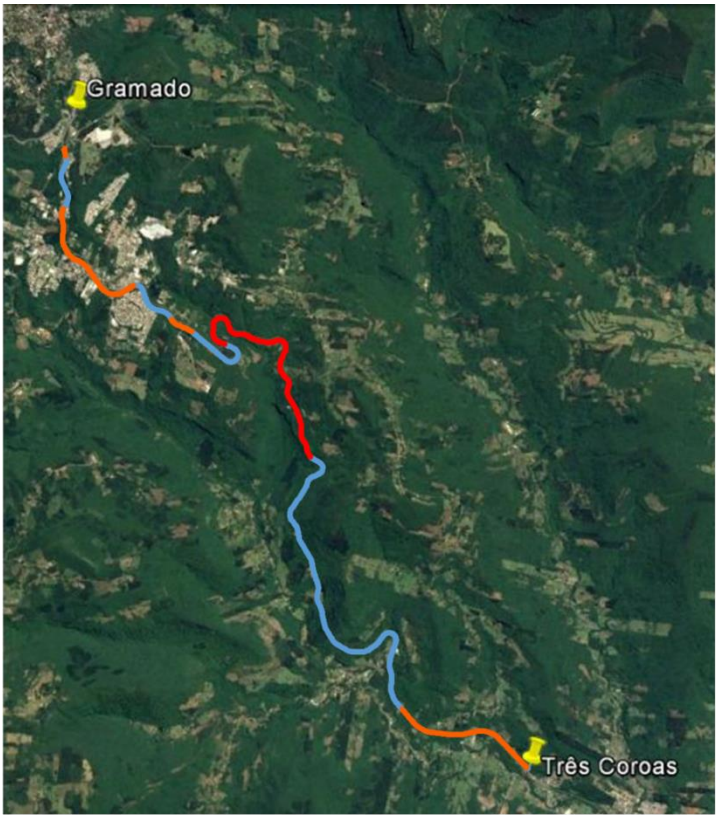


Figura 1: Imagem de satélite do trecho em estudo (*Google Earth*)

De acordo com as classificações observadas em DAER (1991), a região pode ser identificada como montanhosa de Classe III com rampa máxima de 7%. O segmento é de pista simples e possui 16 km de extensão, sendo que aproximadamente 50% do sentido Três Coroas/Gramado (majoritariamente em aclive) possui terceira faixa. O trecho representado em vermelho é considerado crítico por não possuir terceira faixa, além de ser um trecho sinuoso. A região mais próxima a Gramado insere-se em uma zona de perímetro urbano.

3. METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta a metodologia aplicada para comparação de resultados de simulação no trecho. Ele está dividido em obtenção dos dados por meio de levantamento a *Laser* e pelo *Google Earth*, cálculo das visibilidades, geração dos modelos no VISSIM e definição dos cenários de avaliação.

3.1. Dados obtidos por meio de levantamento a *Laser*

O *Laser scanner* veicular tem por características: (i) coleta massiva de dados, (ii) atividade em velocidade de trânsito, (iii) alta produtividade (300 km/dia) e elevada precisão (±8 mm). Para cada dia de levantamento, é necessário um dia de processamento e uma semana para análise e depuração dos dados. Outra limitação do método decorre do tamanho dos arquivos: 1 km de levantamento pode chegar a 1 GB de informações.

No presente estudo, utilizou-se o levantamento por *Laser scanner* da rodovia ERS-115 realizado pelo consórcio de empresas SD – Consultoria e Engenharia Ltda., STE – Serviços Técnicos de Engenharia S/A e Dynatest – Engenharia Ltda. contratado pela EGR – Empresa Gaúcha de Rodovias no ano de 2014. Na Figura 2, observa-se o detalhe em planta de curvas horizontais reversas. A modelagem (triangulação em verde) apresenta planos com faces inferiores a 10 cm. Esta modelagem foi considerada como representativa da realidade do trecho.

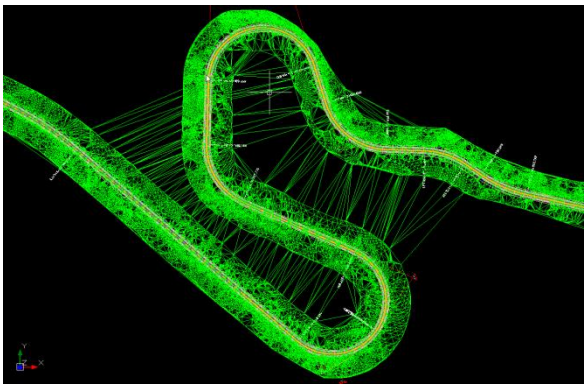


Figura 2: modelo digital do terreno obtido por *Laser scanner* veicular.

3.2. Obtenção dos perfis planimétrico e altimétrico do trecho pelo *Google Earth*

O traçado geométrico foi obtido por meio da ferramenta de roteamento do *Google Earth* e exportado em arquivo *Keyhole Markup Language* (KML) para tratamento. O perfil altimétrico foi obtido por meio de *Application Programming Interface* (API) do *Google* para as mesmas coordenadas dos pontos do traçado geométrico.

Os perfis extraídos diretamente do *Google Earth* possuem distorções em relação à suavidade, visto que são obtidos por tecnologias de GPS e satélite (Benker et al., 2014). É importante ressaltar também que os dados possuem variação temporal, conforme provável atualização das imagens (Mohammed et al., 2013). Por conta disso, as imprecisões foram suavizadas de modo que se aproximassem de um perfil razoável, com o menor número possível de ruídos.

3.2.1. Tratamento do perfil planimétrico

O perfil planimétrico fornecido pelo *Google Earth* foi inspecionado visualmente e nenhuma distorção foi percebida. Com o intuito de evitar potenciais desalinhamentos entre pontos e garantir sua continuidade e uniformidade, aplicou-se média móvel com período 5 para suavizar os dados e admitiu-se distância mínima de 5 m entre pontos sucessivos (equivalente a um quarto de estaca).

3.2.2. Tratamento do perfil altimétrico

O perfil altimétrico apresentou grande incidência de ruídos com algumas rampas da ordem de 25%. Tal fato é incompatível com uma rodovia de Classe III em região montanhosa, cuja rampa máxima é de 7% (DAER, 1991). Por conta disso, aplicou-se uma regressão local não paramétrica LOESS (SAS, 2008) no trecho, com a restrição de que no máximo 5% das rampas fossem superiores a 7%. A Figura 3 mostra a comparação entre os perfis altimétricos extraídos diretamente do *Google Earth* e LOESS para o trecho intermediário destacado em vermelho na Figura 1:

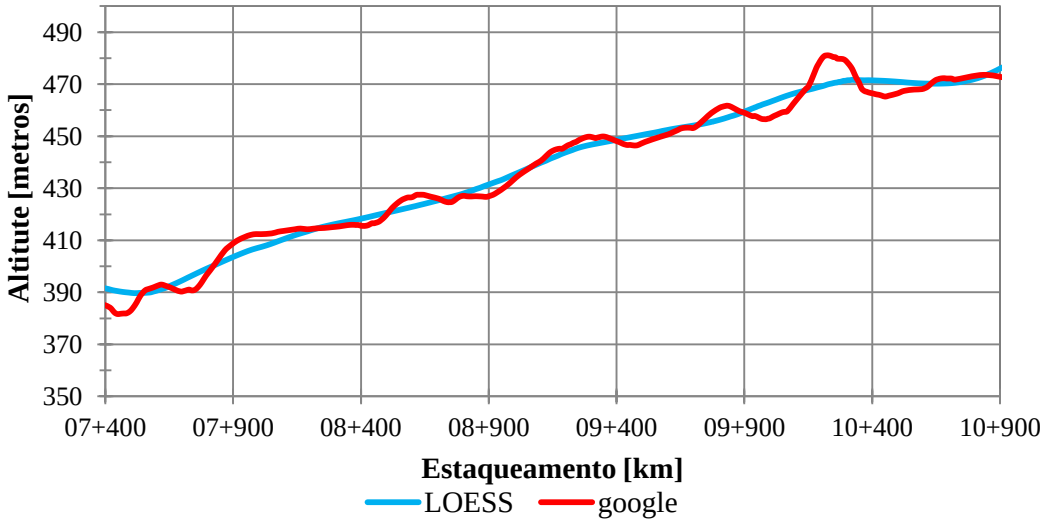


Figura 3: Perfil altimétrico LOESS x *Google Earth* (segmento do trecho)

Nota-se que esta metodologia reduziu as oscilações das cotas, aproximando o perfil do que se espera de um projeto de rodovia. A Figura 4 apresenta as distribuições de rampas no trecho, ponderadas pela distância entre os pontos correspondentes.

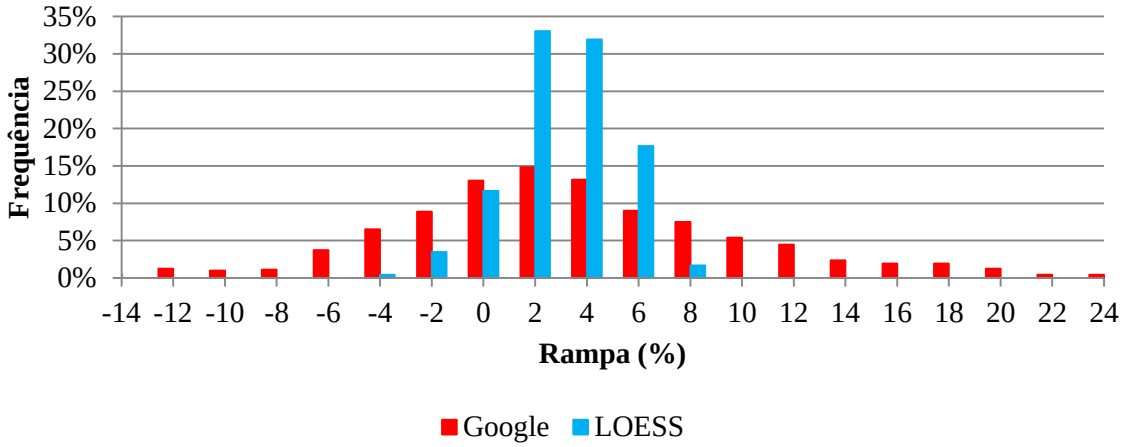


Figura 4: Rampas LOESS x *Google Earth*

Após a aplicação da técnica, percebe-se a adequação do perfil às características de rampa esperadas para um segmento com sua classificação (rampas variando entre -2% e 8%, sendo que a grande maioria encontra-se entre 2% e 4%). Sendo assim, partiu-se para a análise de visibilidade dos pontos do traçado geométrico, fator importante para viabilidade de ultrapassagens no sentido oposto.

3.3. Visibilidade

O Contran (2007) preconiza que a ultrapassagem deve ser proibida a partir dos pontos onde se constata distância de visibilidade igual ou menor a 160 m para o trecho em estudo. Além disso, deve haver uma distância mínima entre dois trechos de proibição de ultrapassagem igual à mesma distância de visibilidade, de modo a existir espaço suficiente para que a manobra seja concluída com segurança.

A visibilidade deve ser avaliada de duas formas: planimétrica e altimétrica. A visibilidade planimétrica é investigada considerando o alinhamento horizontal e a largura transversal da plataforma, enquanto que a visibilidade altimétrica está relacionada apenas ao perfil de cotas e altura de visada.

3.3.1. Obtenção da visibilidade planimétrica

A obtenção da visibilidade planimétrica foi feita a partir do alinhamento horizontal com o uso da Equação 1 (García *et al.* ,2015) ponto a ponto:

$$C = \sqrt{8.r.f - 4.f^2} \qquad (1)$$

em que *C:* corda de visibilidade [m];
f: flecha [m], equivalente à semiplataforma de rodagem;
r: raio [m].

A flecha (equivalente à semiplataforma de rodagem) utilizada variou entre 5,5 m (3,5 m de largura de faixa mais 2 m de largura do acostamento) e 9 m (2 faixas de 3,5 m mais 2 m de acostamento), dependendo da posição, sentido, direção da curva e ocorrência ou não de

terceira faixa. O cálculo dos raios foi realizado a partir da equação do raio circunscrito em um triângulo, que envolve o semiperímetro e outros parâmetros geométricos (Johnson, 2013), ponto a ponto, visto que não se tinha acesso ao projeto geométrico com os dados de raio de curvatura simples e/ou de transição. Portanto, foram utilizados três pontos consecutivos no método e o raio foi atribuído ao ponto central.

3.3.2. Obtenção da visibilidade altimétrica

A visibilidade altimétrica possui deficiência de avaliação pelas normas vigentes no Brasil. O procedimento adaptado pelas Normas (Contran, 2007; DNIT, 2010) traz inconsistências devido à diferença de escalas vertical e horizontal e ao uso de gabarito (Santos *et al.*, 2014). Para superar este inconveniente, desenvolveu-se um algoritmo próprio em *Visual Basic for Applications* no MS Excel. O algoritmo faz uma análise em *loop* ponto a ponto da distância de visada. A altura de visada é de 1,2 m (DNIT, 2010). O critério de parada do *loop* é a existência de pontos intermediários que bloqueiam a visibilidade. Sendo assim, a distância de visibilidade é a calculada no *loop* anterior.

3.4. Geração do modelo computacional no *software* VISSIM

As análises foram feitas por meio do *software* de microssimulação VISSIM. Para tal, fez-se necessária a criação de um modelo computacional do trecho por meio da interface do simulador. Como se trabalhou com um trecho relativamente longo para os padrões de microssimulações em terreno montanhoso, optou-se por utilizar a interface COM para sua modelagem por meio da linguagem de programação Python.

3.4.1. Segmentação

A representação dos trechos no VISSIM é feita pela criação de *links*, os quais representam aspectos geométricos homogêneos da via (número e largura de faixas, possibilidade ou não de ultrapassagem e visibilidade para ultrapassagem) e de comportamento geral dos usuários. Portanto, é necessário que essa segmentação seja feita antes de criar o modelo computacional no programa.

A lógica adotada para a segmentação dos trechos foi: (i) a existência combinada ou não de 3ª faixa, (ii) possibilidade ou não de ultrapassagem e (iii) trecho em curva. Estes dados foram obtidos pelas imagens fornecidas pelo *Google Earth* e compatibilizados com os dados de geolocalização obtidos anteriormente.

3.4.2. Visibilidade para ultrapassagem

Nos trechos resultantes da segmentação onde se verifica a possibilidade de ultrapassagem, relacionou-se o valor de visibilidade média segundo o exposto na seção 4.3.

3.4.3. Zonas de redução de velocidade (ZRVs)

O *software* utilizado não contempla, em sua análise interna, a redução de velocidades em curvas decorrente de variação de raios de curvatura. Dessa forma, faz-se necessária a criação de ZRVs nas curvas para representar o comportamento dos veículos da melhor forma possível.

A literatura reporta diversos esforços para definir modelos de previsão de velocidade do 85º percentil (V85) em curvas (Hashim et al., 2016; Shallama, e Ahmedb, 2016). García (2002) produziu modelos de V85 em função do raio das curvas horizontais para rodovias brasileiras,

inclusive para o trecho em estudo. O trabalho traz em seus anexos os dados de velocidade coletados atrelados aos raios de curvatura de onde foram medidos. Na falta de um levantamento em campo de velocidades mais recente, admitiu-se que, mesmo com a evolução tecnológica dos veículos desde a publicação do estudo, a percepção de segurança dos usuários em curvas prevalece, tornando válido o uso desses perfis de velocidade. A Equação 2 representa o modelo referenciado.

$$V_{85} = 91{,}084 - \frac{2168{,}678}{R} \quad (2)$$

em que V_{85}: percentil 85 das velocidades praticadas [km/h];
R: raio da curva horizontal [m].

O software VISSIM requer que se insira uma distribuição de velocidade desejada e não um único valor médio por ZRV. Como o modelo do referido autor possui R^2=0,53, indicando boa correlação entre velocidades praticadas e raio de curvatura horizontal, valeu-se dos dados coletados por ele para a criação de distribuições de velocidades em função dos raios. O modelo de García (2002) é menos sensível quanto maior for o raio em questão, portanto foram criadas distribuições de velocidade desejada diferentes para velocidades variadas a cada 5 km/h para alcançar-se uma boa discretização. Além disso, foram produzidas distribuições de velocidade desejada nas ZRVs diferentes para veículos leves e pesados a partir dos dados coletados em campo por García (2002).

3.4.4. Composição e características da frota

Como o estudo proposto não tem por objetivo a calibração do tráfego, foram utilizados os valores *default* do *software* para o comportamento dos motoristas e para as distribuições de potência e velocidade dos veículos. García (2002) observou 4% de veículos pesados (ônibus e caminhões) na composição de frota do trecho, portanto a frota simulada foi segregada em 96% de veículos leves e 4% de veículos pesados. Adotou-se distribuição de velocidade desejada *default* do VISSIM de 80 km/h para veículos leves e de 60 km/h para veículos pesados.

3.4.5. Efeito do greide no software VISSIM

O VISSIM possui distribuições-padrão para acelerações e desacelerações com limites superiores e inferiores em função da velocidade em que se encontra o veículo (quanto maior a velocidade, menor a aceleração). Para veículos pesados, o software considera a relação potência/peso para definir a aceleração máxima do veículo (importante para manter velocidades em aclives). Além disso, o VISSIM aplica um fator de correção para aceleração máxima de 0,1 m/s² para cada ponto percentual de greide (negativo para aclive e positivo para declive). Sendo assim, veículos pesados em aclives aceleram de forma que não superem a aceleração máxima conforme sua relação potência/peso e sua velocidade atual até um ponto em que sua aceleração máxima resultante da combinação entre relação potência/peso e velocidade atual atinja equilíbrio com a demanda do aclive.

3.5. Definição de cenários e resultados das simulações

Como qualificação dos resultados em função dos aspectos geométricos, foram utilizados dados de traçado planimétrico e altimétrico obtidos pelo levantamento *Laser*. O desempenho dos veículos foi, então, confrontado com as duas situações (*Laser* x LOESS). Os dados *Laser*

foram obtidos por levantamento realizado pela Empresa Gaúcha de Rodovias (EGR) e disponibilizados para esta pesquisa. A precisão do levantamento é fiel à realidade, portanto foi utilizado como *benchmark* para o estudo e como balizador para o desempenho da rede codificada a partir do *Google Earth*. A metodologia empregada para a geração das ZRVs, visibilidade e segmentação dos *links* foi replicada para o levantamento *Laser*.

3.5.1. Cenários de simulação

Com o objetivo de comparação do desempenho das redes codificadas, foram criados 4 Cenários. Os Cenários 1 e 2 têm como objetivo avaliar o perfil de velocidades dos veículos e os Cenários 3 e 4 permitem uma comparação do seu desempenho pelos tempos de viagem. Todos os Cenários foram simulados no modelo gerado a partir do *Google Earth* (identificados pela letra "G") e no modelo gerado por meio dos dados de *Laser* (identificado pela letra "L"). Todos os Cenários foram simulados durante 10800 s (3 h) para assegurar o *warming up* da malha e replicados três vezes (*multirun*) em cada modelo para garantir uma maior consistência nos resultados.

Cenários 1 e 2

Os Cenário 1 e 2 foram feitos com frota composta exclusivamente de veículos leves e pesados, respectivamente, com volumes baixos (50 veículos/h) para o sentido Três Coroas/Gramado (subida). A motivação destes Cenários é coletar dados de tempo de viagem e velocidade média a cada 25 m sem que haja a formação de pelotões e a interferência das velocidades desejadas de um veículo sobre a dos demais. Isso permite comparar a diferença de desempenho dos modelos gerados a partir da metodologia desenvolvida no que se refere ao impacto geométrico, podendo-se identificar diferenças na modelagem ponto-a-ponto.

A Figura 5 relaciona o perfil de velocidades médias coletados a cada 25 m e as velocidades esperadas calculadas pelo modelo de Garcia (2002). Foi apresentado apenas um segmento do trecho para uma melhor visualização das velocidades.

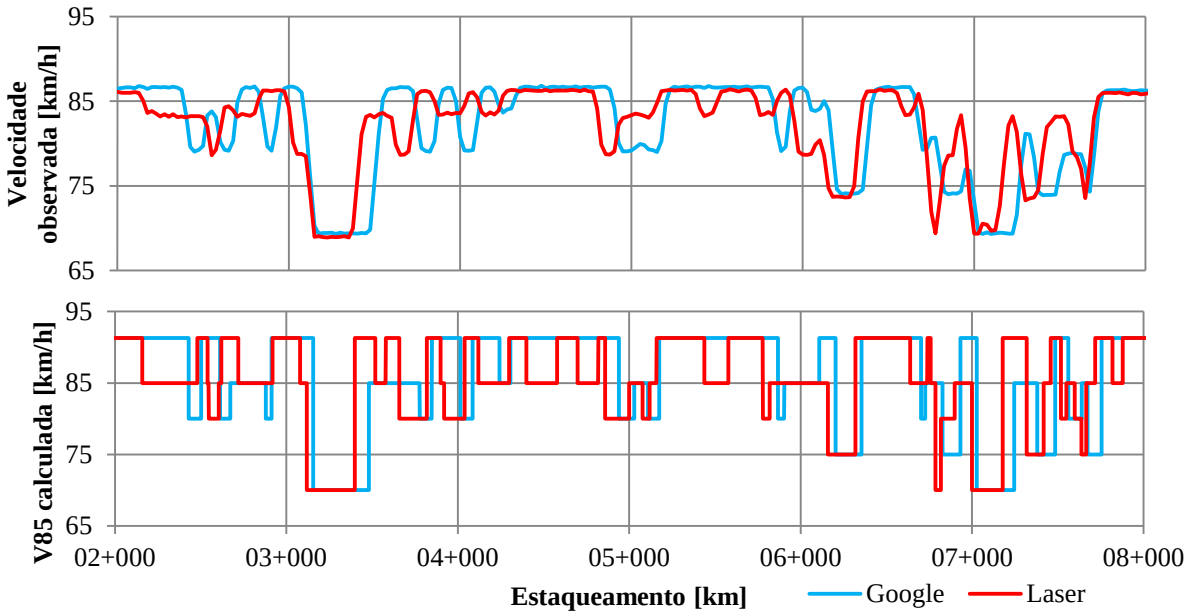


Figura 5: Velocidade observada e V_{85} calculada x Estaqueamento

Observa-se que os perfis de velocidade possuem comportamento semelhante e que, a priori, são equivalentes. O coeficiente de correlação de Spearman rank (ρ_S) foi utilizado para avaliar estatisticamente a correlação entre os perfis (Zar, 1972). Este coeficiente é uma medida não paramétrica de dependência estatística entre duas variáveis. Ele avalia o quão bem a relação entre duas variáveis pode ser descrita usando uma função monotônica. Um coeficiente de correlação de classificação Spearman igual a 1 representa uma correlação perfeita, enquanto uma pontuação próxima a zero representa uma relação fraca entre duas variáveis. O coeficiente de correlação Spearman rank pode ser estimado usando a seguinte equação:

$$\rho_S = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^{n} {d_i}^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3)$$

em que d_i: diferença entre as classificações de observação i;
n representa o número de observações no conjunto de dados de validação.

Para estes perfis, obteve-se um coeficiente de correlação ρ_S de 0,607. As diferenças entre os perfis foram analisadas ponto-a-ponto e confrontadas com os modelos construídos no simulador para identificação de suas causas. Observou-se que a diferença de velocidade entre os modelos deve-se à inexistência de ZRVs em um deles, ou que, havendo ZRVs nos dois modelos, a velocidade desejada aplicada à zona diferiu em virtude dos raios geométricos das curvas (planimetria).

Além disso, foi criado um Cenário alternativo sem ZRVs para avaliar o impacto das rampas nos modelos construídos, apresentado na Figura 6.

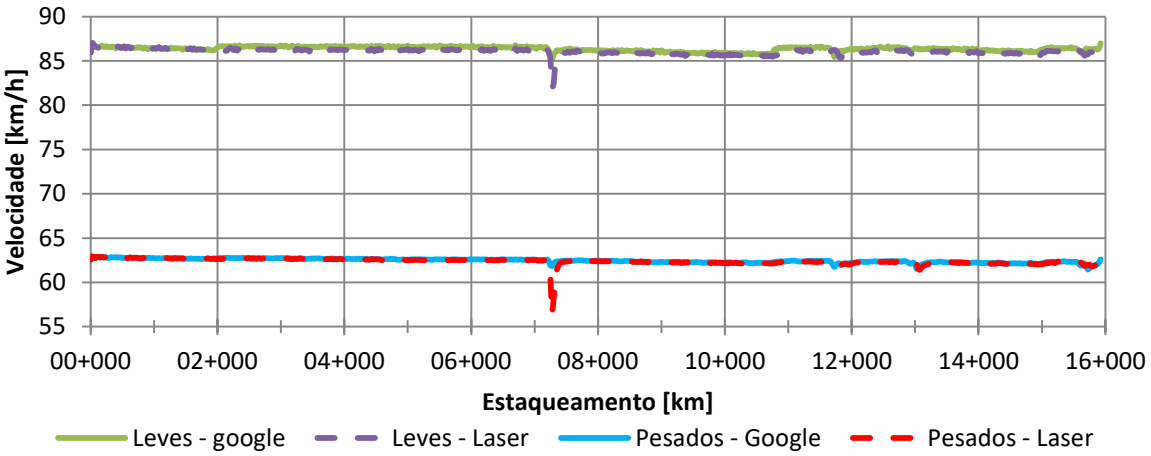


Figura 6: Velocidade média x Distância percorrida para veículos leves e pesados

Essa análise apresentou uma diferença média entre os perfis de velocidade de 0,3%, com um coeficiente de correlação ρ_S de 0,816 para veículos leves e 0,965 para veículos pesados. O fato de a diferença de velocidade ser pequena e os patamares permanecerem estáveis em valores próximos à velocidade desejada indica que as flutuações das velocidades observadas na Figura 5 estão ligadas ao impacto das curvas (planimetria), representadas pelas ZRVs.

Cenários 3 e 4

Nestes Cenários, as simulações foram feitas utilizando-se volumes mais próximos aos volumes prováveis para os trechos. Foram simulados 1200 veículos/h no total, divididos entre os fluxos direcionais da rodovia (*split*). Para o Cenário 3, inseriu-se 70% do total de veículos no sentido T-G e 30% no sentido G-T. O Cenário 4 recebeu 70% no sentido G-T e 30% no sentido T-G. A métrica empregada para avaliação do desempenho dos modelos foi o tempo de viagem. A **Tabela 1** apresenta os resultados obtidos para o trecho completo.

Tabela 1: Tempo de viagem (trecho completo)

Sentido	G-T				T-G			
Split	70%		30%		70%		30%	
Dado	L	G	L	G	L	G	L	G
Média (s)	833,88	836,95	894,95	902,81	773,52	766,70	748,06	734,80
Desvio padrão (s)	9,38	9,49	5,36	5,85	3,77	3,73	2,54	3,89

A partir da média e do desvio padrão dos tempos de viagem obtidos, percebe-se que não existem grandes diferenças entre os modelos construídos. Essa semelhança é consistente para todos os cenários, indicando que os dois modelos são equivalentes.

Como o sentido G-T (descida) não possui 3ª faixa, a média dos tempos de viagem e o desvio padrão são maiores em relação ao sentido oposto, que possui 3ª faixa. Tal fato decorre da dispersão dos pelotões nas terceiras faixas, uma vez que se permite que mais veículos leves retornem à sua velocidade desejada.

Observa-se que na descida (G-T) os tempos de viagem foram menores quando se tinha volumes menores no sentido oposto, indicando que o aumento no número de brechas propicia uma maior ocorrência de ultrapassagens. Portanto, o *split* de veículos no sentido oposto é determinante para o desempenho dos veículos no sentido G-T.

O sentido de subida (T-G) apresentou a situação contrária, com tempos de viagem menores na situação onde o volume de tráfego do sentido oposto era maior. Isso indica que, neste caso, o desempenho geral do trecho não é afetado majoritariamente pela existência de segmentos com ultrapassagem permitida, mas sim pela dissipação de pelotões que ocorre nas terceiras faixas, ocorrência exclusiva neste sentido.

Dados de tempos de viagem foram extraídos de um trecho crítico de 3,5km constituído apenas de pista simples (destacado em vermelho na Figura 1) para comparação do desempenho dos veículos sem a possibilidade de ultrapassagem por terceira faixa. A análise dos resultados é análoga ao trecho completo, apresentando as mesmas relações entre médias de tempo de viagem. Portanto, no sentido de subida, os pelotões são dissipados a montante do trecho pela existência de um segmento longo de terceira faixa e são observados menores tempos de viagem. Já para o sentido de descida, os pelotões não são dissipados suficientemente pelas zonas com permissão de ultrapassagem, portanto os tempos de viagem são maiores em ambos os *splits*, principalmente para 30%, em que há 70% do volume no sentido oposto, dificultando a ocorrência de brechas. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Tempo de viagem (trecho intermediário sem terceira faixa)

Sentido	G-T				T-G			
Split	70%		30%		70%		30%	
Dado	L	G	L	G	L	G	L	G
Média (s)	183,65	184,95	196,78	199,83	177,80	175,52	169,16	164,33
Desvio padrão (s)	2,19	2,34	0,95	1,22	1,34	1,46	0,90	1,30

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora rodovias de pista simples em regiões montanhosas não sejam raras na malha brasileira, a literatura sobre o assunto é escassa. Este estudo contribui por meio de uma análise conjunta de ultrapassagem em sentido oposto, terceira faixa (faixa adicional) e desempenho dinâmico de veículos em regiões onde a geometria da rodovia é determinante.

O procedimento apresentado para obtenção e tratamento de dados planimétricos e altimétricos de rodovias de pista simples em terreno montanhoso a partir de dados públicos do *Google Earth* mostrou-se adequado quando comparado a dados mais precisos obtidos a partir de levantamento a *Laser*. A realização de simulações de tráfego a partir de modelos construídos com dados de ambas as fontes indicou que os veículos percorrem o trecho com desempenho equivalente, validando a análise feita.

O estudo do perfil altimétrico indicou que os dados obtidos a partir do *Google Earth* necessitam de tratamento para representarem a realidade com coerência no que se refere às motivações deste estudo, uma vez que produzem ruídos de rampas e sinuosidades incompatíveis com a classe da rodovia. Como o relevo da região estudada é acidentado, a existência de cortes e aterros é frequente e sua correta representação fica sujeita à resolução utilizada para a geração do modelo computacional do terreno.

Os dados de perfil planimétrico do *Google Earth* apresentaram equalização para os objetivos deste estudo. Embora existissem diferenças quando comparados aos dados do levantamento a *Laser*, a sequência e o alinhamento dos pontos mostrou-se consistente. As suavizações e o filtro de pontos foram necessários apenas para garantir maior homogeneidade aos raios das curvas, uma vez que o modelo de previsão de velocidades de García (2002) utilizado necessita desses valores.

As simulações indicaram equivalência de desempenho dos veículos quanto ao perfil altimétrico, validando a metodologia empregada para equalização dos dados de cota do *Google Earth*. A análise conjunta dos perfis altimétrico e planimétrico no simulador mostrou que as diferenças de velocidade observadas entre os modelos devem-se, essencialmente, às características planimétricas da rodovia (raios de curvatura), indicando maior sensibilidade da metodologia desenvolvida nesse aspecto.

Como o simulador de tráfego não possui um algoritmo próprio para a representação do impacto das curvas, frequentes em rodovias de região montanhosa, fez-se necessária a criação de ZRVs nas curvas para representar o comportamento dos veículos. Diferenças entre o perfil planimétrico gerado por meio dos dados do *Google Earth* e do *Laser* traduzem-se nas diferenças observadas nos perfis de velocidade, uma vez que o raio de curvatura do segmento foi o critério utilizado para criação de ZRVs e definição da magnitude da redução das velocidades.

O trabalho apresentado salienta a relevância e o potencial de dados públicos como os provenientes de fontes populares como o *Google Earth*. A metodologia desenvolvida permitiu que se construísse um modelo equivalente ao gerado por um conjunto de dados raro, preciso e caro como o levantamento a *Laser*, mas com custos reduzidos. Modelos de previsão de velocidades em curva, como o de García (2002), são fundamentais para a realização de simulações de rodovias de pista simples em regiões montanhosas e sua análise conjunta merece destaque para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benker, S. C.; Langford, R. P. e Pavlis, T. L. (2011) Positional accuracy of the Google Earth terrain model derived from stratigraphic unconformities in the Big Bend region. *Geocarto International*, Texas, EUA

Confederação Nacional do Transporte (2016) *Pesquisa CNT de Rodovias: relatório gerencial* (20ª ed). Brasília

CONTRAN (2007) Sinalização horizontal (1ª ed). *Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito*. Conselho Nacional de Trânsito, Brasília.

DAER (1991) *Normas de projetos rodoviários*. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Porto Alegre

DNER (1973) *Normas para o Projeto das Estradas de Rodagem*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil.

DNIT. (2010) *Manual de sinalização Rodoviária*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasil.

García, D. S. P. (2002) *Elaboração de modelo de previsão da velocidade operacional e classificação de rodovias do estado do Rio Grande do Sul quanto a sua consistência geométrica*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre

García, D. S. P.; Nodari, C. T.; Wandscheer, M. A.; Santos, F. F. F.; Azevedo, Z. S.; Rado, G. R. Di. (2015) Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: análise da visibilidade de ultrapassagem horizontal em curvas à direita. *Anais do XXIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro.

Google Earth-mapas. https://www.google.com.br/maps. Consulta realizada em 22/06/2017.

Hashim, I. H.; Abdel-Wahed, T. A.; Moustafa, Y. (2016) Toward an operating speed profile model for rural two-lane roads in Egypt. *Journal of Traffic and transportation Engineering*. n. 3, p. 82-88.

Johnson, R. A. (2013) *Advanced Euclidean Geometry*. Courier Corporation.

Mohammed, N. Z.; Ahmed Ghazi, A.; Mustafa, H. E. (2013) Positional Accuracy Testing Of Google Earth. *International Journal Of Multidisciplinary Sciences And Engineering*, Vol. 4, No. 6, July 2013

PTV (2015) *Vissim User Manual - V.8.00*. Karlsruhe, Alemanha.

Santos, F. F. F.; García, D. S. P.; Wandscheer, M. A. (2014) *Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: análise da visibilidade de ultrapassagem vertical*. ANPET, Rio de Janeiro.

SAS Institute Inc. (2008) *SAS/STAT® 9.2 User's Guide*. Cary, EUA

Shallama, R. D. K. e Ahmedb, M. A. (2016) Operating Speed Models on Horizontal Curves for Two-Lane Highways. *Transportation Research Procedia n. 17*, p. 445 - 451.

ZAR, Jerrold H. (1972) Significance testing of the Spearman rank correlation coefficient. *Journal of the American Statistical Association*, v. 67, n. 339, p. 578-580.

Lucas Paim De Maman (lucasdemaman@hotmail.com)
Douglas Zechin (douglaszechin@gmail.com)
Felipe Caleffi (f.caleffi@yahoo.com)
Daniel Sergio Presta García (daniel.garcia@ufrgs.br)
Helena Beatriz Bettella Cybis (helenabc@producao.ufrgs.br)
Laboratório de Sistemas de Transportes – Departamento de Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Av. Osvaldo Aranha, 99 – Porto Alegre, RS, Brasil

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS PARA CÁLCULO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM RODOVIAS DE PISTA SIMPLES

Henrique de Medeiros Pereira
Universidade Federal de Minas Gerais
Programa de Pós-graduação em Geotecnia e Transportes
José Elievam Bessa Júnior
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
O nível de serviço é um dos parâmetros usados para avaliação da eficiência de rodovias brasileiras, que é determinado por meio de métodos preconizados pelo *Highway Capacity Manual* (HCM). Este trabalho teve como objetivo comparar os métodos de obtenção do nível de serviço em rodovias de pista simples baseadas em diferentes versões do HCM, inclusive com uma versão adaptada para rodovias brasileiras. A rodovia MG-050, atualmente concedida à iniciativa privada, foi escolhida como estudo de caso. Foram obtidos dados geométricos da rodovia, bem como dados de tráfego, para segmentos homogêneos. Os resultados mostram que a utilização do HCM sem as devidas adaptações para rodovias brasileiras subestima o nível de serviço, incorrendo em um custo adicional para a execução de obras de ampliação de capacidade.

ABSTRACT
Level of service is one of the parameters used to evaluate the highway efficiency in Brazil, which is determined using Highway Capacity Manual (HCM) versions. This work aimed to compare methods to assess level of service on two-lane rural highways based on different versions of HCM, including a HCM recalibrated version to Brazilian conditions. The MG-050 highway, currently under concession by private initiative, was chosen as a case study. Geometry data and traffic data were obtained for homogeneous segments of the highway. The results showed that the utilization of HCM without any kind of adaptations underestimates the level of service, incurring in additional construction costs to increase highway capacity.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o poder público possui grandes dificuldades de manter as rodovias em um nível de serviço operacional condizente com a importância do modo rodoviário na matriz de transportes brasileira. A Pesquisa CNT de Rodovias (CNT, 2016) aponta que problemas de geometria foram constatados em 77,9% das vias pesquisadas. Em um total de 103.259 quilômetros, 27,9% foram classificadas como regulares, 18,2% como ruins e 31,8% como péssimas. Já quanto ao pavimento, 41% das rodovias foram classificadas como regulares enquanto 15,1% foram avaliadas com ruins (11,8%) e péssimas (3,3%). Tais características acarretam em grandes prejuízos operacionais e socioeconômicos. O *Highway Capacity Manual* (HCM), na sua versão de 2010 (TRB, 2010), aponta que características da geometria são fatores determinantes no nível de serviço da rodovia, possuindo impacto sobre a velocidade média desenvolvida e sobre a porcentagem de tempo viajando em pelotões.

O poder público, dadas as condições expostas acima, vem buscado parcerias com a iniciativa privada para que consiga dotar as rodovias de um bom estado de conservação, bem como a adequação da rodovia e suas características geométricas quanto ao volume de tráfego e, consequentemente, quanto a sua capacidade. Várias iniciativas nesse sentido estão sendo tomadas. O Governo Federal, por meio do Ministério dos Transportes e da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), já realizou a concessão à iniciativa privada de 11.191 km de rodovias (ANTT, 2017). O estado de São Paulo já realizou a concessão de 5.315 km (ARTESP, 2017). O Governo do Estado de Minas Gerais, por sua vez, concedeu 371,35 km em 2006 (SETOP, 2006), além de existir concessões nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, e demais iniciativas ainda em estágios iniciais.

As concessões têm apresentados resultados positivos, tendo cerca de 70% de sua extensão total classificada, quanto ao seu estado geral, como boa ou ótima, enquanto as rodovias sob gestão pública apresentam cerca de 33% nessa classificação. A gestão concedida tem sido também, notadamente, mais eficaz quanto a conservação do pavimento, sendo que 74,1% de sua extensão total é classificada como ótima e a geometria apresenta 38,4% de classificação ótima ou boa e 43,4% como regular (CNT, 2016).

Os editais e programas de exploração rodoviária das concessões citadas anteriormente preveem a utilização de metodologias distintas para a apuração da eficiência da gestão da rodovia concedida. No caso específico deste trabalho, que possui foco no que tange à capacidade da rodovia, a metodologia unanimemente indicada para análise é aquela proposta pelo *Highway Capacity Manual* (HCM), em suas diversas edições. Os editais de concessão de rodovia (ARTESP, 1997; SETOP, 2006; ANTT, 2008) preconizam que as vias concedidas devem apresentar um nível de serviço em determinado patamar e, caso o desempenho for inferior ao limite estabelecido, a rodovia deve sofrer uma intervenção para a ampliação da capacidade, podendo ser a sua duplicação ou a construção de faixas adicionais. Na maioria dos casos, a rodovia não pode apresentar mais do que 50 horas por ano operando no nível de serviço “D” ou inferior (ARTESP,1997; SETOP, 2006), sendo este o “gatilho” para a execução de obras de ampliação.

Com base no exposto, é possível perceber que essas diferenças nas escolhas sobre qual versão do HCM usar podem provocar o cálculo de níveis de serviço super ou subestimados em rodovias em pista simples, interferindo na eficácia das intervenções para ampliação da capacidade. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo comparar os métodos para obtenção do nível de serviço em rodovias de pista simples baseadas em diferentes versões do HCM, de acordo com o que é exigido em alguns editais de concessões rodoviárias no Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O HCM é a principal referência para a análise do desempenho de segmentos de rodovias do ponto de vista do fluxo de tráfego, apresentando uma série de procedimentos de forma a padronizar, sistematicamente, a medição da qualidade do serviço (Setti, 2009). O manual vem sendo publicado ao decorrer dos anos, o primeiro datando de 1950, lançado pelo *Bureau of Public Roads* – BPR, sempre trazendo atualizações e revisões dos procedimentos estabelecidos. Atualmente, o HCM encontra-se em sua quinta edição, o HCM 2010, sendo que já estão sendo lançados capítulos referentes à sexta edição.

No caso das concessões de rodovias brasileiras, o HCM é amplamente adotado como método para a análise da capacidade. Concessões de rodovias realizadas no Brasil utilizam o manual em suas diversas versões, conforme abaixo:

- Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas (SETOP/MG): HCM *Special Report* 209 (TRB, 1998).
- Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo(ARTESP): HCM *Special Report* 209; e
- ANTT: HCM 2000 (TRB, 2000).

Não há, portanto, um padrão quanto a que versão utilizar, apesar das indicações, tanto do *Transportation Research Board* (TRB, 2010) quanto do DNIT (DNIT, 2006), para a utilização da versão mais atualizada, por se tratar de uma extensa revisão de seus predecessores (TRB, 2010).

A seguir, serão apresentadas as principais diferenças entres os métodos utilizados pelas agências reguladoras brasileiras para a aferição do nível de serviço em rodovias de pista simples

2.1. HCM *Special Report* 209

É a edição lançada em 1998, sendo uma revisão do HCM 1985 e da atualização de 1994. Traz, em relação a versão anterior, atualizações quanto aos fatores de ajuste propostos e propõe três medidas de desempenho para a medição da qualidade do serviço: i) *Average Travel Speed* (Velocidade Média de Viagem); ii) *Percent Time Delay* (Porcentagem de tempo de atraso), definida como a porcentagem de tempo que os veículos viajam atrasados atrás de um veículo lento; e iii) *Capacity Utilization* (Utilização da Capacidade): definida como a relação entre o fluxo de tráfego e a capacidade da rodovia.

A capacidade bidirecional da rodovia, nas condições ideais estabelecidas no manual, é de 2.800 veic/hora. Para cada característica que difere das ideais, é proposto um fator de ajuste, reduzindo a capacidade total da via. Tais fatores podem ser obtidos conforme as Tabelas fornecidas pelo HCM *Special Report* 209, organizadas conforme a classificação do relevo, em duas categorias: segmentos homogêneos (Plano, Ondulado e Montanhoso) e rampas específicas. A relação geral para os segmentos homogêneos se dá conforme a seguinte equação, que representa o fluxo de serviço a ser calculado:

$$SF = 2800 \times (v/c)_i \times f_d \times f_w \times f_{HV}, \quad (1)$$

em que:

SF = fluxo de serviço;
v/c = relação entre o fluxo de tráfego e a capacidade;
f_d = fator de ajuste para distribuição do tráfego;
f_w = fator de ajuste para largura de faixa e acostamento; e
f_{HV} = fator de ajuste para a presença de veículos pesados na corrente de tráfego.

O procedimento para rampas específicas possui uma relação geral bastante próxima com a anterior, conforme a equação abaixo:

$$SF = 2800 \times (v/c)_i \times f_d \times f_w \times f_g \times f_{HV} \quad (2)$$

Nota-se que há a inclusão de um fator relacionado à declividade do segmento em questão, f_g , e também são encontradas diferenças para o cálculo do fator de ajuste para veículos pesados.

Calcula-se o fluxo de serviço correspondente a cada nível de serviço e compara-se o fluxo de tráfego observado e os fluxos de serviço, determinando, assim, o nível de serviço para a hora estudada. São obtidos níveis de serviço entre “A” (melhor) e “E” (pior), sendo o nível “F” quando a demanda excede a capacidade da rodovia.

2.2. HCM 2000

O HCM 2000 é a quarta versão do manual, lançada no ano de 2000. Esse manual trouxe uma série de inovações nos métodos de cálculo do nível de serviço, inclusive no capítulo que trata de rodovias de pista simples. A quarta versão traz uma metodologia para análise de rodovias de pista simples que permite a realização do cálculo de forma direcional, ou seja, possibilita a realização do cálculo para cada sentido de tráfego, e também a análise bidirecional, considerando o volume de tráfego como a soma dos fluxos de tráfego de cada sentido. Este artigo considerou, para realização do cálculo do nível de serviço, a metodologia para segmentos direcionais, sendo esta a metodologia tratada nesta seção.

A capacidade unidirecional considerada para condições ideais é de 1700 cpe/h, com a capacidade bidirecional não excedendo 3200 veic/h. Os níveis de serviço também são conforme o HCM *Special Report* 209, variando entre "A" e "E", sendo que o nível "F" representa o nível de serviço no qual o volume observado supera a capacidade da via. O HCM 2000 utiliza medidas de desempenho diferentes conforme a classe de rodovia (Classe I e Classe II). Rodovias de Classe I são aquelas onde os motoristas possuem expectativa em viajar em altas velocidades.

Neste artigo, as rodovias estudadas foram consideradas de Classe I, sendo o nível de serviço obtido conforme a Tabela 1. As medidas de desempenho utilizadas são a PTSF, que é a porcentagem de tempo viajado em pelotões, e a ATS, que é definida como a velocidade média da viagem. Essas medidas são similares às definidas na versão anterior do HCM. O HCM 2000 também fornece as relações de tráfego para trechos em condições ideais, sendo que para cada característica divergente existem fatores de ajuste fornecidos por meio de Tabelas. Os fatores são agrupados conforme a classificação do segmento quanto a sua declividade, como plano, ondulado e rampas específicas.

Tabela 1: Critério para cálculo do nível de serviço para rodovias Classe I (HCM 2000)

Nível de Serviço	PTSF (%)	ATS (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35 - 50	> 80 - 90
C	> 50 - 65	> 70 - 80
D	> 65-80	> 60 - 70
E	> 80	≤ 60

A velocidade de fluxo livre (FFS), que é um dado de entrada para a metodologia proposta, pode ser obtida por meio de medições em campo ou a partir de uma estimativa, que deve ser devidamente ajustada. O cálculo do ATS, no sentido direcional, se dá conforme a equação:

$$ATS_d = FFS_d - 0,0125(v_d + v_o) - f_{NPZ}, \quad (3)$$

em que:

ATS_d = velocidade média de viagem no sentido analisado (km/h);
FFS_d = velocidade de fluxo livre no sentido analisado (km/f);
v_d = fluxo horário de tráfego no sentido analisado (cpe/h);
v_o = fluxo horário de tráfego no sentido oposto (cpe/h); e
f_{NPZ} = fator de ajuste para zonas de ultrapassagens proibidas.

O cálculo do PTSF, no segmento direcional, é realizado de acordo pela seguinte relação:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{NPZ}, \quad (4)$$

em que:

$PTSF_d$ = porcentagem de tempo viajando em pelotões.
$BPTSF_d$ = porcentagem de tempo viajando em pelotões base.
f_{NPZ} = fator de ajuste para zonas de ultrapassagens proibidas.

Sendo o cálculo do BPTSF conforme a equação:

$$BPTSF_d = 100(1 - e^{av_d^b}), \quad (5)$$

em que:

a, b = parâmetros determinados de acordo com o fluxo no sentido oposto.

2.3. HCM 2000 adaptado

Essa adaptação do HCM 2000 foi proposta por Egami (2006) e Mon-Ma (2008). A ideia era apresentar uma adaptação do HCM 2000 para rodovias de pista simples brasileiras, a primeira sem faixas adicionais e a segunda com faixas adicionais. O método utilizado foi replicar os procedimentos documentados em Harwood *et. al.* (1999), realizado com dados de rodovias americanas e canadenses, substituindo com dados de rodovias de pista simples do estado de São Paulo. Os procedimentos foram desenvolvidos a partir de simulação de tráfego, sendo a calibração dos simuladores determinante para a adaptação, que se deu por meio de um Algoritmo Genético (Setti *et. al.*, 2011).

Os resultados encontrados por Egami (2006) englobam toda a estrutura para a análise para segmentos em pista simples sem faixas adicionais. No caso de Mon-Ma (2008), os resultados se referem aos ajustes necessários apenas para relevos classificados como rampas específicas, visto que se trata da análise de pista simples com faixas adicionais. Sendo assim, priorizou-se os resultados encontrados pela segunda e, quando estes não foram realizados, como os fatores de ajuste para relevos planos e ondulados, utilizou-se aqueles encontrados pela primeira.

As relações fundamentais consideradas também foram aquelas encontradas por Mon-Ma (2008). Foram encontradas diferenças nas relações apresentadas no HCM 2000 e também em praticamente todos os fatores de ajuste necessários. Por exemplo, a equação para cálculo do ATS proposta é conforme abaixo:

$$ATS_d = FFS_d - 0,0137v_d - 0,0064v_o - f_{NPZ}\,. \tag{6}$$

Informações mais detalhadas acerca do processo de adaptação podem ser encontradas nos trabalhos de Egami (2006) e Mon-Ma (2008).

2.4. HCM 2010

O HCM 2010 é a quinta versão do manual, lançada em 2010. Esta versão manteve a estrutura básica do HCM 2000, trazendo modificações e atualizações principalmente no que diz respeito aos fatores de ajuste necessários. Diferentemente da versão anterior, o HCM 2010 traz apenas a possibilidade da análise unidirecional dos segmentos. A metodologia de cálculo é praticamente a mesma, sendo necessário o cálculo do ATS e PTSF para determinação do nível de serviço. A maior parte das alterações ocorreram nos fatores de ajuste, sendo constatada apenas uma alteração na formulação para cálculo do PTSF, conforme a equação (7). As demais equações foram mantidas iguais a do HCM 2000.

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{NPZ}\left(\frac{v_d}{v_d + v_o}\right)\,. \tag{7}$$

3. RODOVIA MG-050

Este trabalho teve como objeto principal a rodovia MG-050, que está sob concessão desde o ano de 2007. Tratam-se de 371,35 km, que abrangem, além da MG-050, pequenos trechos das rodovias BR-491 e BR-265. A rodovia MG-050 é um importante corredor de transporte do estado de Minas Gerais, tendo seu início em Juatuba, região metropolitana de Belo Horizonte, passando por municípios como Divinópolis, Formiga, Passos, Itaúna, Piumhí e São Sebastião do Paraíso, terminando na divisa entre os estados de Minas Gerais e São Paulo (SETOP, 2006).

Essa rodovia possui um arranjo contratual em forma de concessão patrocinada, uma parceria público-privada (PPP). Ou seja, além das receitas oriundas dos pedágios instalados, a concessionária também recebe uma contrapartida financeira do Estado, desde que sejam cumpridos os parâmetros definidos no Quadro de Indicadores de Desempenho (SETOP, 2006). Nesse quadro, está inclusa a aferição do nível de serviço conforme o HCM *Special Report* 209. A partir de maio de 2017, através do sétimo termo aditivo do contrato (SETOP, 2017), será utilizado o HCM 2010, sendo que o nível de serviço não pode ultrapassar o limite de 50 horas por ano operando em nível de serviço igual ou inferior a "D", caso contrário, existe a obrigação contratual de intervenção para a ampliação da capacidade.

A rodovia MG-050 possui segmentos em pista dupla, pista simples com faixas adicionais e pista simples sem faixas adicionais, sendo a última a mais frequente em seu traçado. Portanto, é muito provável que, dentre todos os segmentos da via, os de pista simples sejam os mais afetados pelas condições contratuais para ampliação da capacidade. Assim, este estudo irá focar nos segmentos da MG-050 que são estritamente de pistas simples.

4. METODOLOGIA

Os dados utilizados para a realização deste trabalho foram obtidos junto a Assessoria de Concessões do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DEER/MG), órgão responsável pela fiscalização da concessão da rodovia MG-050, e também através de programas como Google *Earth* e GPS *Visualizer*. As informações fornecidas pelo DEER/MG são aquelas associadas ao cadastro das características geométricas da via e também ao tráfego. Já os dados obtidos por meio do Google *Earth* e GPS Visualizer são relacionados com a altimetria da rodovia. Sendo assim, após a obtenção dos alinhamentos vertical e horizontal, foram definidos os subsegmentos homogêneos utilizados para a realização dos cálculos. Também para a realização do cálculo, foi feito um pequeno tratamento nos dados de tráfego para extração dos dados conforme a versão do HCM utilizada. Por fim, foram feitos os cálculos do nível de serviço da rodovia para cada versão do manual.

4.1. Alinhamento vertical

Em procedimento análogo ao descrito por Riente *et al*. (2011), foi traçada uma trilha por meio do *Google Earth* referente aos 371,35 km das rodovias MG-050, BR-491 e BR-265, no sentido Belo Horizonte – São Paulo. O modelo digital de elevação é aquele obtido através do programa *Shuttle Radar Topography Mission* 3 (SRTM 3), da NASA, sendo que, para o Brasil, tal banco de dados possui resolução de 90 metros (NASA, 2017). Sendo assim, o arquivo foi importado para o GPS *Visualizer*, que retorna um conjunto de dados que associa pontos da rodovia com seus respectivos marcos quilométricos e as altitudes obtidas pelo SRTM. Uma que não há precisão absoluta das altitudes fornecidas, foi necessário o tratamento dos dados, visando a mitigação dos erros. Para isso, foi feita uma suavização do relevo obtido através de uma média móvel, considerando 21 pontos, sendo dez anteriores e posteriores ao do ponto em questão, ponderada por meio de distribuição normal.

4.2. Definição dos segmentos e subsegmentos homogêneos

Segundo a SETOP/MG (2006), a rodovia MG-050 possui 20 segmentos homogêneos conforme a Tabela 2, definidos à época da licitação do contrato de concessão. Neste estudo, foi considerado o início da rodovia como o quilométrico zero. Cada segmento possui um analisador de tráfego (laços indutivos instalados no pavimento), em que são gerados e computados os fluxos de tráfego classificados, sendo que os volumes utilizados para o cálculo do nível de serviço de

um dado segmento são aqueles gerados pelo seu respectivo analisador de tráfego. Uma vez que existem variações, principalmente de alinhamento vertical, dentro de cada segmento homogêneo, foi realizada uma subdivisão, de acordo com a classificação do relevo.

Tabela 2: Segmentos homogêneos MG-050

Segmento Homogêneo	km inicial	km final	Segmento Homogêneo	km inicial	km final
1	0,000	11,825	11	203,983	227,070
2	11,825	22,417	12	227,070	273,417
3	22,417	28,955	13	273,417	296,962
4	28,955	34,626	14	296,962	301,714
5	34,626	68,417	15	301,714	312,397
6	68,417	74,417	16	312,397	315,407
7	74,417	85,272	17	315,407	330,127
8	85,272	107,256	18	330,127	344,417
9	107,256	155,080	19	344,417	350,077
10	155,080	203,983	20	350,077	371,350

Foi realizada uma filtragem para a seleção dos segmentos que apresentam pista simples em ambos os sentidos do tráfego, ou seja, excluindo segmentos que apresentem pista dupla e faixa adicional em um dos sentidos ou em ambos, acarretando a exclusão de 134,95 km do trecho concedido. Para classificação dos segmentos restantes, foram considerados como plano aqueles que possuem declividade entre 0% e 2% e ondulado com declividades entre 2% e 3%, para qualquer comprimento de segmento. Foram classificadas como rampa específica aqueles segmentos com declividade maior ou igual a 3%, desde que sua extensão seja maior ou igual a 400 metros; caso a extensão seja menor, o segmento deve ser classificado como ondulado.

Alguns segmentos foram agregados ao se analisar as mudanças nas classificações, no sentido dos marcos quilométricos. Assim, foi determinada a declividade média ponderada desses segmentos agregados, calculada em função das distâncias dos subsegmentos. O processo gerou uma lista de 288 subtrechos conforme apresentada na Tabela 3. A partir dessa lista, foram calculadas, para cada um deles, a quantidade de acessos e a extensão de áreas de ultrapassagens proibidas, para aplicação dos métodos de cálculo do nível de serviço.

Tabela 3: Lista de subtrechos conforme a classificação proposta

Classificação	Quantidade	Extensão (km)	Porcentagem da extensão total	Extensão média dos subsegmentos (km)
Ondulado	60	33,919	14,34%	0,565
Plano	135	146,31	61,86%	1,083
Rampa Ascendente	46	25,253	10,68%	0,548
Rampa Descendente	47	31,018	13,12%	0,659
Total	**288**	**236,499**	**100%**	**-**

4.3. Dados de tráfego

Os dados de tráfego utilizados compreendem o período entre março de 2016 e março de 2017. Foi realizado um tratamento nos dados de forma a ser possível a extração de relações necessárias para o cálculo do nível de serviço conforme as várias edições do HCM, como porcentagem

de veículos pesados para cada sentido de tráfego, fluxo total de veículos, porcentagem de ônibus e caminhões na corrente de tráfego. Foram desconsiderados os volumes de tráfego referentes a motocicletas.

4.4. Cálculo do nível de serviço

Para cada edição do HCM (2010, 2000 e *Special Report* 209 – 1998), e também para o HCM 2000 adaptado para rodovias brasileiras, foi realizado o cálculo do nível de serviço para cada subtrecho homogêneo, para cada uma das 8760 horas compreendidas no período de 12 meses de análise. Foi estimada, para todos os segmentos, uma velocidade de fluxo livre (FFS) igual a 100 km/h, sendo esta a velocidade máxima regulamentar típica da rodovia. Como os dados disponibilizados, agregados em intervalos de uma hora, não permitiram o cálculo do fator hora pico, este foi considerado igual a um, visando não majorar os fluxos de tráfegos horários observados a partir de uma estimativa, podendo impactar na aferição do nível de serviço da rodovia. O sentido de tráfego escolhido para o cálculo foi Belo Horizonte – São Paulo.

5. RESULTADOS

É possível observar, na Tabela 4, os resultados obtidos com o HCM *Special Report* 209. Nota-se que há uma concentração das aferições nos níveis "A", "B" e "C", somando 88% do total. Os segmentos planos e rampas descendentes são melhores avaliados, enquanto os ondulados e rampas ascendentes são mais frequentes nos níveis "D" e "E".

Tabela 4: Resultados obtidos utilizando o HCM Special Report 209

NS	Plano	Ondulado	Rampa Descendente	Rampa Ascendente	Total / NS
A	17,64%	1,34%	6,85%	6,32%	**32,15%**
B	19,94%	5,11%	7,21%	8,37%	**40,63%**
C	8,55%	4,13%	2,10%	1,25%	**16,03%**
D	0,97%	4,83%	0,16%	0,14%	**6,10%**
E	0,001%	5,06%	0,01%	0,03%	**5,10%**
				Total	**100%**

Já a Tabela 5 mostra os resultados obtidos utilizando o HCM 2000. O nível "D" apresenta aproximadamente 22% do total de classificações, o nível "E" apresenta frequência de 1,52%. Os níveis "A", "B" e "C" somados representam 76% das aferições, sendo que o nível "B" é responsável por 36%. Nota-se também uma grande concentração do nível "D" nos segmentos planos.

Tabela 5: Resultados obtidos utilizando o HCM 2000

NS	Plano	Ondulado	Rampa Descendente	Rampa Ascendente	Total / NS
A	9,27%	2,99%	2,52%	2,25%	17,03%
B	14,98%	8,15%	7,00%	6,04%	36,17%
C	10,26%	5,16%	3,66%	3,96%	23,03%
D	11,59%	4,25%	2,94%	3,47%	22,25%
E	0,77%	0,29%	0,20%	0,26%	1,52%
				Total	**100%**

Na Tabela 6 estão compilados os resultados obtidos por meio do HCM 2010. O nível "B" é o que apresenta a maior frequência, ocorrendo em 47,74% das aferições. Somados, os níveis "A"

e “B” são cerca de 67% das classificações obtidas. Os segmentos planos concentram a maior quantidade de classificações “A”, “B” e “C”. O nível “D” ocorre em maior número nos segmentos ondulados, enquanto o nível “E” é mais frequente nos segmentos de rampa ascendente.

Tabela 6: Resultados obtidos utilizando o HCM 2010

NS	Plano	Ondulado	Rampa Descendente	Rampa Ascendente	Total/NS
A	11,49%	2,36%	2,52%	2,85%	19,22%
B	23,42%	8,17%	10,22%	5,93%	47,74%
C	9,92%	6,40%	2,84%	4,11%	23,27%
D	2,01%	3,87%	0,67%	2,28%	8,83%
E	0,01%	0,09%	0,002%	0,84%	0,94%
				Total	**100%**

A Tabela 7 traz os resultados obtidos a partir do HCM 2000 adaptado. Os níveis “A”, “B” e “C” representam 96,31% do total de aferições, sendo o mais frequente o nível “B”. Já o segmento que apresenta as piores classificações é o ondulado, com cerca de 59% do total de classificações de nível “D” e 78% das classificações de nível “E”.

Tabela 7: Resultados obtidos utilizando o HCM 2000 adaptado

NS	Plano	Ondulado	Rampa Descendente	Rampa Ascendente	Total / NS
A	10,31%	3,38%	4,30%	3,19%	21,18%
B	27,76%	10,49%	9,79%	10,13%	58,16%
C	7,89%	4,78%	1,97%	2,33%	16,97%
D	0,90%	2,08%	0,25%	0,31%	3,55%
E	0,02%	0,11%	0,00%	0,01%	0,14%
				Total	**100%**

6. COMPARAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS

A Tabela 8 apresenta o resumo das extensões a terem a capacidade ampliada se utilizado o critério de a rodovia não operar em mais de 50 horas por ano em nível de serviço “D” ou inferior, conforme cada edição do manual. É visível a discrepância entre os resultados, sendo que a versão mais antiga é a que mais se aproxima dos resultados obtidos pela adaptação para rodovias brasileiras. Enquanto isso, o HCM 2000 subestima de forma considerável os níveis de serviço dos segmentos planos, apresentando uma distribuição mais uniforme entre os demais. Já o HCM 2010 apresenta valores mais razoáveis, ainda que, conforme a Tabela 8, apresente uma a extensão a ser ampliada 46% superior ao método adaptado, havendo diferenças significativas nos segmentos planos e também nos de rampas ascendentes.

Tabela 8: Extensões (km) a terem capacidade ampliada, conforme classificação

Classificação	HCM *SPECIAL REPORT* 209	HCM 2000	HCM 2010	HCM 2000 ADAPTADO
Plano	36,75	142,93	66,28	**46,94**
Ondulado	32,93	29,56	25,73	**21,63**
Rampa Ascendente	6,87	25,25	22,35	**7,34**
Rampa Descendente	12,07	27,63	8,16	**8,19**
Total	88,63	225,37	122,52	**84,10**

Na Figura 1, é possível observar um esquema da rodovia MG-050, em que é possível identificar, aproximadamente, em quais marcos quilométricos o critério não foi atendido, propiciando também uma comparação entre a localização do atendimento ou não ao longo da rodovia.

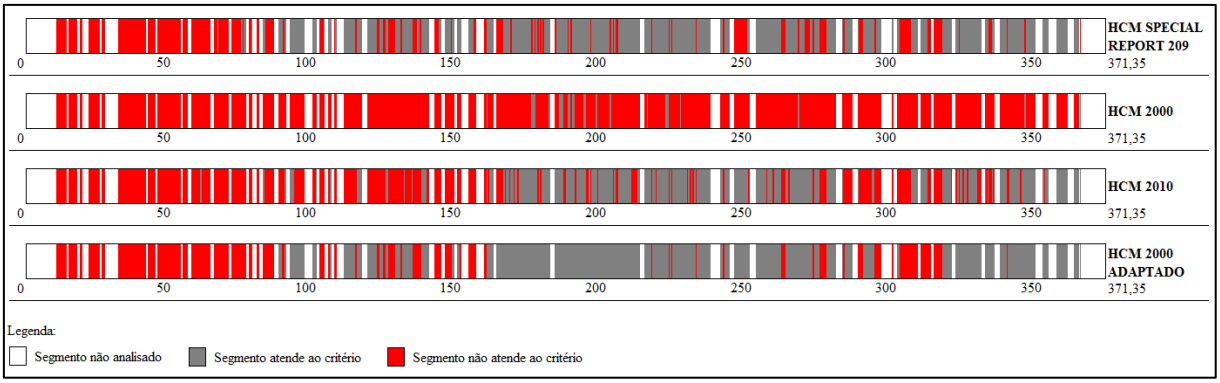


Figura 1: Marcos quilométricos de atendimento do critério para ampliação da capacidade na rodovia

Para a estimativa do valor que seria necessário para fazer obras de melhorias na rodovia, foi utilizado o custo médio gerencial do DNIT, que inclui a implantação de terceira faixa e recuperação da pista existente, com data-base de novembro de 2014, atualizado conforme os índices de reajustamento para maio de 2017. O valor do quilômetro já reajustado é de R$ 1.875.048,98. O resumo dos resultados está na Tabela 9. A Tabela 10 apresenta uma comparação das extensões e dos custos para implantação de faixa adicional entre as metodologias do HCM adotadas neste trabalho, em função de cada edição.

Tabela 9: Resultados em quilômetros e o respectivo custo de construção, conforme cada edição do manual

Edição do Manual	**Resultados obtidos**	
	km	**R$**
HCM *Special Report* 209	88,63	166.178.465,91
HCM 2000	225,37	422.584.963,75
HCM 2010	122,52	229.729.294,73
HCM 2000 Adaptado	84,10	157.697.188,11

Tabela 10: Comparações entre os custos de implantação de acordo com a edição do HCM

Edição do HCM usada	**Aumento nos custos em relação à versão do HCM usada**							
	HCM *Special Report* 209		**HCM 2000**		**HCM 2010**		**HCM 2000 Adaptado**	
	km	**R$***	**km**	**R$***	**km**	**R$***	**km**	**R$***
HCM *Special Report* 209	-	-	136,75	256.155,33	33,89	63.488,57	-4,52	-8.472,96
HCM 2000	-136,75	-256.155,33	-	-	-102,85	-192.666,75	-141,27	-264.628,30
HCM 2010	-33,89	-63.488,57	102,85	192.666,75	-	-	-38,42	-71.961,54
HCM 2000 Adaptado	4,52	8.472,96	141,27	264.628,30	38,42	71.961,54	-	-

***Valores em 1.000**

Nota-se, conforme a Tabela 10, que a utilização do HCM 2000 promove grande impacto financeiro, sendo que por este método são necessários cerca de 422 milhões de reais para obras de ampliação de capacidade, valor superior à segunda opção mais onerosa em 193 milhões. Já a versão adaptada do HCM 2000 apresenta redução nos custos em 264 milhões, se comparada ao HCM 2000. A alteração de metodologia para análise do nível de serviço da rodovia MG-050, na qual era preconizado no contrato de concessão a utilização da versão HCM *Special Report* 209 e, a partir de maio de 2017, irá utilizar o HCM 2010, aponta para um acréscimo de 38% no valor para implantação de faixas adicionais, valor próximo a 63 milhões de reais e uma extensão acrescentada de 33,89 km.

7. CONCLUSÕES

Conforme observado na seção anterior, existem grandes diferenças entre as metodologias do HCM utilizadas neste trabalho. Também é possível notar que não existe um padrão que explique, de forma clara, tais diferenças. Utimura *et al*. (2007) realizou uma comparação entre o método do HCM 2000 e da versão proposta por Egami (2006), sendo que o parâmetro determinante para a diferença entre os níveis de serviço é a PTSF. Tal explicação está diretamente relacionada, além das condições geométricas da via, à composição de tráfego. No trabalho realizado por Mon-Ma (2008), fica claro que as rodovias brasileiras apresentam uma porcentagem consideravelmente superior de veículos pesados na corrente de tráfego. Portanto, pode-se considerar que as adaptações são muito mais realistas quanto à aferição do nível de serviço para rodovias brasileiras.

É possível perceber a necessidade de desenvolvimento de um manual de capacidade de rodovias brasileiras para a determinação do nível de serviço. As rodovias nacionais apresentam características próprias, bem como a composição do tráfego e as características da frota. A utilização do HCM sem nenhuma adaptação subestima os níveis de serviço, forçando a concessionária a realizar obras antes do tempo necessário, havendo impacto direto sob o preço da tarifa de pedágio. Isso desencadeia um considerável custo tanto para os usuários da rodovia tanto para a sociedade em geral, visto a grande dependência nacional do modo rodoviário, ocorrendo em custos adicionais no transporte de bens e de mercadorias.

Recomenda-se ainda que sejam feitos novos estudos em rodovias brasileiras, preferencialmente nas que tenham características geométricas e de tráfego distintas da MG-050. Também é importante a avaliação de novas medidas de desempenho para a avalição do nível de serviço, como proposto por Bessa Jr. (2015).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao DEER-MG e à SETOP-MG pelo fornecimento de dados e informações para a realização deste trabalho. Agradecem, ainda, à CAPES, UFMG, FAPEMIG e ao CEFET-MG pelo auxílio para participação no congresso.

REFERÊNCIAS

ANTT (2008) *Estudo de engenharia final – Parte 5. Estudos de viabilidade BR-116/MG*. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em < http://3etapaconcessoes.antt.gov.br/index.php/content/view/1002/Estudos_de_Viabilidade.html >, acesso em 10/06/2017.

ANTT (2017) *Concessões rodoviárias*. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em < http://www.antt.gov.br/rodovias/Concessoes_Rodoviarias.html >, acesso em 10/06/2017.

ARTESP (1997) *Edital de licitação nº 007/CIC/97, Sistema Anhanguera-Bandeirantes.* Agência Reguladora de Serviços Públicos delegados de Transportes do Estado de São Paulo. São Paulo.

ARTESP (2017) *Informações gerais.* Agência Reguladora de Serviços Públicos delegados de Transportes do Estado de São Paulo. São Paulo. Disponível em: < http://www.artesp.sp.gov.br/rodovias-informacoes-gerais.html>, acesso em 10/06/2017.

Bessa Jr., J. E. (2015) *Medidas de desempenho para avaliação da qualidade de serviço em rodovias de pista simples brasileiras.* 128p. Tese (Doutorado) EESC-USP, São Carlos.

CNT (2016) *Pesquisa CNT de rodovias 2016: relatório gerencial. – 20.ed*. Confederação Nacional de Transportes. – Brasília.

DNER (1999) *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais: Publicação IPR - 706.* Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.

DNIT (2006) *Diretrizes Para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários – Escopo Básico/Instruções de Serviço: Publicação IPR - 726*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.

Egami, C.Y (2006) *Adaptação do HCM2000 para a Determinação do Nível de Serviço em Rodovias de Pista Simples Sem Faixas Adicionais no Brasil*. 233 p. Tese (Doutorado) – EESC-USP, São Carlos

Harwood, D. W.; A. D. May; I. B. Anderson; L. Leiman; A. R. Archilla (1999) Capacity and quality of service of two-lane highways. *Final Report, NCHRP Project 3-55 (3).* Kansas City.

Mon-Ma, Marcia Lika (2008) *Adaptação do HCM-2000 para rodovias de pista simples com faixas adicionais típicas do estado de São Paulo*. 2008. Tese (Doutorado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

NASA (2017) *Shuttle Radar Topograpgy Mission*. *National Aeronautics and Space Administration.* Washington, D.C. Disponível em: https://www2.jpl.nasa.gov/srtm. Acesso em 21 de Agosto de 2017.

Riente, G., Rodrigues-Silva, K. C., Puty Filho, S. A (2011). Método para Caracterização e Classificação de Trechos Homogêneos Rodoviário. *Anais do 7° Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C 2011*, Foz do Iguaçu.

Setti, J. R (2009) Highway Capacity Manual ou Manual de Capacidade Viária? *Anais do 6° Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C 2009*, Florianópolis.

Setti, J. R, Bessa Júnior, J. E., Egami, C. Y. e Mon-Ma, M. L (2011) Adaptação do HCM2000 para análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias de pista simples no Brasil. *Revista Transportes*, v.19, n.2. Rio de Janeiro.

SETOP/MG (2006). *Edital para concessão rodoviária – MG-050 – Edital nº 070/06.* Secretaria de Transportes e Obras Públicas do Estado de Minas Gerais Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://www.setop.mg.gov.br/transparencia-publica/mg-050/page/1263-edital-mg-050>, acesso em 10/06/2017.

SETOP/MG (2017) *7º Termo aditivo PPP 007-2007.* Secretaria de Transportes e Obras Públicas do Estado de Minas Gerais. Disponível em: < http://www.setop.mg.gov.br/transparencia-publica/mg-050/page/2191-contrato-mg-050>, acesso em 10/06/2017.

TRB (1998) *Highway Capacity Manual – Special Report 209*. Transportation Research Board. Washington, D.C.

TRB (2000) *Highway Capacity Manual 2000 – HCM 2000*. Transportation Research Board. Washington, D.C.

TRB (2010) *Highway Capacity Manual 2010 – HCM 2010*. Transportation Research Board. Washington, D.C.

Utimura, F. S., Setti, J. S., Egami, C. Y., Mon-Ma, M. L (2007). Verificação da acurácia de estimativas de nível de serviço em rodovias de pista simples no estado de São Paulo. *Anais do XXI Congresso Anual da ANPET*. Rio de Janeiro.

Endereço para contato:
Eng. Henrique de Medeiros Pereira (henrique.medpereira@gmail.com)
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Escola de Engenharia
Av. Antonio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte, MG, 31.270-010

Prof. Dr. José Elievam Bessa Júnior (elievamjr@gmail.com)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Departamento de Engenharia de Transportes - DET
Av. Amazonas 5.253, Nova Suiça, Belo Horizonte, MG, 30.421-169

AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO PARA DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE EIXOS DE CAMINHÕES EM IMAGENS

Natália Ribeiro Panice
André Luiz Cunha
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO
Este trabalho está baseado em uma pesquisa de mestrado em andamento e apresenta como objetivo segmentar o caminhão e detectar seus eixos, através da aplicação de técnicas de processamento de imagens em vídeos coletados em balança rodoviária móvel. A classificação dos caminhões quanto ao número de eixos é de extrema importância para a Engenharia de Transportes, pois fornece dados significativos dos veículos de projeto, os quais mostram algumas características do local estudado. Para isso, em uma primeira análise foram processadas e avaliadas dezessete imagens de caminhões com base no método proposto fundamentado na delimitação da ROI (do inglês, *Region of Interest*), na segmentação do veículo e na detecção dos eixos. De forma geral, é possível afirmar que os resultados foram positivos considerando que alguns testes ainda estão sendo realizados. O nível de precisão do programa foi de 83,3%, o que mostra uma consistência nos resultados, e de acurácia, 58,8%.

ABSTRACT
This paper is based on an ongoing master's degree research and aims to segment trucks and detect axles through the application of image processing techniques in videos collected in a mobile road weighing scale. The truck axle classification is extremely important to Transportation Engineering area because it provides meaningful data about vehicle design, which shows some characteristics of the place of study. Therefore, in a first analysis we studied and evaluated seventeen truck images based on the delimitation of the Region of Interest (ROI), in vehicle segmentation and axle detection. In general, it is possible to say that the results were positive, considering that there are still more tests to be performed. The precision level of the program was 83.3%, showing consistency in the results, and an accuracy of 58.8%.

1. INTRODUÇÃO

De maneira geral, os projetos de Engenharia avaliam a situação mais desfavorável com o objetivo de evitar ou minimizar possíveis falhas. Na Engenharia de Transportes não é diferente. Em projetos de engenharia de tráfego, de pavimentos e de geometria de vias, o fator de maior destaque é a caracterização do veículo de projeto. A partir de estudos de tráfego, é definido o veículo típico segundo suas dimensões, peso e desempenho. Com base na definição do DENATRAN [2010], os veículos registrados e licenciados contidos na legislação brasileira são classificados em leves e pesados. Os veículos leves causam muito menos avarias ao pavimento e menos problemas no tráfego quando comparados aos pesados. Os veículos pesados desgastam o pavimento com maior facilidade e em menor tempo, e possuem pior desempenho, com perda de velocidade em aclives acentuados causando lentidão no tráfego.

O caminhão possui basicamente quatro tipos de eixos e limites de pesos [DENATRAN, 1998]: (1) isolado de rodagem simples – limite de até 6 t; (2) isolado de rodagem dupla – até 10 t; (3) duplo de rodagem dupla e suspensão em tandem – até 17 t; e (4) triplo de rodagem dupla e suspensão em tandem – até 25,5 t. É necessário identificar o tipo de eixo ou conjunto de eixos para conhecer o limite de peso de um caminhão. Existe uma tolerância aplicada sobre o limite legal do peso por eixo e sobre o limite legal do PBT (Peso Bruto Total) ou PBTC (Peso Bruto Total Combinado), porém mudanças foram feitas na legislação no decorrer dos anos. Em 2015, novas resoluções foram regulamentadas no sentido do aumento dos limites de pesos, o que afeta diretamente a vida útil do pavimento. Fernandes Junior [1994] chama a atenção sobre não existir uma relação direta entre o PBTC e o desempenho do pavimento, ou

seja, a deterioração está mais ligada à carga por eixo. Assim, se o veículo estiver pesado não significa que ele será danoso ao pavimento, desde que a carga total esteja distribuída adequadamente entre os eixos do veículo. Atualmente, a Lei nº 13.103/2015 [Brasil, 2015] e a Resolução nº 526/2015 [DENATRAN, 2015] especificam as tolerâncias de pesos: 5% sobre o limite de PBT ou PBTC e 10% sobre os limites de peso por eixo, como forma de assegurar qualquer incerteza de medição da balança. De modo geral, as leis que regulamentam os pesos e as dimensões dos veículos pesados visam reduzir o impacto provocado pelo tráfego.

A necessidade de se caracterizar a frota de veículos pesados em uma região é evidente em qualquer esfera da Engenharia de Transportes e pode ser realizada com base na pesagem. A pesagem é fortemente ligada à identificação e a contagem de eixos e existem algumas formas para fazer isso: sistemas de detecção de eixos por esforço mecânico (tubo pneumático, sistema acústico, sensores de fibra ótica, sensores piezoelétricos, perfil de borracha condutiva), barreiras *laser*, polígono *scanner laser*, sensores indutivos, sistemas de processamento de vídeos/imagens. Simoni [2008] propôs um sistema de contagem de eixos de veículos utilizando sensoriamento indutivo no pavimento. Porém, esse tipo de sistema intrusivo, além de possuir a necessidade de intervenção no tráfego para a instalação do sensor na infraestrutura viária, apresenta desvantagens quanto ao custo de instalação e manutenção, assim como vida útil limitada. Já sistemas que utilizam imagens, apesar de ser um grande desafio científico e tecnológico para a Engenharia de Transportes, uma vez que as pesquisas nessa área são recentes e ainda não existem resultados satisfatórios [Frenze, 2002; Yao *et al*., 2016], tem um custo inferior aos anteriormente citados e sua instalação não danifica o pavimento, pois para obter imagens do tráfego uma câmera é suficiente. Além da pesagem, na qual a soma dos pesos por eixos e cada peso individualmente definem se o veiculo será liberado ou retido para autuação, o eixo também tem importância indispensável nos projetos de pavimentos, já que a carga que atua no ponto que um eixo passa é determinante para o dimensionamento das camadas do pavimento; na operação e manutenção das rodovias a vida útil do pavimento é comprometida pelo sobrepeso dos veículos rodoviários de carga; no pedágio, é a quantidade de eixos que determina o valor a ser pago; e até mesmo na segurança, pois um veículo que carrega excesso de carga pode causar algum acidente devido à perda de material transportado ou por problemas mecânicos.

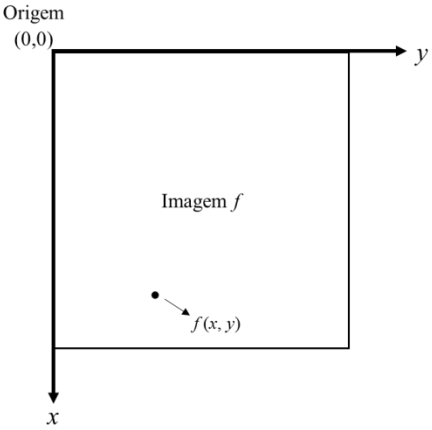
A partir dessas considerações, este trabalho traz como meta avaliar um método de detecção de eixos de caminhões em imagens. Para atingir essa meta, dois objetivos foram definidos: (1) segmentar a imagem de forma a separar o caminhão do fundo da imagem e (2) aplicar uma técnica que permita a identificação dos eixos.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Imagem digital

Uma imagem pode ser representada por uma função bidimensional $f(x, y)$, na qual x e y são as coordenadas no plano, e o valor de f em qualquer par de coordenadas (x, y) é chamado de intensidade ou nível de cinza naquele ponto. Em imagens coloridas, a intensidade de um determinado ponto é dada pela superposição de três valores em um determinado espaço de cor. Uma imagem digital é caracterizada por valores finitos e discretos de (x, y) e de f. Imagens digitais são formadas por elementos com localização e valor específicos dentro de uma matriz, chamados de elementos de imagem, elementos pictóricos, pels ou pixels. O valor de cada pixel é relacionado com o brilho do ponto correspondente na cena. [Gonzalez e Woods, 2010; Nixon e Aguado, 2008].

O mapa de bits define o tamanho da imagem em número de pixels ao longo da largura e da altura da mesma. Quanto mais pixels distribuídos na imagem (ou quanto mais pixels por polegada – PPI, do inglês, *Pixels per Inch*) melhor será a sua resolução. Nota-se também que resoluções menores do pixel contribuem com uma melhor qualidade da imagem, ou seja, quanto mais pixels por polegada, melhor é o resultado impresso. Todavia, quanto mais informação, mais espaço de armazenamento será necessário. A partir disso, é preciso saber combinar o tamanho digital do arquivo com a qualidade da imagem. A Figura 1(a) mostra a convenção de eixos para imagens utilizada em Processamento de Imagens e a Figura 1(b), a matriz de pixels que formam uma imagem digital.



$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

(a) (b)

Figura 1: Representação de imagens digitais: (a) convenção de eixos e (b) matriz de pixels

A matriz de pixels geralmente é representada por $M \times N$ pixels de m-bits, em que M é o número de linhas, N é o número de colunas e m o número de valores possíveis de brilho fornecido em um intervalo de 2^m valores que varia de 0 a $2^m - 1$. Por exemplo, uma imagem com 8 bits apresenta até 256 (= 2^8) níveis de brilho, sendo 0 o preto e 255 o branco e os valores intermediários são tons de cinza. Da mesma forma, uma imagem de 1 bit apresenta 2 (= 2^1) níveis de cinza, ou seja, o 0 como preto e o 1 como branco, caracterizando uma imagem binária [Nixon e Aguado, 2008].

2.2. Operadores em imagens

Algumas técnicas de Processamento de Imagens e Visão Computacional foram aplicadas no vídeo para a obtenção dos resultados. Esta seção se concentra em técnicas que promovem a segmentação do objeto de estudo (*foreground*). A segmentação é o processo que divide uma imagem em partes e o nível de segmentação vai depender do problema a ser resolvido. A qualidade da imagem influencia o processo de segmentação. Essencialmente, pode ter como base as fronteiras e as regiões de uma imagem: as fronteiras são linhas, cantos, curvas e indicam onde ocorrem descontinuidades; e as regiões indicam os pixels que possuem similaridade. Também existe a segmentação através da detecção de ponto isolado. Um resultado favorável acontece quando os pixels da mesma categoria (com escala de cinza similar) formam uma região conectada e se diferenciam dos pixels vizinhos (com diferentes valores de cinza). As técnicas de segmentação são muito úteis no processamento de imagens e a combinação com outras técnicas gera melhorias no desempenho do algoritmo e, consequentemente, no resultado final. Todos os estágios da análise de imagens se tornam mais simples quando a segmentação é bem feita [Gonzalez e Woods, 2010; Nixon e Aguado, 2008].

2.2.1. Limiarização

A limiarização (ou *thresholding*, do inglês) é um dos focos da segmentação de imagens. Tem como propósito identificar um objeto (*foreground*) de uma imagem e separá-lo do fundo (*background*). Assim, a limiarização procura extrair o objeto da imagem a partir da seleção de um valor de limiar *T*, que separa a imagem em dois grupos. Aos valores acima do limiar são atribuídos o valor 1 (identificação do provável objeto) e, os valores abaixo do limiar recebem 0 (fundo da imagem). A Equação 1 mostra, matematicamente, o processo explicado.

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & se \quad f(x,y) > T \\ 0, & se \quad f(x,y) \leq T \end{cases} \tag{1}$$

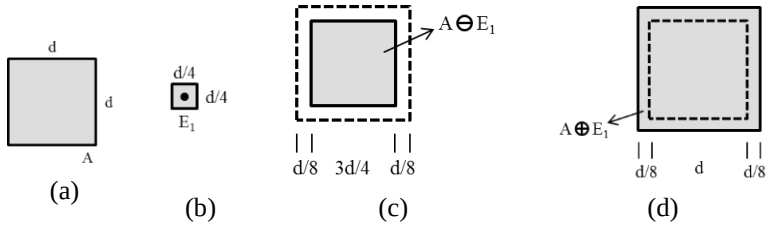
A limiarização pode ser realizada de duas formas: (1) uniforme, onde um único valor de limiar *T* é aplicado na imagem inteira; e (2) variável ou adaptativa, em que um valor de limiar *T* é definido para cada sub-região da imagem, ou seja, a imagem é subdividida em pequenas regiões e em cada uma é aplicada um limiar diferente [Gonzalez e Woods, 2010; Nixon e Aguado, 2008; Parker, 2010].

2.2.2. Morfologia matemática

Na área biológica, o termo morfologia é empregado para tratar da forma e da estrutura de animais e plantas. Porém, em processamento de imagens é empregado no contexto de morfologia matemática e se molda na remoção de imperfeições. Essa ferramenta é utilizada na extração de características que são úteis na representação e descrição da forma de uma região, como fronteiras e esqueletos [Gonzalez e Woods, 2010].

Existem diversas operações que podem ser realizadas com essa ferramenta. Porém, este trabalho se concentrou apenas no estudo da abertura e do fechamento, que são originados da erosão e da dilatação – operações fundamentais na manipulação morfológica. Essas operações se baseiam em uma matriz, chamada elemento estruturante, com origem definida e tamanho e forma determinados. Esse elemento interage com cada pixel da imagem modificando suas características (aparência, forma, tamanho). Contudo, é mais comum o uso de elementos simétricos e com origem no pixel central. O seu tamanho é o principal fator que interfere no resultado final da morfologia.

A erosão é indicada para a remoção de ruído em quaisquer imagens limiarizadas, pois afina, diminui ou encolhe objetos menores que o elemento estruturante. De forma contrária, a dilatação amplifica os objetos da imagem. A abertura e o fechamento são combinações das duas operações anteriores: a abertura é a erosão do objeto seguido de dilatação pelo mesmo elemento estruturante; no fechamento acontece o contrário – dilatação seguida de erosão [Amaral e Tozzi, 2011; Falcon, 2011; Gonzalez e Woods, 2010]. A Figura 2 exemplifica essas operações em uma imagem comum.



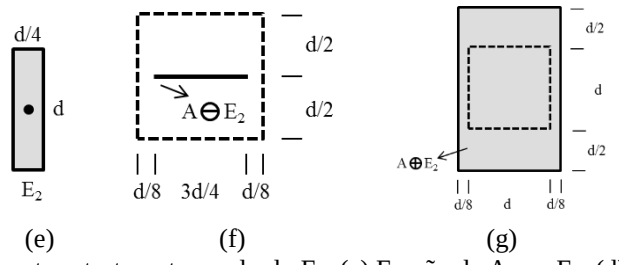


Figura 2: (a) Conjunto A, (b) Elemento estruturante quadrado E_1, (c) Erosão de A por E_1, (d) Dilatação de A por E_1, (e) Elemento estruturante retangular E_2, (f) Erosão de A por E_2, (g) Dilatação de A por E_2
Fonte: Baseado em Gonzalez e Woods, 2010

2.2.3. Transformada de Hough

A Transformada de Hough (TH) é uma técnica aplicada em imagens binárias para a detecção de curvas ou formas geométricas que possam ser parametrizadas, como linha reta, círculo, elipse, parábola etc. Sua primeira concepção se baseou na detecção de linhas retas [Hough, 1962]. Nos anos seguintes, com Duda e Hart [1972] veio a detecção de círculos. Com mais de 50 anos de existência, a TH tem expandido suas fronteiras e aplicações em diversas áreas têm surgido. Illingworth e Kittler [1988] e Hassanein *et al*. [2015] mostram uma revisão sobre a TH e algumas aplicações, dentre as quais são citadas: transportes e tráfego, medicina, indústria e comércio, interação homem-máquina, biometria, aplicações em 3D, reconhecimento de objetos e rastreamento de objetos. Devido ao grande número de parâmetros envolvidos, a complexidade computacional dos algoritmos de detecção de círculos e elipses é maior com relação aos algoritmos de detecção de retas.

2.3. Métricas de desempenho

Esta seção avalia a eficácia dos resultados considerando somente a quantidade de eixos. A Tabela 1 mostra uma matriz de contingência genérica na qual os dados de entrada e saída podem ser os eixos do caminhão ou qualquer outra região da imagem. As classificações são feitas a partir de eixos como entradas e, de saídas que podem ser eixos ou não. Se os eixos forem corretamente detectados, os mesmos são chamados de verdadeiros positivos (VP); se forem desenhados círculos em outras regiões da imagem, são falsos positivos (FP) e se não forem desenhados círculos na posição do eixo, falsos negativos (FN).

Tabela 1: Matriz de contingência

Saída \ Entrada	Eixo	Outra região
Eixo	Verdadeiro Positivo (VP)	Falso Positivo (FP)
Outra região	Falso Negativo (FN)	Verdadeiro Negativo (VN)

$$precisão = \frac{VP}{VP + FP} \qquad acurácia = \frac{VP + VN}{P + N} \qquad erro = \frac{FP + FN}{P + N}$$

É possível calcular três importantes métricas de desempenho [Metz, 1978; Fawcett, 2005] para esse banco de dados: precisão, acurácia e erro. A precisão mostra o grau de consistência, mas é altamente suscetível a conclusões equivocadas; a acurácia mostra o quão próximo o resultado está de seu parâmetro e reflete a exatidão do resultado; e o erro é a diferença entre a unidade e o valor da acurácia.

3. BASE DE DADOS

A base de dados utilizada neste trabalho é composta por vídeos obtidos a partir da filmagem do tráfego de caminhões no km 209+520m da rodovia Washington Luís (SP-310) – sentido norte no trecho entre São Carlos e Itirapina. Neste local está localizado um posto móvel de fiscalização de pesagem, operada pela concessionária Centrovias/Arteris. As filmagens foram realizadas com câmeras instaladas perpendicularmente ao eixo da rodovia, de forma que fosse possível obter o maior número de caminhões inteiros enquadrados na imagem, conforme ilustrado na Figura 4(a). Até a composição deste artigo foram obtidas cento e trinta imagens, porém são apresentados os resultados de dezessete imagens de caminhões, os quais ilustram configurações de 2 a 7 eixos. Os vídeos foram obtidos no espaço de cores RGB (do inglês, *Red*, *Green* e *Blue*), com resolução 1920×1080 pixels e no período da manhã (das 10h às 12h) do dia 27 de setembro de 2016.

4. MÉTODO PROPOSTO

O método proposto consiste na aplicação de técnicas de Processamento de Imagens em vídeos de caminhões com o foco na detecção dos eixos veiculares. A **Figura 3** apresenta o fluxograma do método composto por três etapas: definição da região de interesse (do inglês, *Region of Interest* – ROI), aplicação de técnicas de segmentação e detecção dos eixos dos caminhões. As técnicas de segmentação estão indicadas pelas linhas pontilhadas e a detecção dos eixos é executada pela Transformada de Hough Circular (THC). A Figura 4 mostra a aplicação das técnicas definidas no método, em ordem alfabética, para um caminhão da base de dados.

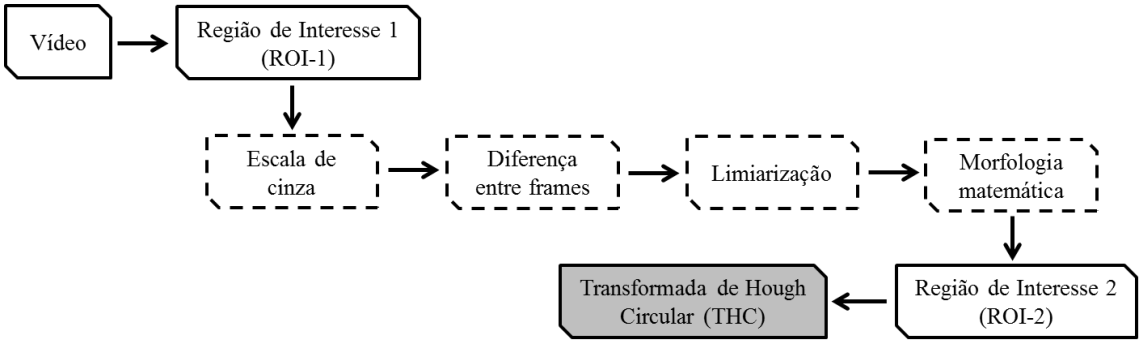


Figura 3: Fluxograma das etapas do método proposto



(a) Frame do vídeo



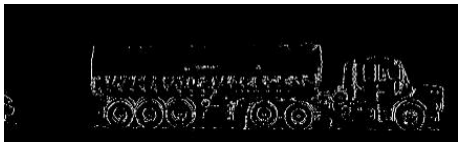
(b) Região de Interesse 1 (ROI-1)



(c) Escala de cinza



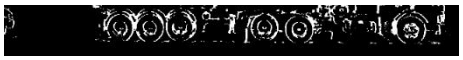
(d) Diferença entre frames



(e) Limiarização



(f) Morfologia matemática



(g) Região de Interesse 2 (ROI-2)



(h) Transformada de Hough Circular (THC)

Figura 4: Resultados de cada etapa do método proposto no fluxograma

Os códigos foram escritos em linguagem Python, utilizando a plataforma Anaconda versão 2.7, com o auxílio da biblioteca de funções do OpenCV (*Open Source Computer Vision*) versão 3.0.0. Python é uma linguagem intuitiva, de fácil uso, livre, está disponível em http://www.continuum.io/downloads. OpenCV é um pacote gratuito, composto por centenas de algoritmos otimizados de Visão Computacional, de uso acadêmico e comercial, mantido por diversos pesquisadores, universidades e usuários interessados, está disponível no site http://opencv.org. O processamento foi feito em um computador Core i7 3,40 GHz com 8 GB de memória RAM.

4.1. Região de interesse

A primeira região de interesse foi definida limitando a altura dos frames, a qual possui relação direta com a altura do maior caminhão do vídeo em análise. Isso foi feito para que uma menor quantidade de pixel fosse processada e, como consequência, ocupa menos memória computacional. Dessa forma, a probabilidade de acontecer erros durante o processamento é reduzida, melhorando o resultado final. A Figura 4(a) mostra o frame original (1920 × 1080 pixels) capturado pela câmera e a Figura 4(b) o frame recortado (1920 × 584 pixels) com base na ROI-1 de um caminhão da base de dados. A ROI-2 foi definida com relação à primeira para facilitar a aplicação da THC na imagem com morfologia matemática (a THC foi aplicada a dois terços da altura do frame recortado, considerando a convenção de eixos utilizada em processamento de imagens) e apresentou o tamanho 1920 × 199 pixels, conforme Figura 4(g).

4.2. Segmentação

O conjunto das técnicas mostradas nas subseções seguintes, 4.2.1 a 4.2.4, colaboram com a segmentação do caminhão que, nesse caso, é importante para facilitar a tarefa de detectar os eixos. Quanto melhor o resultado da segmentação, mais chances de detectar os eixos corretamente o programa apresenta.

4.2.1. Escala de cinza

Os vídeos foram capturados no espaço de cores RGB, porém todo o processamento foi realizado em imagens monocromáticas (escala de cinza ou binárias), pois algumas das técnicas utilizam somente imagens em escala de cinza ou imagens binárias, como por exemplo, a Transformada de Hough. Cada frame colorido foi convertido para uma imagem em escala de cinza, como ilustrado na Figura 4(c).

4.2.2. Diferença entre frames

A subtração entre frames é a diferença pixel a pixel entre o frame atual e o seu antecessor, calculada com a finalidade de identificar o objeto em movimento, neste caso o caminhão. A

subtração remove o fundo estático e deixa visível apenas os objetos não estáticos. A Figura 4(d) exemplifica a diferença entre frames aplicada no vídeo, destacando um caminhão da base de dados.

4.2.3. Limiarização

Neste trabalho, foi utilizado o limiar adaptativo aplicado na imagem da diferença absoluta entre frames da Figura 4(d), resultando no realce do *foreground* (objeto de interesse). A Figura 4(e) mostra o resultado da limiarização aplicando a função da biblioteca do OpenCV:

cv:: adaptiveThreshold(src, dst, maxValue, adaptiveMethod, thresholdType, blockSize, C) (2)

Essa função requer uma entrada monocromática (*src*) e gera uma saída binária (*dst*) com base na definição de parâmetros, como o valor máximo de intensidade dos pixels (*maxValue*) que nesse caso foi igual a 255, o tipo de limiar (*thresholdType* considerado binário), o método adaptativo gaussiano (*adaptiveMethod*) como a diferença entre a soma ponderada da área definida pela vizinhança (*blockSize*) de 81 pixels e a constante *C* de valor -20. Esses valores de vizinhança e de constante foram definidos como os mais adequados a partir de uma análise de sensibilidade e visualização dos resultados.

4.2.4. Morfologia matemática

Após alguns testes, e com o suporte da literatura, verificou-se que a operação de fechamento (parâmetro *op*), observada na Figura 4(f), foi adequada ao propósito de auxiliar na segmentação do caminhão. A escolha do fechamento ocorreu devido à capacidade dessa operação conectar conjuntos separados, preenchendo buracos, e eliminar detalhes que existiam no *background* da imagem limiarizada. A biblioteca do OpenCV traz a função da morfologia matemática otimizada mostrada na Equação 3. Essa função é aplicada em uma imagem de entrada (*src*) e produz uma saída (*dst*) através da aplicação de um elemento estruturante quadrado de ordem 3 composto de pixels brancos (parâmetro *kernel*) com origem definida no centro (*anchor* igual a (-1,-1)) em duas iterações (parâmetro *iterations*).

cv:: morphologyEx(src, dst, op, kernel, anchor, iterations, borderType, borderValue) (3)

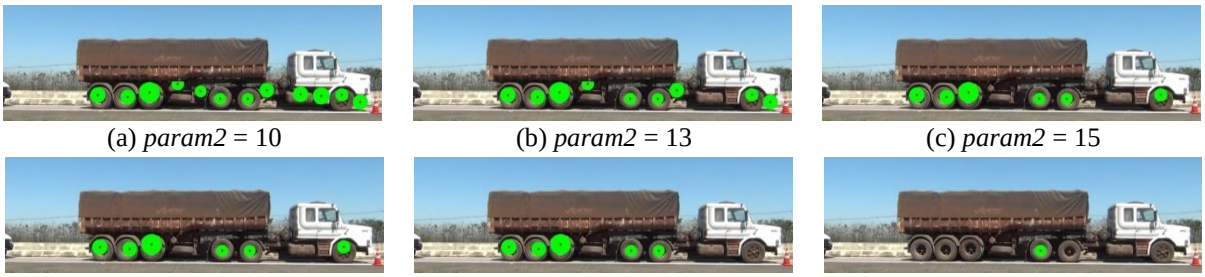
4.3. Detecção dos eixos dos caminhões

A detecção dos eixos dos caminhões foi realizada pela aplicação da técnica da Transformada de Hough Circular (THC), conforme a Figura 4(h). A escolha da Transformada de Hough (TH) se deu por ser um método prático para detectar curvas, além de estar implementada de forma otimizada no pacote de funções do OpenCV, como mostra a Equação 4:

cv:: HoughCircles(image, circles, method, dp, minDist, param1, param2, minRadius, maxRadius) (4)

Esta função procura círculos na imagem de entrada monocromática (*image*) e gera como saída um vetor com três valores (*circles* = (x, y, raio)). O *method* utilizado foi fundamentado na direção do gradiente [Yuen *et al*., 1990], a resolução do acumulador foi a mesma que a da imagem de entrada (*dp*=1), a distância mínima entre os centros dos círculos detectados (*minDist*) foi definida como 100 pixels, o *param1* (baseado no *method* definido) é o maior limiar para o detector de Canny e possuiu valor 50, o *param2* (baseado no *method* definido) é o limiar do acumulador para os centros dos círculos na fase de detecção e foi fixado em 17, e por fim, os raios mínimo (*minRadius*) e máximo (*maxRadius*) foram de 30 e 60 pixels, respectivamente.

Foram realizadas diversas combinações entre os valores dos parâmetros da Equação 4 e foi possível concluir que o parâmetro mais sensível às variações é o *param2*. A Figura 5 ilustra os resultados da detecção de eixos a partir da análise de sensibilidade desse parâmetro. Observa-se que variando o *param2*, mais círculos (FP no caso de valores menores do *param2*) ou menos círculos (FN no caso de valores maiores do *param2*) são detectados.



(a) *param2* = 10 (b) *param2* = 13 (c) *param2* = 15

(d) *param2* = 17 (e) *param2* = 20 (f) *param2* = 25

Figura 5: Variação do *param2*

5. RESULTADOS

Os resultados estão apresentados de acordo com dois cenários avaliados: (1) quantidade de eixos detectados e (2) localização dos eixos detectados. A Figura 6 ilustra as respostas obtidas pelo programa seguindo as etapas do método proposto. As marcações em destaque nas imagens que foram identificadas pelo programa indicam os círculos que possivelmente representam os eixos do caminhão.



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

(g) (h) (i)

(j) (k) (l)

(m) (n) (o)

(p) (q)

Figura 6: Resultado do processamento dos caminhões

5.1. Quantidade de eixos

A Tabela 2 mostra a matriz de contingência que relaciona a quantidade de eixos verdadeiros do caminhão (Entrada) com a quantidade de eixos detectados (Saída). A diagonal principal da matriz (definida pela linha pontilhada) é o resultado ideal, em que todos os eixos foram detectados gerando uma classificação VP. Os valores acima da diagonal principal recebem classificação FN, pois a detecção apresenta uma quantidade inferior à quantidade de eixos. Para os valores abaixo da diagonal principal, classificação FP, a detecção gera uma quantidade maior do que a quantidade de eixos.

Tabela 2: Matriz de contingência considerando as imagens da Figura 6**:** Resultado do processamento dos caminhões

Saída \ Entrada	0	1	2	3	4	5	6	7	Total
0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
1	0	0	2	0	0	0	0	0	2
2	0	0	1	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	4	0	0	0	0	4
4	0	0	0	0	1	0	0	0	1
5	0	0	0	0	1	2	1	0	4
6	0	0	0	0	0	0	1	0	1
7	0	0	0	0	0	0	1	1	2
Total	0	0	4	5	2	2	3	1	17

Nota-se que a Tabela 2 está composta por elementos VP, FN e FP. Imagens VN não apareceram nesta análise, pois a função da THC busca círculos candidatos a eixos na imagem segmentada. Devido a isso, as saídas resultantes partiram de entradas com um formato circular (círculos que indicam ou não os eixos). Conduzindo o raciocínio mostrado para esse estudo, os eixos de cada caminhão são representados como entradas genuínas. Para as saídas: na condição do programa ter identificado todos os círculos que representam os eixos, os mesmos são classificados como VP; os que não foram identificados são FN; e se foram desenhados círculos que não são eixos, esses eixos são FP. Para os eixos que não foram detectados, a suposição que se faz, fundamentada na pequena experiência e nos testes realizados até o momento, é o caminhão estar com velocidade muito baixa ou quase nula, sendo reconhecidos como elemento estático da imagem, ou seja, *background*. Investigações e comparações com outros resultados estão sendo realizadas para verificar os casos em que a THC não é efetiva na identificação de determinado(s) eixo(s). Considerando este estudo, a precisão apresentou valor igual a 83,3%, a acurácia, 58,8% e o erro, 41,2%.

5.2. Quantidade e posição dos eixos

A segunda análise foi feita quanto à eficácia em identificar a quantidade e o posicionamento dos eixos. A Tabela 3 mostra a quantidade de eixos que cada caminhão realmente possui contada manualmente (marcação cinza) comparada com a quantidade de eixos que o programa identificou (marcada com VP, FN ou FP). A porcentagem de acerto segue na mesma tabela. Os caminhões (b), (f), (g), (h), (i), (k), (l), (n) e (q) da Figura 6 apresentaram taxa de acerto de 100%, ou seja, todos os eixos foram corretamente identificados e não apareceram círculos remanescentes. O contrário aconteceu com as imagens (c) e (e) da Figura 6, nas quais nenhum eixo foi encontrado. Nas imagens (a), (d) e (p) da Figura 6, o programa falhou ao identificar todos os eixos, de forma que nas duas primeiras, a taxa de acerto foi de 50% e na última, aproximadamente, 83%. Já para as imagens (j) e (o) da Figura 6, o (*) indica

que foi desenhado um círculo que não pertence ao conjunto de eixos do caminhão. Apesar disso, pode ser estabelecido que houve 100% de acerto, visto que as etapas de contagem e verificação, que estão sendo refinadas na dissertação de mestrado a qual serviu como base para este trabalho, descartarão os círculos que não representam os eixos. Na imagem (m) a quantidade de círculos desenhada é a mesma quantidade de eixos do caminhão, porém possuiu 80% de acerto, uma vez que um deles não faz parte do conjunto.

Tabela 3: Eixos verdadeiros do caminhão e os detectados pelo programa considerando as imagens da Figura 6

Quantidade de eixos \ Imagem	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)	(q)
1	VP	VP	**FN**	VP	**FN**	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
2	**FN**	VP	**FN**	**FN**	**FN**	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
3					**FN**	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
4										VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP
5										***FP***		VP	**FN**	VP	VP	VP	VP
6													***FP***	VP	VP	**FN**	VP
7															***FP***		VP
Porcentagem de acerto	50	100	0	50	0	100	100	100	100	100*	100	100	80	100	100*	83	100

Ainda na Tabela 3, percebe-se que os resultados foram classificados como na da Seção 5.1. (VP, FN e FP) e o mesmo raciocínio da quantidade de eixos pode ser aplicado simultaneamente à posição dos círculos verdes da Figura 6. Os eixos com classificação VP foram detectados na posição correta; os com classificação FN, não foram detectados; por fim, os que receberam classificação FP foram desenhados fora do local exato do eixo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas neste trabalho fazem parte de uma pesquisa de mestrado em andamento e têm como foco a detecção de eixos de caminhões. De forma geral, apesar do tamanho reduzido da amostra de imagens utilizada, os objetivos estabelecidos para esta investigação foram cumpridos, visto que a segmentação do caminhão e a detecção de eixos foram feitas com sucesso e isso é reforçado observando o nível de precisão do programa (83,3%). A segmentação é uma etapa muito importante, pois pode comprometer o resultado gerado na detecção dos eixos, já que o desempenho da detecção está diretamente ligado com a etapa de segmentação. Quanto menos informações o *background* (fundo) e o *foreground* (região de interesse) possuírem, maior é a chance de identificar os eixos do caminhão corretamente. Vale observar que ainda existem falhas na geração dos resultados, como inexistência ou falsas detecções, comprovada pela acurácia de 58,8%. Essas falhas podem ter sido ocasionadas devido alguns fatores: a velocidade dos veículos, o contraste entre os eixos e as outras partes do caminhão, a quantidade de elementos na imagem que possuem formato semelhante aos eixos. A ideia é aprimorar cada etapa e automatizar o maior número de parâmetros das funções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, W. M. e Tozzi, C. L. (2011) Uso de morfologia matemática para remoção de ruídos da subtração de fundo. *Anais do VII Workshop de Visão Computacional*, WVC, Curitiba, v. 1, p. 10-15.

Brasil. (2015) *Lei nº 13.103, de 2 de março de 2015*. Dispõe sobre o exercício da profissão de motorista; altera a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e as Leis nos 9.503, de 23 de setembro de 1997 - Código de Trânsito Brasileiro, e 11.442, de 5 de janeiro de

2007 (empresas e transportadores autônomos de carga), para disciplinar a jornada de trabalho e o tempo de direção do motorista profissional; altera a Lei no 7.408, de 25 de novembro de 1985; revoga dispositivos da Lei no 12.619, de 30 de abril de 2012; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 de março de 2015. Seção 1, p. 1.

DENATRAN. (1998) *Resolução CONTRAN nº 12, de 23 de setembro de 1997*. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres

DENATRAN. (2010) *Resolução CONTRAN nº 340, de 25 de fevereiro de 2010*. Referenda a Deliberação 86 que altera a Resolução CONTRAN nº 146/03, estabelecendo critérios para informação complementar à placa R-19.

DENATRAN. (2015) *Resolução CONTRAN nº 526, de 29 de abril de 2015*. Referenda a Deliberação nº 142 de 17 de abril de 2015 que dispõe sobre a alteração da Resolução CONTRAN nº 211, de 13 de novembro de 2006, e da Resolução CONTRAN nº 258, de 30 de novembro de 2007 e revoga a Resolução CONTRAN nº 489 de 05 de junho de 2014.

Duda, R. O. e Hart, P. E. (1972) Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, v. 15, n. 1, p. 11-15.

Facon, J. (2011) A Morfologia Matemática e suas Aplicações em Processamento de Imagens. *VII Workshop de Visão Computacional*, WVC, Curitiba, v. 13, p. 61-128.

Fernandes Junior, J. L. (1994) *Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de Pavimentos*. Tese (Doutorado), Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 293 f.

Fawcett, T. (2005) *An Introduction to ROC Analysis*. Pattern Recognition Letters, 27, p. 861-874. DOI:10.1016/j.patrec.2005.10.010

Gonzalez, R. C. e Woods R. E. (2010) *Processamento Digital de Imagens*. Tradução de Cristina Yamagami e Leonardo Piamonte. Revisão técnica de Marcelo Andrade da Costa Vieira e Mauricio Cunha Escarpinati. 3ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 624p. ISBN: 978-85-7605-401-6.

Hassanein, A. S.; Mohammad, S., Sameer, M. e Ragab, M. E. (2015). *A survey on Hough transform, theory, techniques and applications*.

Hough, P. V. C. (1962) *Method and means for recognizing complex patterns*.

Illingworth, J. e Kittler, J. (1988) A survey of the Hough transform. *Computer vision, graphics, and image processing*, v. 44, n. 1, p. 87-116.

Frenze, J. F. (2002) *A video-based method for the detection of truck axles*. National Institute for Advanced Transportation Technology, University of Idaho.

Metz, C. E. (1978) Basic Principles of ROC Analysis. *Seminars in Nuclear Medicine*, vol. 3, n.4, p. 283-298.

Nixon, M. e Aguado, A. (2008) *Feature Extraction & Image Processing*. Second edition. Londres: Elsevier. 424p. ISBN: 978-0-12372-538-7.

Parker, J. R. (2011) *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*. Second edition. Indianopolis, Indiana: Wiley. 504p. ISBN: 978-0-470-64385-3.

Pimenta, C. R. T. e Oliveira M. P. (2004) *Projeto Geométrico de Rodovias*. Segunda edição. São Carlos: Rima. 198 p. ISBN: 8586552917.

Simoni, L. (2008) *Contagem de Eixos de Veículos com Sensores Indutivos*. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Yao, Z.; Wei, H.; Li, Z.; Corey, J. (2016) Fuzzy C-Means Image Segmentation Approach for Axle-Based Vehicle Classification. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2595, p. 68-77.

Yuen, H. K.; Princen, J.; Illingworth, J. e Kittler, J. (1990) A comparative study of Hough transform method for circle finding. *Image and Vision Computing*, v. 8, n. 1, p. 71-77.

Contatos:
Mestranda Natália Ribeiro Panice (panice_post@usp.br)
Prof. Dr. André Luiz Barbosa Nunes da Cunha (alcunha@usp.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos, SP, Brasil

CONTROLE DO FLUXO PRINCIPAL EM RODOVIAS POR MEIO DE VEÍCULOS COOPERATIVOS EQUIPADOS COM CONTROLE ADAPTATIVO DE CRUZEIRO

Jéssica Aquino Chaves
Rodrigo Castelan Carlson
Eduardo Rauh Müller
Werner Kraus Junior
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas

RESUMO
O Controle do Fluxo Principal (CFP) em rodovias é um método de controle de tráfego que regula o fluxo de veículos a montante de um gargalo a fim de melhorar o fluxo de tráfego da malha viária. Limites Variáveis de Velocidade (LVV) são usados como atuador do CFP. Além de painéis de mensagens variáveis, veículos cooperativos equipados com Controle Adaptativo de Cruzeiro recebem a informação de LVV da via. A influência de diferentes taxas de penetração de veículos cooperativos no tráfego é avaliada. Simulações microscópicas mostram que o aumento da taxa de penetração contribui para o melhor desempenho do sistema. Para altas taxas de penetração, é necessária uma estratégia auxiliar para facilitar a inserção dos veículos ao fluxo principal.

ABSTRACT
Mainstream Traffic Flow Control (MTFC) on freeways is a traffic control method that aims to regulate vehicle flow upstream from a bottleneck in order to improve the freeway throughput. Variable Speed Limits (VSL) are used as MTFC actuators. Besides Variable Message Signs, cooperative vehicles equipped with Adaptive Cruise Control (ACC) receive VSL values from the infrastrucutre. The influence of different penetration rates of cooperative vehicles on traffic is evaluated. Microscopic simulation shows that an increase in penetration rate contributes to a performance improvement. For high penetration rates, an auxiliary strategy is necessary to facilitate the merging of vehicles into the main flow.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de transporte têm sido um dos pilares no desenvolvimento da sociedade (TRB, 1998). O investimento nesses sistemas cria ou melhora o acesso à educação, ao trabalho, a centros de saúde, e ao transporte de bens e serviços. Por outro lado, o excesso de demanda em relação à infraestrutura existente, especificamente no caso do automóvel particular de passeio, provoca o aumento de congestionamentos que, por sua vez, implica na redução do escoamento de veículos, no aumento do atraso, na emissão de poluentes, causa stress, dentre outros problemas (Carlson *et al.*, 2013; Hegyi *et al.*, 2013). Como mudanças na infraestrura nem sempre são viáveis, há grande interesse no estudo de ferramentas de gerenciamento de tráfego para aumentar a eficiência do tráfego (Grumert *et al.*, 2015). Em anos recentes, destaca-se o uso de Limites Variáveis de Velocidade (LVV) (Carlson *et al.*, 2010, 2013; Grumert *et al.*, 2015; Khondaker e Kattan, 2015).

A principal contribuição do uso de LVV é a redução e homogeneização da velocidade que proporciona o aumento da segurança (Carlson, 2010; Caleffi e Cybis, 2016; Kattan e Khondaker, 2014) e a redução de impactos ambientais (Grumert *et al.*, 2015; Khondaker e Kattan, 2015). De fato, ao longo dos anos, em locais onde foi implementado LVV houve uma redução de 20% a 30% no número de acidentes (Carlson *et al.*, 2010). Um fator importante para o funcionamento dos LVV é a observância dos motoristas ao limite de velocidade imposto (Harms e Brookhuis, 2016). Este fator foi contornado por Carlson *et al.* (2013) e Müller *et al.* (2015), por meio do

Controle do Fluxo Principal (CFP) usando um controlador realimentado que induz a redução do limite de velocidade até que o efeito desajado no fluxo seja atendido.

Com o desenvolvimento de Veículos Automatizados e Sistemas de Comunicação (VACS - *Vehicle Automation and Communication Systems*) (Kesting *et al.*, 2007; Shladover, 2012), surgem sistemas que aumentam o conforto e a segurança dos motoristas, e, potencialmente, contribuem para a eficiência do tráfego (Shladover, 2012). A tecnologia LVV foi implementada em conjunto com estes sistemas cooperativos em trabalhos anteriores. Estes sistemas possibilitam que os veículos recebam a informação de limite de velocidade da via e auxiliem a regular a velocidade dos veículos (Grumert *et al.*, 2015) ou ainda auxiliem o CFP a aumentar o fluxo na via principal (Müller *et al.*, 2015, 2016). Os veículos podem, também, atuar como sensores e fornecer informações de velocidade (Kattan e Khondaker, 2014), de formação de congestionamento, de paradas repentinas e de mudanças de faixa (Hegyi *et al.*, 2013; Khondaker e Kattan, 2015), auxiliando os sistemas de controle da via.

Um sistema relevante neste contexto é o controle adaptativo de cruzeiro (ACC - *Adaptive Cruise Control*) (Kesting *et al.*, 2007). Os veículos equipados com ACC podem ter menores tempos de resposta a perturbações no tráfego ao fazer o controle de distância entre veículos e o controle de velocidade do veículo (Shladover, 2012). Portanto, potencialmente contribui para uma homogeneização do fluxo do tráfego (Ntousakis *et al.*, 2015; Shladover, 2012) e uma redução no tempo total de viagem (Shladover, 2012). Além disto, Ntousakis *et al.* (2015) avaliou as diferentes taxas de penetração de veículos equipados com ACC e os diferentes *headways*, e constatou que, como esperado, quanto menor o *headway* entre veículos, maior a capacidade da via.

Este trabalho analisa o controle por LVV na vizinhança de rampas de acesso em rodovias, envolvendo veículos cooperativos equipados com controle adaptativo de cruzeiro. Para isto, cenários foram implementados no microssimulador de tráfego Aimsun (TSS, 2015), utilizando a interface de programação de aplicações (API) com a linguagem Python (Van Rossum e Drake, 2011) e o kit de desenvolvimento MicroSDK do próprio simulador para modelagem do comportamento dos veículos cooperativos.

Este trabalho propõe uma extensão do trabalho de Müller *et al.* (2016) e avalia o desempenho do tráfego para o caso de veículos cooperativos equipados com controle adaptativo de cruzeiro. São analisadas diferentes taxas de penetração, combinadas com os sinais de LVV, e diferentes *headways* entre veículos. Resultados indicam que os veículos cooperativos ao CFP-LVV influenciam e auxiliam o controle do tráfego, proporcionando uma melhoria no desempenho do sistema mesmo para baixas taxas de penetração.

Na Seção 2 será explicado o controle CFP-LVV e a configuração dos veículos. Na Seção 3 serão abordados os aspectos técnicos da simulação e os parâmetros necessários para implementação e avaliação do sistema. Na Seção 4 serão apresentados os resultados. Nas Seção 5 são feitas as considerações finais do trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Limites Variáveis de Velocidade

Limites Variáveis de Velocidade (LVV) é uma ferramenta que permite mudanças dinâmicas no tráfego através da alteração do limite de velocidade na via (Caleffi e Cybis, 2016; Kattan e Khondaker, 2014). Müller *et al.* (2016) explora três formas de aplicação de LVV: LVV a nível de Seção (LVV-S), o LVV Pontual (LVV-P) e o LVV Cooperativo (LVV-C).

O LVV-P caracteriza-se pela aplicação de limites de velocidades em pontos específicos da via. Assim, os veículos ajustam a sua velocidade à do painel de LVV quando passam pelo ponto onde este está instalado e mantêm esta velocidade até que encontrem outro painel. Logo, um novo limite de velocidade é imposto somente aos veículos que passarem por aquele ponto, não afetando os veículos que já passaram por ele. De acordo com Müller *et al.* (2015), as alterações no tráfego sob LVV-P são mais lentas e o efeito do aumento do limite de velocidade demora mais para aparecer do que a redução do mesmo. Além disso, quando o limite de velocidade aplicado é muito menor do que a velocidade em que os veículos se encontravam, é criado um espaço vazio entre veículos neste ponto de aplicação.

O LVV-S caracteriza-se pela aplicação de LVV em uma determinada seção da rodovia, ou seja, todos os veículos dentro daquela seção ajustam suas velocidades para o novo limite de velocidade. O conceito de LVV Cooperativo (LVV-C) é uma adaptação de LVV-S, no qual o sistema é capaz de transmitir as informações de limite de velocidade diretamente para os veículos cooperativos via integração veículos-infraestrutura (V2I). Assim, os veículos cooperativos dentro da seção passam a auxiliar a regulagem da velocidade dos demais veículos.

2.2. Controle do Fluxo Principal

Controle do Fluxo Principal (CFP) é uma estratégia de gerenciamento de tráfego que visa melhorar o escoamento dos veículos na via (Carlson *et al.*, 2010, 2013). A melhoria é obtida por meio da redução do fluxo de veículos a montante de um gargalo, evitando assim o congestionamento e a queda de capacidade no mesmo. A queda de capacidade é um fenômeno identificado quando se forma um congestionamento, fazendo com que a via opere abaixo de sua capacidade nominal, reduzindo assim o escoamento de veículos.

De acordo com Papageorgiou *et al.* (2008), limites de velocidade baixos induzem um fluxo de capacidade baixo. Logo, o LVV pode ser utilizado como atuador do CFP. A retenção dos veículos por meio da redução da velocidade, cria na região de aplicação do LVV um congestionamento controlado. Por consequência, esta região, denominada *área de aplicação* (ver Figura 1), deve ser localizada a uma distância suficientemente a montante do gargalo para que os veículos consigam acelerar e chegar à região do gargalo com a velocidade correspondente ao fluxo máximo, permitindo que a via opere em sua capacidade. Este segmento de via entre a área de aplicação e o gargalo é chamada de área de aceleração.

2.3. Controle Adaptativo de Cruzeiro

Inicialmente desenvolvidos para garantir o conforto e a segurança dos passageiros, veículos com ACC viraram alvo de estudo de pesquisadores da área, pois também afetam o tráfego (Ntousakis *et al.*, 2015). Estes veículos já estão disponíveis no mercado e exigem do motorista apenas a configuração de velocidade a ser mantida e o intervalo temporal de segurança entre si e o

veículo à frente. Este intervalo temporal corresponde à medida do tempo em que dois veículos sucessivos passam por um mesmo ponto e é chamado de *headway*.

Os veículos equipados com ACC seguem a estrutura de controle proposta por Shladover *et al.* (2012), que é utilizada nos carros da Nissan. O sistema consiste de dois modos de controle, controle de velocidade e controle de distância. Quando é detectada a presença de um veículo suficientemente próximo à frente, é adotado o modo de controle de distância, mantendo o *headway*. Caso contrário, é adotado o modo de controle de velocidade, no qual o veículo tenta manter a velocidade máxima da via ou a velocidade desejada. A redução e aumento da velocidade devem ser feitos de forma suave para um maior conforto dos passageiros e também para uma melhor homogeneização do tráfego (Ntousakis *et al.*, 2015).

3. CONFIGURAÇÕES DA SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas no microssimulador de tráfego Aimsun. Foram realizadas doze replicações para cada cenário, a fim de obter um intervalo de confiança de 95% e melhor representatividade do modelo (Dowling *et al.*, 2004).

3.1. Malha viária e demanda

Foi utilizada a mesma malha viária de Müller *et al.* (2015, 2016) (Figura 1) composta por uma via principal de duas faixas e uma rampa de acesso. A rampa de acesso permite a entrada de veículos numa (terceira) faixa de aceleração de 200 m de extensão, que se inicia 4 km após o início da via. Esse trecho com três faixas é chamado de área de inserção. Ao final dela, a redução do número de faixas cria um gargalo em potencial.

Seis painéis de LVV estão dispostos na via, um no início e outro no final da área de aplicação que se estende por 300 metros (Figura 1). Os demais painéis estão dispostos a montante da área de aplicação. O painel 6 exibe sempre o limite de velocidade de 100 km/h a fim de garantir que os veículos possam acelerar e chegar no final da área de aceleração com velocidade próxima à velocidade crítica, permitindo o escoamento máximo. Os painéis a montante da área de aplicação foram posicionados a cada 500 m para garantir a redução gradual da velocidade para os veículos que se aproximam da área de aplicação. O limite de velocidade exibido em cada sinal e entre sinais tem variação máxima de 20 km/h entre períodos de controle.

A demanda utilizada foi a mesma de Müller *et al.* (2015). A Figura 2 mostra a demanda para um período de simulação de 3 horas. A simulação começa com a malha vazia, cuja demanda

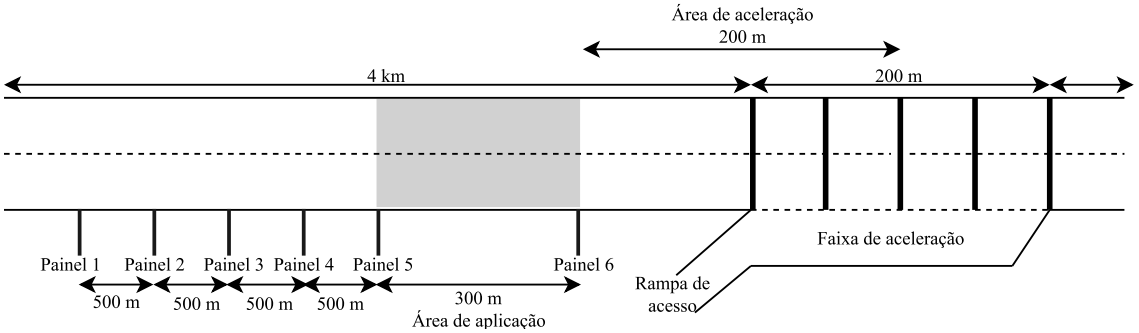


Figura 1: Esquema representativo da malha viária

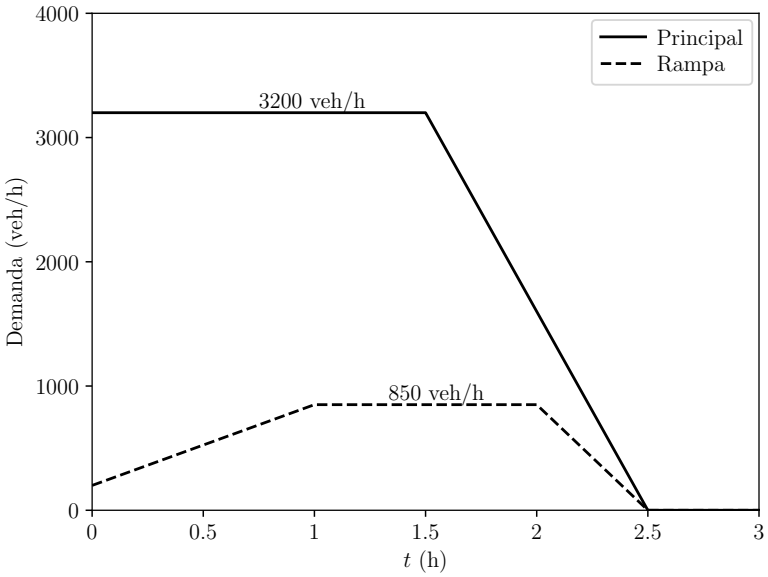


Figura 2: Demanda da via principal e da rampa de acesso

atinge o máximo após 1 h de simulação. A demanda máxima da rampa permanece durante 1 h para representar o horário de pico. Esta demanda cria um congestionamento no cenário sem controle e permite que em todos os cenários todos os veículos consigam deixar a malha viária até o final da simulação.

Em todos os cenários foi configurado que 80% dos veículos aceitam reduzir sua velocidade para facilitar a entrada de outros veículos, exceto no cenário especificado na Seção 4.3. Estes parâmetros, juntamente com a configuração dos veículos, foram responsáveis por uma capacidade nominal da via de 3900 veh/h e uma queda de capacidade de 22% no cenário sem controle, similares aos valores obtidos por Müller *et al.* (2015, 2016).

3.2. Configuração dos veículos

Neste trabalho foram consideradas duas categorias de veículos leves: veículos comuns, sem tecnologias que auxiliam o motorista, e veículos parcialmente automatizados, que ainda requerem um motorista, mas que são cooperativos e contam com controle adaptativo de cruzeiro (ACC).

Os veículos não automatizados neste trabalho seguem os modelos *car-following* de Gipps (Gipps, 1981, 1986b), que são utilizados no Aimsun. Para os veículos cooperativos, não foi admitida variabilidade para os parâmetros, com excessão do comprimento dos veículos. Estas variações inserem uma estocasticidade no sistema que representam o papel do fator humano em veículos não cooperativos.

Os parâmetros dos veículos estão especificados na Tabela 1. O fator aceitação da velocidade é multiplicado pelo limite de velocidade da via para obter a velocidade seguida pelo veículo. Os veículos cooperativos seguem o limite da via precisamente, diferentemente dos motoristas humanos, que seguem o limite de velocidade imposto no painel com uma variabilidade de 10%. Os parâmetros aceleração e desaceleração dos motoristas e veículos automatizados foram

definidos de acordo com El-Shawarby *et al.* (2007) e Ntousakis *et al.* (2015).

O tempo de reação dos motoristas é de 1 s. Para sistemas automatizados, Kesting *et al.* (2007) sugere a escolha de 0,2 s para o tempo de reação dos veículos cooperativos, valor que foi o adotado neste trabalho. Não foram considerados ruídos ou atrasos no sistema.

Tabela 1: Configuração dos Parâmetros dos Veículos

Parâmetros Veículos	Sem ACC	Com ACC
Comprimento [m]	4,0 ± 0,5	4,0 ± 0,5
Velocidade máxima [km/h]	100,0 ± 10,0	100,0 ± 0,0
Aceitação da velocidade	1,0 ± 0,1	1,0 ± 0,0
Tempo de reação [s]	1,0 ± 0,0	0,2 ± 0,0
Aceleração [m/s^2]	3 ± 0,1	2 ± 0,0
Desaceleração [m/s^2]	4 ± 0,25	2 ± 0,0

Além disso, os parâmetros de configuração da via para o modelo de *car-following* com respeito à diferença máxima de velocidade entre as duas faixas da via principal e a diferença entre a faixa da direita e a faixa de aceleração, foram configurados como 20 km/h e 30 km/h, respectivamente. Para os veículos cooperativos foi configurado o alcance do sensor para detecção de um veículo à frente. Este alcance foi 200 m, calculado de acordo com Wang *et al.* (2014).

3.3. Sistema de controle

A implementação do CPF-LVV é feita por meio de um controle realimentado do tipo integral, que regula a ocupação na região do gargalo a partir do controle da velocidade dos veículos na área de aplicação e seu efeito no fluxo. A taxa do limite de velocidade $0 < b \leqslant 1$ é a razão entre o limite de velocidade aplicado e o limite de velocidade nominal (ou máximo) da via, em que $b = 1$ representa o limite de velocidade máximo adotado pelo controle. A taxa b, no instante de tempo $t = kT$, T sendo o período de controle, é dada por:

$$b(k) = b(k-1) + K_{\mathrm{I}}.e_{\mathrm{o}}(k), \tag{1}$$

em que e_{o} é o erro da ocupação dado por $e_{\mathrm{o}}(k) = \hat{o} - o(k)$, sendo $\hat{o}$ a ocupação de referência (*set-point*). Esta ocupação referência é próxima à ocupação crítica, que corresponde ao valor de ocupação referente ao fluxo de capacidade da via. O ganho do controlador K_{I} é é escolhido de acordo com o ponto de operação do sistema a partir de um escalonador de ganhos. Isto é necessário devido à não linearidade da relação limite de velocidade e fluxo de capacidade (ver Müller *et al.*, 2015).

A ocupação $o(k)$ é medida em cinco detectores na região de inserção da via principal (Figura 1), posicionados com uma distância de 50 m entre si. Esta configuração foi necessária pois a região da via em que os veículos tendem a se inserir no fluxo principal varia conforme as condições de tráfego, se movendo em direção ao gargalo conforme a quantidade de veículos aumenta.

Como a proporção de veículos cooperativos interfere no comportamento do sistema, cada cenário teve a ocupação de referência e ganhos do controlador configurados individualmente.

4. RESULTADOS

Os resultados das simulações apresentados correspondem à média das 12 replicações. O indicador de desempenho analisado foi o tempo total de viagem (TTV), em horas. O TTV representa a soma do tempo gasto para cruzar a malha por todos os veículos, somada ao tempo dos veículos que não conseguiram entrar imediatamente na malha e permaneceram aguardando em fila virtual. Assim, um menor TTV indica que os veículos tiveram velocidades médias mais altas, atrasos menores, e, possivelmente, menor tempo parados em filas ou congestionamento. O TTV é diretamente comparável entre cenários pois a quantidade de veículos que cruza a malha é a mesma em todos eles.

4.1. Configuração dos cenários

Este estudo compreende a análise de 42 cenários. Os veículos cooperativos foram introduzidos em diferentes taxas de penetração e em cada cenário foi analisado o desempenho do sistema se estes veículos mantivessem o *headway*/velocidade especificados. As taxas de penetração consideradas foram de 0%, 10%, 20%, ... , 90%, 100% e os *headways* foram 0.8 s, 1.0 s, 1.4 s, 1.8 s. Os dois cenários com 0% de taxa de penetração são o sem controle e o com controle CFP-LVV.

Para garantir que a mudança no desempenho do sistema aconteceu devido à combinação de veículos cooperativos e o CFP-LVV, foram simulados os cenários com as diferentes taxas de penetração e *headways*, porém sem a aplicação do controle CFP-LVV. Estes cenários são identificados somente por ACC.

Como neste trabalho não foram abordadas técnicas auxiliares de inserção de veículos, duas configurações adicionais foram empregadas em todos os cenários. A primeira delas considerou que os veículos cooperativos permanecerão preferencialmente na faixa da esquerda, para facilitar a entrada dos veículos da rampa na faixa da direita. A segunda considerou a cooperatividade total entre veículos quando a taxa de penetração de veículos automatizados é de 100%. Assim, foi possível avaliar se houve uma facilitação da entrada dos veículos da rampa na principal, uma vez que em cenários com veículos não automatizados isto não seria possível.

4.2. Análise da taxa de penetração

A Figura 3 mostra o tempo total de viagem para os cenários com controle CFP-LVV em conjunto com as diferentes taxas de penetração dos veículos cooperativos (identificados como ACC), mantendo os quatro *headways* analisados. As linhas horizontais, contínua e tracejada, foram incluídas apenas como referência e representam os cenários sem veículos cooperativos sem controle e o com controle CFP-LVV, respectivamente. O TTV do cenário sem controle é de 996 h, e do cenário com controle CFP-LVV, de 752 h, apresentando uma melhoria de 24.4%. Estes valores são próximos aos encontrados em Müller *et al.* (2015), para o cenário com CFP-LVV discretizado com variação máxima de 20 km/h em um mesmo sinal entre períodos de simulação.

Comparados ao cenário sem controle, existe uma redução no TTV em todos os cenários que contêm veículos cooperativos. Quando a taxa de penetração é de 10%, uma melhoria de 7% é notada nos cenários cujos veículos cooperativos mantêm *headway* de 0.8 s e uma melhoria média de 24% quando os *headways* são 1.0 s, 1.4 s e 1.8 s.

A partir da taxa de penetração de 30%, com exceção da taxa de 100%, todos os cenários com veículos cooperativos possuem desempenho melhor do que somente o CFP-LVV e este desempenho melhora quanto menor o *headway* entre veículos. Isto acontece pois quanto menor o *headway*, menor a distância necessária entre veículos e, portanto, mais veículos conseguem se acomodar na via e atravessá-la mais rapidamente.

Para taxas de penetração maiores que 60%, houve uma estagnação e no caso do *headway* 1.8 s, uma deterioração do desempenho do sistema. Nestes cenários o controle CFP-LVV não é acionado, pois a ocupação nunca é maior que a referência. Isto acontece pois os veículos cooperativos por si só já realizam o controle da velocidade e distância entre veículos, não permitindo a formação de congestionamento para esta demanda. A não formação do congestionamento acontece pois os veículos cooperativos na principal mantêm o *headway* mínimo configurado e os veículos da rampa não conseguem se inserir na via principal a menos que o *headway* entre veículos seja grande o suficiente para tal. Sem esta perturbação, a principal se esvazia sem congestionar. Só então os veículos da rampa se inserem na principal e saem da malha. Logo, o aumento no TTV acontece porque muitos veículos permanecem na fila virtual durante a simulação. Isto fica mais evidente à medida que a taxa de penetração aumenta. O pior caso acontece nos cenários com 100% veículos cooperativos, nos quais todos os veículos que entram na malha viária mantêm um *headway* constante, não permitindo a entrada dos veículos da rampa.

Segundo Ntousakis *et al.* (2016), para garantir que os veículos da rampa de acesso consigam se introduzir na principal, os veículos da via devem desacelerar quando chegam na região da rampa, criando espaçamentos apropriados. Depois deve ser feito o controle da velocidade dos veículos

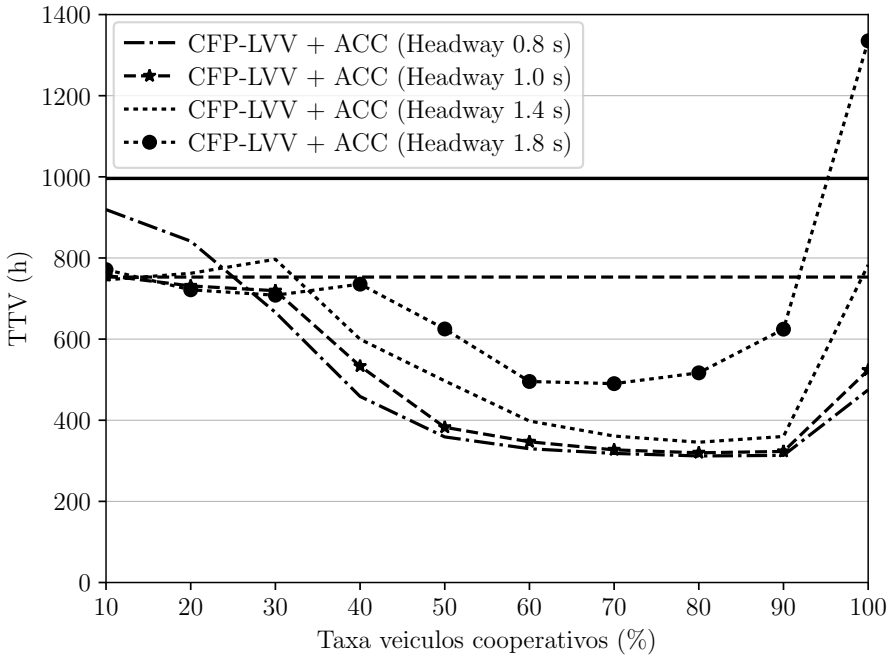


Figura 3: Tempo total de viagem para os cenários com controle CFP-LVV para diferentes taxas de penetração de veículos cooperativos equipados com ACC, mantendo diferentes *headways*.

para garantir a segurança e eficiência do processo. Foi realizada a redução da velocidade na região de inserção, porém, mesmo com velocidades menores, os veículos cooperativos mantinham o *headway* mínimo, não possibilitando a entrada dos veículos da rampa. A implementação de uma estratégia de inserção cooperativa ou facilitada não foi realizada neste trabalho. Porém, foram feitos alguns testes que serão especificados na Seção 4.3.

4.3. Análise de cenários selecionados

Os testes desta seção foram realizados para todos os cenários, para as diferentes taxas de penetração e *headways*. Os resultados apresentaram comportamentos semelhantes, portanto serão mostrados aqui os cenários com diferentes taxas de penetração, porém mantendo o *headway* de 1.4 s entre veículos cooperativos.

Na Figura 4, a linha contínua representa o TTV do cenário padrão, que combina controle CFP-LVV e veículos cooperativos. Os cenários com taxas de penetração acima de 60% não tiveram seu controle acionado (ver Seção 4.2), logo, apresentam TTV semelhantes pois equivalem aos cenários sem controle CFP-LVV.

O primeiro cenário analisado foi configurado de forma que os veículos cooperativos se mantivessem (preferencialmente) na faixa da esquerda. Para taxas de penetração abaixo de 30%, houve uma degradação do desempenho do sistema. Isto acontece pois houve um aumento do número de troca de faixas, o que gerou um aumento de perturbações no sistema, que afetou os veículos cooperativos e os veículos comuns. Com o aumento do número de veículos cooperativos, estas perturbações puderam ser melhor acomodadas no sistema.

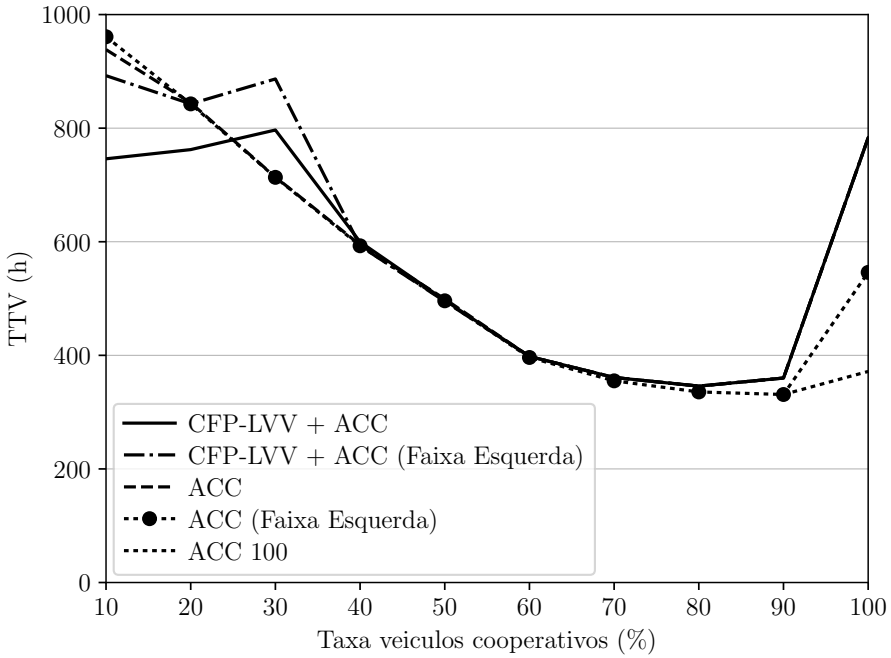


Figura 4: Demanda da via principal e da rampa de acesso.

Depois foram avaliados os cenários sem o controle CFP-LVV, a fim de verificar qual a contribuição dos veículos cooperativos na via. Os cenários que contêm somente veículos equipados com ACC apresentaram melhor desempenho para taxas de penetração acima de 30%. Apesar desta melhoria no desempenho, quando comparado ao CFP-LVV + ACC, somente os veículos equipados com ACC não bastam para conter o fenômeno da queda de capacidade.

Quando os veículos cooperativos usam preferencialmente a faixa da esquerda na área de inserção, é possível perceber uma pequena redução do TTV. Isto acontece pois quando os veículos cooperativos optam por ficar na faixa da esquerda, os veículos da rampa têm mais espaço para se inserirem na via principal.

No caso com 100% de cooperação entre os veículos, identificado como como ACC 100% Cooperativo (Faixa Esquerda), os veículos da principal ainda optam pela faixa da esquerda. Houve uma redução considerável no TTV quando esta estratégia foi utilizada, o que indica que aplicando técnicas simples para facilitar a inserção dos veículos, já é possível observar uma melhoria no desempenho do sistema.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho propõe uma extensão dos trabalho de Müller (2016), introduzindo veículos cooperativos equipados com controle adaptativo de cruzeiro no sistema. Estes veículos recebem a informação do limite de velocidade da via, auxiliando o controle CFP-LVV a regular a velocidade da via. Simulações foram realizadas para diferentes taxas de penetração de veículos cooperativos, assim como diferentes *headways*. Os resultados mostraram que a escolha da taxa de penetração e do *headway* têm um impacto direto no tempo total de viagem. Mesmo os cenários com baixa taxa de penetração apresentaram um melhor desempenho quando comparados aos cenários sem controle ou somente com o controle CFP-LVV. Para taxas de penetração acima de 30%, quanto menor o *headway*, menor o tempo total de viagem. Isto acontece pois mantendo headways menores, a distância entre os veículos diminui e, portanto, mais veículos conseguem cruzar a malha em menos tempo.

Apesar de não terem sido avaliadas estratégias auxiliares de inserção dos veículos da rampa à via principal, é possível notar que a implementação de mudanças no comportamento dos veículos já contribuem para a melhoria do desempenho do sistema.

Agradecimentos
Os autores agradecem o apoio da CAPES e do CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Caleffi, F. e Cybis, H. B. B. (2016) Proposição e análise de um sistema de gerenciamento ativo de tráfego em um estudo de caso de uma autoestrada. *Transportes*, v. 24, n. 1, p. 74–83.

Carlson, R. C.; I. Papamichail; M. Papageorgiou e A. Messmer (2010) Optimal motorway traffic flow control involving variable speed limits and ramp metering. *Transportation Science*, v. 44, n. 2, p. 238–253.

Carlson, R. C.; I. Papamichail e M. Papageorgiou (2013) Mainstream traffic flow control on freeways using variable speed limits. *Transportes*, v. 21, n. 3, p. 56–65.

Dowling, R.; A. Skabardonis e V. Alexiadis (2004) *Traffic analysis toolbox volume III: guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*.

El-Shawarby, I.; H. Rakha; V. Inman; e G. Davis (2007). Evaluation of driver deceleration behavior at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2018, p. 29-35.

Gipps, P. G. (1981) A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation research part B: Methodological*, v. 15, n. 2, p. 105–111.

Gipps, P. G. (1986b) Multsim: a model for simulating vehicular traffic on multi-lane arterial roads. *Mathematics and Computers in Simulation*, v. 28, n. 4, p. 291–295.

Grumert, E.; X. Ma e A. Tapani (2015) Analysis of a cooperative variable speed limit system using microscopic traffic simulation. *Transportation research part C: Emerging Technologies*, v. 52, p. 173–186.

Harms, A. e K. Brookhuis (2016) Dynamic traffic management on a familiar road: Failing to detect changes in variable speed limits. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, v. 38, p. 37–46.

Hegyi, A.; B. D. Netter; M. Wang; W. Schakel; T. Schreiter; Y. Yuan; B. van Arem e T. Alkim (2013) A cooperative system based variable speed limit control algorithm against jam waves-an extension of the SPECIALIST algorithm. Intelligent Transportation Systems-(ITSC). *Anais do 16th International IEEE Conference on.*, IEEE, p. 973–978.

Kattan, L. e B. Khondaker, V (2015) A probe-based variable speed limit system. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. v. 19, n. 4, p. 339—354.

Kesting, A; M. Treiber; M. Schönhof e D. Helbing (2007) Extending adaptive cruise control to adaptive driving strategies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. n. 2000, p. 16—27.

Khondaker, B. e L. Kattan (2015) A microscopic analysis in a connected vehicle environment. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. v. 58, p. 146—159.

Li, L. e X. M. Chen (2017) Vehicle headway modeling and its inferences in macroscopic/microscopic traffic flow theory: A survey. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. v. 76, p. 170—188.

Müller, E. R.; R. C. Carlson; W. Kraus e M. Papageorgiou (2015) Microsimulation analysis of practical aspects of traffic control with variable speed limits. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 16, n. 1, p. 512–523.

Müller, E. R.; R. C. Carlson e W. Kraus (2016) Cooperative Mainstream Traffic Flow Control on Freeways. *IFAC-PapersOnLine*. v. 49, n. 32, p. 89–94.

Ntousakis, I. A.; I. K. Nikolos e M. Papageorgiou (2015) On Microscopic Modelling of Adaptive Cruise Control Systems. *Transportation Research Procedia*, v. 6, p. 111–127.

Ntousakis, I. A.; I. K. Nikolos e M. Papageorgiou (2016) Optimal vehicle trajectory planning in the context of cooperative merging on highways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 71, p. 464–488.

Papageorgiou, M.; E. Kosmatopoulos e I. Papamichail (2008) Effects of variable speed limits on motorway traffic flow. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2047, p. 37–48.

Shladover, S.; D. Su e X. Lu (2012) Impacts of cooperative adaptive cruise control on freeway traffic flow. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 2324, p. 63–70.

TRB, U. S. (1998) Transportation Research Board. Managing Speed. *Revisão de: Current practice for setting and enforcing speed limits.* Special Report 254.

Transport Simulation Systems (2015) *AIMSUN Users' Manual.*, v. 8.

Van Rossum, G.; Drake, F. L. (2011) *The python language reference manual*. Network Theory Ltd.

Wang, M.; W. Daamen; S. P. Hoogendoom e B. van Arem (2014) Rolling horizon control framework for driver assistance systems. Part I: Mathematical formulation and non-cooperative systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 40, p. 290–311.

Jéssica Aquino Chaves (chaves.j@posgrad.ufsc.br)
Rodrigo Castelan Carlson (rodrigo.carlson@ufsc.br)
Eduardo Rauh Müller (edurauh@gmail.com)
Werner Kraus Junior (werner.kraus@ufsc.br)
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, SC, 88040-900, Brasil

MÉTODO DE CALIBRAÇÃO DO HCM PARA RODOVIAS DE PISTAS DUPLAS E AUTOESTRADAS A PARTIR DA INFERÊNCIA BAYESIANA

Gabriel Jurado Martins de Oliveira
André Luiz Cunha
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Este trabalho tem por objetivo central propor um novo método de calibração utilizando Inferência Bayesiana da relação fluxo-velocidade do modelo do HCM para rodovias de pistas duplas e autoestradas a partir de dados empíricos coletados na rodovia SP-280 (Castelo Branco), em intervalos de 5 min. Os parâmetros do modelo foram estimados por meio da média de suas respectivas distribuições posteriores, admitindo-se distribuições a *priori* uniformes, e uma distribuição normal para a função de verossimilhança. Os dados utilizados foram tratados com o propósito de remover observações indesejáveis e correspondem à faixa da esquerda, durante o período de um ano sendo o fluxo dado em veículos de passeio. Como forma de análise, compara-se o método proposto com HCM 2010 e Andrade (2012). Os resultados obtidos sugerem: (1) melhor ajustamento das curvas de fluxo-velocidade, segundo o erro quadrático médio; (2) nova forma de abordagem na estimação de parâmetros de tráfego; e (3) o patamar de velocidade de fluxo livre é menor do que se imaginava, conforme evidenciado por Andrade (2012) e pelos estudos que subsidiaram a elaboração do HCM 2010.

ABSTRACT
This paper presents a new method for estimating parameters of the speed-flow relationship from HCM model for highways by means of Bayesian Inference, using empirical data collected from highway SP-280 (Castelo Branco), for 5 minutes intervals. The model's parameters were estimated through their posterior distribution means, assuming uniforms distributions to the *priors* and a normal to the likelihood function. The data corresponds to leftmost lane, accounting for one year, and flow is based on passenger cars. As matter of analysis, the proposed method is compared to HCM 2010 and Andrade (2012). The results suggest that: (1) better adjustment of the speed-flow curves, according to mean square error; (2) a new way of approach in traffic parameter estimation; and (3) the free flow speed constancy is less expected than it was supposed, as evidenced by Andrade (2012) and by the studies that supported the HCM 2010 elaboration.

1. INTRODUÇÃO

A corrente de tráfego é formada a partir da interação dos veículos entre si e com o ambiente no qual estão inseridos, apresentando como principal característica a presença de elementos com certa variabilidade: (1) comportamental, decorrente dos usuários do sistema; (2) espacial, conforme o local em análise; e (3) temporal, que expressa o período de estudo. Os parâmetros macroscópicos comumente utilizados no estudo da corrente de tráfego de forma agregada são o fluxo (q), a velocidade média no espaço (u) e a densidade (k). A interação entre os parâmetros macroscópicos é expressa pela relação fundamental de tráfego.

$$q = k \cdot u \tag{1}$$

A relação entre os parâmetros fundamentais de tráfego $q = f(u)$, $q = f(k)$ ou $u = f(k)$ tem envolvido diversos estudos, começando com as experiências de Greeshields (1935) até o desenvolvimento de modelos mais complexos, como os modelos de Van Aerde (1995) e de Controle Longitudinal (Ni, 2011). Dentro desse contexto, destaca-se também o modelo proposto pelo *Highway Capacity Manual* (HCM), como manual de capacidade viária de referência mundial, o qual recomenda que seus procedimentos sejam ajustados para condições diferentes das americanas.

A estimação dos parâmetros de cada modelo envolve a determinação de um método de calibração que, no geral, consiste na definição das seguintes etapas: (1) variável dependente e variáveis independentes; (2) modelo matemático; (3) função de otimização; e (4) técnica a ser utilizada para computar a otimização do conjunto de parâmetros (Van Aerde, 1995). Na literatura podem ser encontradas diversas técnicas de otimização de parâmetros, tal como Algoritmos Genéticos, utilizado por Cunha (2007), Mínimos Quadrados, abordado em Greenshields (1935), Inferência Bayesiana (Sammut e Webber, 2011), entre outros descritos em Seo *et al.* (2017).

Assim, o objetivo deste artigo é apresentar uma calibração do modelo do HCM para condições locais do Brasil utilizando a Inferência Bayesiana como técnica de otimização para a estimação dos parâmetros de tráfego. A calibração foi realizada com dados empíricos em segmentos de autoestradas e de pista dupla paulistas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O estudo do tráfego ao longo do tempo tem envolvido o desenvolvimento de diversos modelos que representam a relação fundamental de tráfego apresentado na Equação 1. Um dos pioneiros, Greeshields (1935) propôs um modelo baseado em uma relação linear entre a velocidade e a densidade da corrente, derivando assim uma relação de fluxo-velocidade representada por um polinômio de segundo grau (Figura 1). A calibração do modelo consiste em estimar dois parâmetros, velocidade de fluxo livre e densidade de congestionamento, por meio de uma regressão linear que minimiza o erro quadrático médio (Rahka, 2002).

Anos depois, Van Aerde (1995) propôs um modelo mais detalhado para representar a relação fluxo-velocidade. O modelo matemático proposto consiste em quatro parâmetros, garantindo assim maior flexibilidade no ajuste aos dados de tráfego. A calibração do modelo foi baseada na estimação de quatro parâmetros (velocidade de fluxo livre, velocidade na capacidade, fluxo na capacidade e densidade de congestionamento), por meio de uma regressão dos mínimos quadrados totais, objetivando minimizar o erro ortogonal quadrático nas três dimensões do problema: fluxo, velocidade e densidade (Rahka, 2009).

Em ambos os modelos abordados, a relação fluxo-velocidade é determinada por uma única equação tanto para o regime de fluxo livre como o congestionado. Diferentemente do modelo de fluxo-velocidade proposto pelo HCM, o qual foi estabelecido somente para a região de fluxo livre. A Figura 1 ilustra a relação fluxo-velocidade desses modelos – Greenshields, Van Aerde e do HCM 2010.

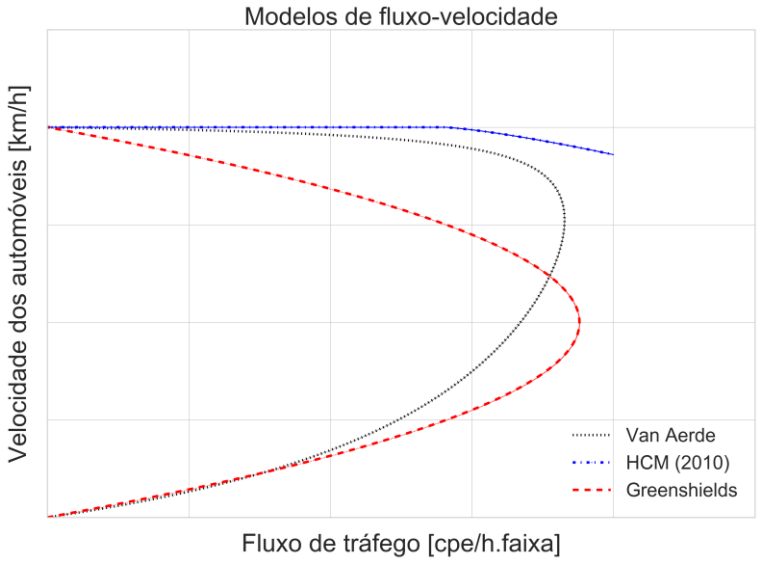


Figura 1: Curvas fluxo-velocidade dos modelos de Greenshields, Van Aerde e HCM 2010

O modelo matemático adotado para descrever a relação fluxo-velocidade no HCM 2010 é o mesmo utilizado em sua versão anterior, HCM 2000. O modelo proposto consiste em quatro parâmetros que representam uma curva com dois segmentos que variam conforme o fluxo na corrente de tráfego, expresso por.

$$\begin{cases} v < BP, & S = FFS \\ BP < v < C, & S = FFS - \left(FFS - \dfrac{C}{CD}\right) \cdot \left(\dfrac{v - BP}{C - BP}\right)^{\alpha} \end{cases} \quad (2)$$

em que
- S: velocidade da corrente de tráfego;
- FFS: velocidade de fluxo livre;
- CD: densidade na capacidade;
- BP: ponto de transição;
- C: fluxo na capacidade;
- v: taxa de fluxo, em carros de passeio/h.faixa; e
- α: coeficiente de calibração.

O primeiro segmento parte do pressuposto que existe um patamar de velocidade, caracterizado pela velocidade de fluxo livre (*FFS*) no qual se mantém constante em função do aumento do fluxo, até um ponto de transição, denominado *breakpoint* (*BP)*. O segundo consiste em uma curva convexa ancorada em *BP* e na densidade na capacidade (*CD*) da via (Roess, 2011), que é caracterizado pela queda da velocidade média da corrente em função do aumento do fluxo.

O manual do HCM 2010 apresenta um conjunto de curvas calibradas com velocidade de fluxo livre, variando de 90 a 120 km/h para autoestradas, e de 70 a 100 km/h para rodovias de pista dupla. A Figura 2 mostra as curvas do manual de 2010 para os dois tipos de via.

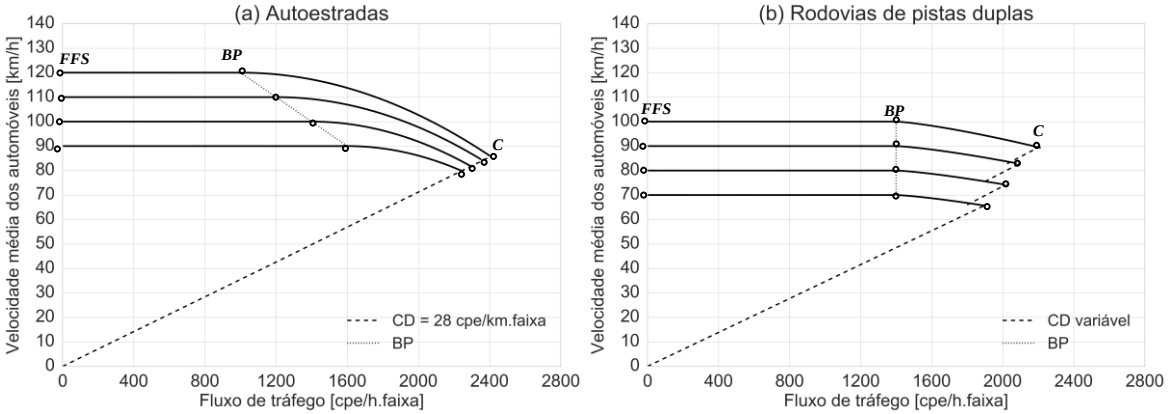


Figura 2: Curvas fluxo-velocidade do HCM 2010 para: (a) autoestradas; (b) rodovias de pista dupla (TRB, 2010).

Para rodovias de pista dupla, a essência do equacionamento é o mesmo apresentado para autoestradas. Contudo, o *BP* é considerando constante, enquanto a *CD* varia para diferentes valores de *FFS*, conforme ilustrado na Figura 2b.

A relação fluxo-velocidade é utilizada em trechos de autoestradas e rodovias de pista dupla para a avaliação da capacidade (*C*) e dos níveis de serviço, segundo o método do HCM. Sendo assim, a capacidade de tráfego é definida, pelo HCM, como a maior taxa de fluxo horária, na qual veículos conseguem passar por um determinado segmento, durante um período de tempo estabelecido, sob condições usuais de demanda e de operação (TRB, 2010).

Segundo o HCM, a determinação do ponto de transição (*BP*) foi realizada testando valores crescentes de *BP* e verificando a variação do desvio padrão, em intervalos de fluxo, das observações das velocidades. A partir do momento em que ocorreu um aumento brusco nos desvios padrões, determinou-se o ponto de transição. Já a velocidade de fluxo livre foi estimada diretamente, a partir dos dados obtidos (Roess, 2009), embora os autores não explicitem o método para tal. O conjunto de curvas fluxo-velocidade do modelo do HCM foi determinado por meio de uma análise de regressão em função de *C*, *BP* e *FFS*. O coeficiente de calibração (α) foi determinado otimizando-se o erro quadrático médio da velocidade.

Desde 1950, com a primeira versão do HCM, o manual americano vem sendo a principal referência mundial sobre avaliação operacional de dispositivos viários. Sua principal contribuição é trazer definições das medidas de desempenho e conjuntos de procedimentos uniformizados e sistematizados, a fim de padronizar a medição da qualidade de serviço em dispositivos viários, conforme a percepção do usuário (FDOT, 2009).

Contudo, o próprio HCM recomenda a necessidade de adaptação para condições locais de cada região, pois os seus procedimentos foram concebidos a partir de características das rodovias norte-americanas (TRB, 2010). A utilização de seus métodos sem a adaptação as condições locais, ou sem embasamento técnico cientifico adequado, pode levar a resultados incoerentes (Setti, 2009).

Neste contexto, diversos estudos no Brasil têm se dedicado à calibração dos procedimentos do HCM. A calibração dos parâmetros para rodovias de pista simples e dupla vem sendo realizada no Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo. Dentre esses trabalhos, Demarchi (2000), Cunha (2007) e Andrade (2012) calibraram métodos e parâmetros para condições observadas em rodovias de pista dupla e autoestradas paulistas. Andrade (2012)

verificou que a classificação do HCM entre rodovias de pista dupla e autoestradas não é adequada e, então, sugeriu uma divisão entre rodovias rurais e urbanas. Além disso, Andrade (2012) propôs uma calibração dos parâmetros da relação fluxo-velocidade baseada em uma composição de métodos: o *BP* foi estimado pelo mesmo método do HCM; enquanto a *FFS* foi determinada por média das velocidades observadas em determinados intervalos de fluxo.

2.1. Inferência Bayesiana

A inferência bayesiana é um método estatístico probabilístico baseado no teorema de Bayes. Tal método disponibiliza uma forma de calcular as probabilidades condicional e posterior de uma hipótese ser verdadeira, segundo provas dadas (Klein, 2012). O teorema de Bayes pode ser interpretado como:

$$\frac{p(H) \cdot p(D|H)}{p(D)} \tag{3}$$

em que $p(H)$: probabilidade da hipótese a priori, ou seja antes da observação dos dados;
$p(D)$: probabilidade do dado sob qualquer hipótese, denominada constante de normalização;
$p(D|H)$: probabilidade do dado sob a hipótese em questão, denominada função de verossimilhança;
$p(H|D)$: probabilidade a posteriori, recalculada após novos dados serem observados.

A forma do teorema de Bayes consiste na probabilidade de uma hipótese variar no tempo, conforme novas informações que se tiver a respeito dela são observadas (Downey, 2012). As funções de verossimilhança representam o grau de variação a que a probabilidade posterior está sujeita e são avaliadas por meio das informações do problema em questão.

Uma das formas de estimar a distribuição posteriori de modelos estatísticos bayesianos é a partir de métodos de simulação baseados em Monte Carlo, via cadeias de Markov (MCMC). Esses métodos consistem em uma classe de algoritmos utilizada para obter amostras da distribuição posterior (Chen, 2009).

A parte Monte Carlo do método MCMC consiste em estimar as propriedades gerais de uma distribuição por meio da análise de amostras aleatórias relacionadas a essa distribuição, enquanto que as cadeias de Markov tem por base gerar amostras aleatória por meio de processos sequenciais específicos. A utilização de MCMC é usualmente aplicada para resolver problemas de otimização e integração (Andrieu, *et al*, 2003).

Entre as principais vantagens da utilização da inferência bayesiana como método de estimação de parâmetros consta a sua forma natural de combinar informações a priori com dados, tendo como base um quadro teórico de decisões. Isto se reflete em uma influência do modelador na abordagem do problema. Contudo, entre as desvantagens, destaca a escolha de uma enviesada distribuição a priori pode levar a resultados errôneos (Gelman, 2008). A fim de evitar a subjetividade dessa escolha, uma abordagem comumente adotada na literatura consiste em permitir que os dados exerçam maior influência na modelagem proposta, adotando assim a distribuição uniforme. Destaca-se também elevados custos computacionais para problemas complexos.

3. MÉTODO PROPOSTO

O objetivo deste trabalho é apresentar um novo método de calibração do modelo do HCM, por meio da inferência bayesiana. O método foi implementando na linguagem de programação

Python versão 2.7 e nas bibliotecas de funções do Scikit-learn versão 0.17.1, PyMC versão 2.3.6, Numpy 1.11.0 e Matplotlib 1.5.1.

3.1. Coleta de dados

Os dados foram obtidos por sensores de laço indutivo, os quais forneciam informações de fluxo e de velocidade, divididos entre o número de automóveis, de veículos comerciais e de motos, bem como as velocidades médias dessas categorias veiculares. Os dados são desagregados por faixa e disponibilizados em intervalos de 5 min. Os dados foram coletados em três estações permanentes de monitoramento, localizadas na rodovia SP280 (Castelo Branco), todas com três faixas de tráfego por sentido, durante o período de setembro de 2011 a agosto de 2012. A Tabela 2 fornece a localização dos pontos e as principais características referentes a cada um deles.

Tabela 1: Características dos pontos de coleta utilizados na pesquisa

Posto	Rodovia	km	Sentido	Tipo de via	Ocupação Lindeira	Atinge Capacidade	Densidade na Capacidade[1]	Greide
1	SP280	29,5	Leste	Autoestrada	Urbana	Sim	25 cpe/km.faixa	2,0%
2	SP280	37,0	Leste	Pista dupla	Rural	Sim	23 cpe/km.faixa	5,0%
3	SP280	51,9	Leste	Pista dupla	Rural	Sim	24 cpe/km.faixa	4,5%

[1] Valor empírico máximo observado nos dados

Segundo as teorias de fluxo de tráfego, a corrente é expressa em unidades de carros de passeio equivalente (cpe), por isso, para esta pesquisa foram considerados apenas os dados da faixa da esquerda, por apresentar maior parcela de automóveis.

3.2. Tratamento do banco de dados

Os dados disponíveis foram submetidos a um tratamento que teve por objetivo remover as observações consideradas inconsistentes, incoerentes ou imprecisas. Para isso, foram criados critérios para remover os dados indesejados. Após a aplicação dos critérios descritos a seguir, o sensor localizado no km 51,9 apresentou a maior quantidade de dados – 58.591 entradas, aproximadamente 204 dias –, enquanto o do km 37,0 teve a menor quantidade – 37.970 dados.

3.1.1 Filtro 1 – dados válidos

Para obter um banco de dados homogêneo, foram descartadas entradas nas quais se verificou que o sensor não estava em funcionamento. Com relação aos *outliers*, foram excluídas entradas com velocidade média maior que 180 km/h, fluxo de automóveis maior que 2.800 veic/h e densidade da corrente maior que 160 veic/km. Também foram desconsideradas entradas nulas na taxa de fluxo de automóveis.

3.1.2. Filtro 2 – regime de fluxo livre

Para não serem utilizados dados em regime de fluxo congestionado (nível de serviço F) no método proposto, foram removidas as entradas nas quais a densidade da corrente de tráfego superava a densidade crítica do local de coleta, cujo valor foi estimado segundo um método de pesquisa em desenvolvimento. O método é baseado na detecção de pontos de transição de sistemas por meio da análise das funções de densidade de probabilidade através da inferência bayesiana e será detalhado em trabalho futuro. Os valores para cada ponto de coleta são encontrados na Tabela 1. É ressaltado que o critério para separação dos tipos de regimes consiste na segregação por meio da densidade na capacidade, diferentemente de Andrade (2010) que optou por utilizar a velocidade crítica como método de segregação.

3.1.3 Filtro 3 – dados de automóveis

A fim de obter fluxo somente de veículos de passeio na faixa da esquerda, foram removidos intervalos em que foram detectados qualquer porcentagem de veículos pesados nesta faixa de tráfego, ou seja, foram usados apenas os dados com 100% de automóveis na faixa da esquerda.

3.3. Distribuições a *priori*

As distribuições dos parâmetros de calibração do modelo foram determinadas como distribuições uniformes. A tabela a seguir apresenta os limites inferiores e superiores propostos para cada parâmetro.

Tabela 2: Tipo de distribuição dos parâmetros da equação

Parâmetro	Tipo de Distribuição	Limite Inferior	Limite Superior
FFS	Uniforme	60 km/h	120 km/h
Qc	Uniforme	500 cpe/h	2800 cpe/h
Qint	Uniforme	100 cpe/h	2000 cpe/h
Alfa	Uniforme	1	3

3.4. Função de verossimilhança

Assumiu-se que a função de verossimilhança segue uma distribuição normal. Para tanto, foi analisada a função densidade de probabilidade (PDF) da variável velocidade média. Os parâmetros da distribuição, média e desvio padrão, foram obtidos a partir dos dados tratados. A Figura 3 ilustra a função de densidade de probabilidade da velocidade média da corrente de tráfego do sensor do km 51,9 com os dados filtrados.

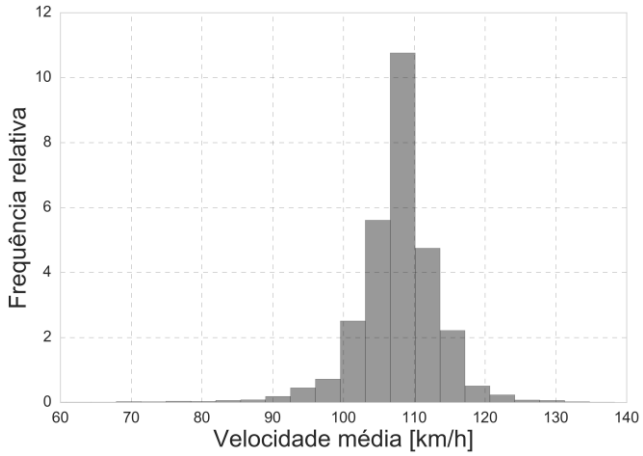


Figura 3: Histograma da velocidade média de veículos de passeio para a SP-280 km 51,9 (Leste) a partir dos dados filtrados

3.5. Cadeia de Markov de Monte Carlo

A escolha dos parâmetros do MCMC foi realizada por meio da análise da distribuição posterior que envolveu a verificação de convergência de MCMC e o tempo de processamento dos dados. Para tanto, foram testadas diferentes configurações de MCMC. Dessa forma, foi definido um MCMC com 20.000 iterações, com descarte (*burn in period)* de 10.000, ou seja, de 50% das amostras inicias, já que, usualmente, as primeiras amostras não correspondem a distribuição final esperada. O tempo de processamento para o maior banco de dados com a configuração descrita foi de 461s.

4. RESULTADOS

A fim de verificar a adequabilidade do método proposto neste trabalho, a análise dos resultados é abordada em quatro etapas: (2) desempenho do processo MCMC, (3) comparação entre os valores dos parâmetros estimados pelo método proposto junto aos obtidos pelo HCM 2010 e Andrade (2012); (4) a análise de erros.

4.1. MCMC

A análise da MCMC teve como base a verificação da convergência da cadeia de Markov e a distribuição posterior. Todos os parâmetros estimados apresentaram convergência na MCMC e distribuições posteriores que seguem uma distribuição normal, como a apresentada na Figura 5. Este processo foi aplicado para todas variáveis estimadas do modelo, assim como para cada ponto de coleta utilizado na elaboração deste trabalho.

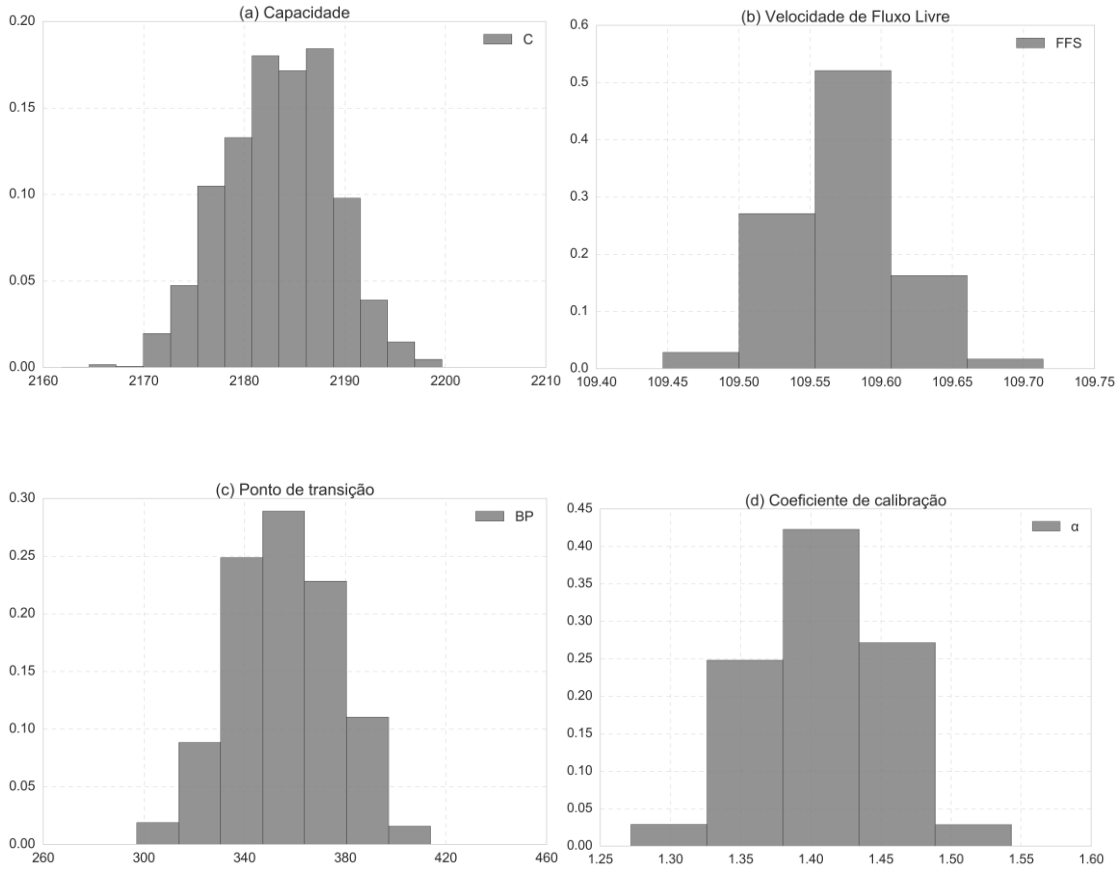


Figura 4: Distribuição posterior para: (a) capacidade; (b) velocidade de fluxo livre; (c) ponto de transição; (d) coeficiente de calibração, para SP-280, km 51,9 leste

4.2. Comparação entre métodos

Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentadas as curvas calibradas do método proposto, do HCM e do Andrade (2012) para os sensores do km 51,9, km 37,0 e km 29,5, respectivamente. É possível perceber que as curvas do método proposto e de Andrade (2012) são mais próximas entre si, diferentemente do que acontece com a curva do HCM 2010.

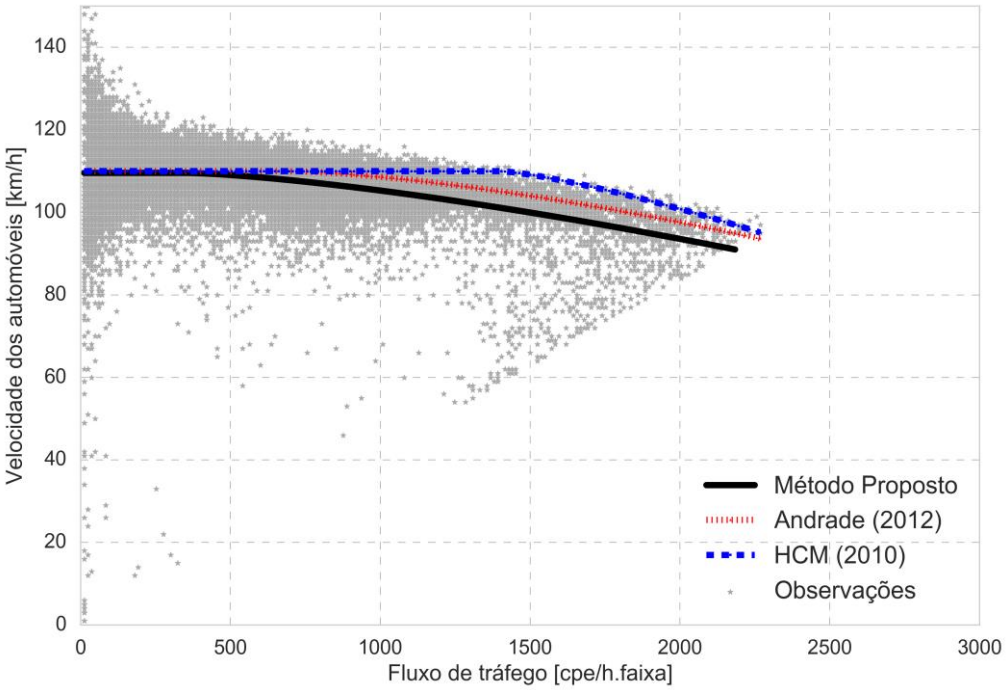


Figura 5: Curvas fluxo-velocidade para a SP-280, km 51,9 leste, obtidas com o modelo proposto, Andrade (2012) e HCM 2010

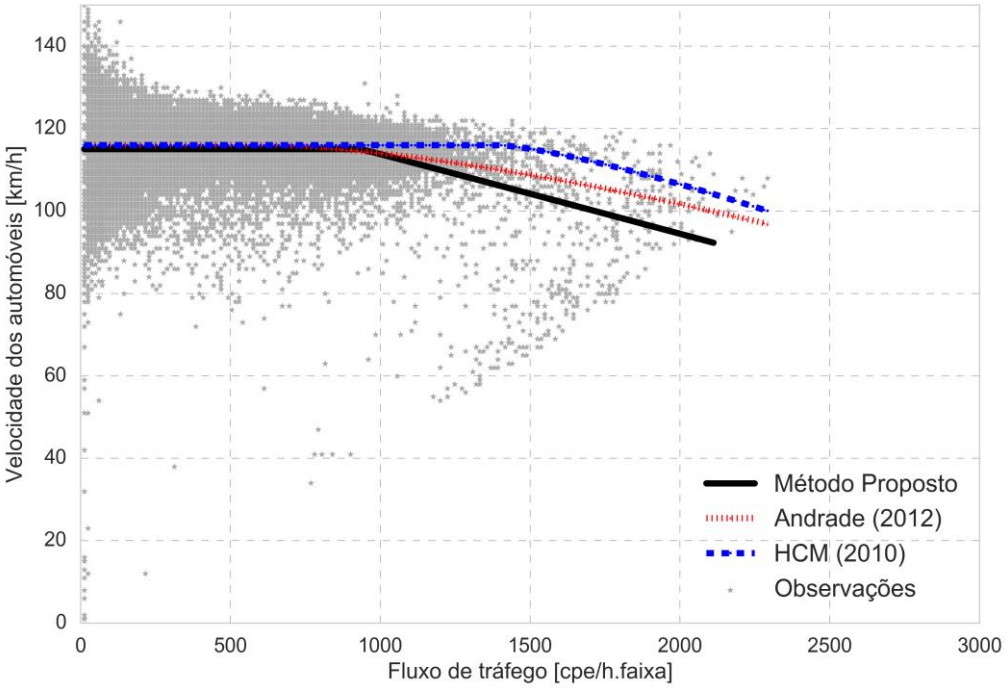


Figura 6: Curvas fluxo-velocidade para a SP-280, km 37,0 leste, obtidas com o modelo proposto, Andrade (2012) e HCM 2010

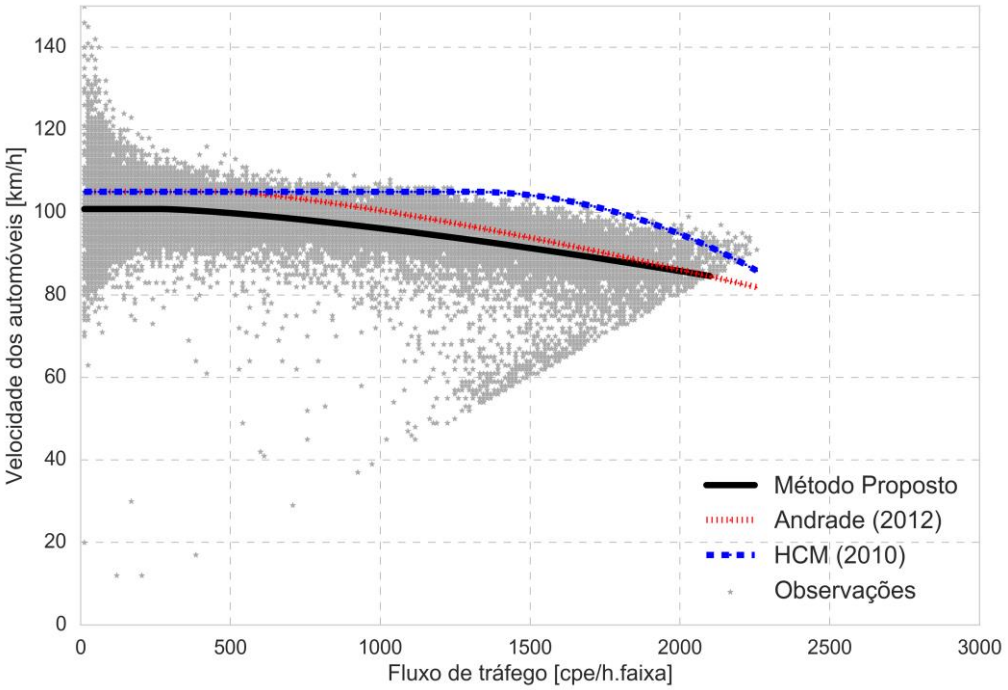


Figura 7: Curvas fluxo-velocidade para a SP-280, km 29,5 leste, obtidas com o modelo proposto, Andrade (2012) e HCM 2010

As Tabelas 3,4 e 5 apresentam os valores dos parâmetros de cada curva dos diferentes métodos em análise, para cada ponto em estudo na rodovia. É possível visualizar que os *BP*, em todos os casos, apresentaram valores menores do que os propostos pelo HCM 2010, como já evidenciado por Andrade (2012). Em relação a Andrade (2012), os *BP* apresentados pelo método proposto, variam cerca de 50% para menos nos km 51,9 e km 29,5 e aproximadamente 46% para mais no km 37,0.

Tabela 3: Parâmetros notáveis para a SP-280, km 51,9 leste, com o modelo proposto, Andrade (2012) e HCM 2010

Método	*FFS*	*C*	*BP*	α
Proposto	110 km/h	2182 cpe/h	352 cpe/h	1.41
Andrade (2012)	110 km/h	2450 cpe/h	700 cpe/h	1.50
HCM 2010	110 km/h	2200 cpe/h	1400 cpe/h	1.31

Tabela 4: Parâmetros notáveis para a SP-280, km 37,0 leste, com o modelo proposto, Andrade (2012) e HCM 2010

Método	*FFS*	*C*	*BP*	α
Proposto	115 km/h	2120 cpe/h	935 cpe/h	1.01
Andrade (2012)	116 km/h	2510 cpe/h	640 cpe/h	1.50
HCM 2010	116 km/h	2200 cpe/h	1400 cpe/h	1.31

Tabela 5: Parâmetros notáveis para a SP-280, km 29,5 leste, com o modelo proposto, Andrade (2012) e HCM 2010

Método	*FFS*	*C*	*BP*	α
Proposto	101 km/h	2111 cpe/h	267 cpe/h	1.35
Andrade (2012)	105 km/h	2225 cpe/h	500 cpe/h	1.30
HCM 2010	105 km/h	2400 cpe/h	1300 cpe/h	2.00

Outro fator de destaque é a variação do parâmetro alfa do método proposto em relação aos demais, o que indica uma maior flexibilidade na parte curva do modelo. Já em relação a *FFS*,

todos os métodos chegam a valores próximos, exceto no km 29,5, no qual o método proposto apresenta um valor de 4 km/h a menos, em relação aos outros.

Por fim, o fluxo na capacidade (*C*) estimado pelo método proposto foi sempre inferior aos demais métodos, chegando a uma diferença de até 15%. Isso revela que de fato a capacidade no Brasil é inferior à observada em rodovias americanas, por outro lado, utilizando o mesmo conjunto de dados, métodos diferentes podem apresentar capacidades diferentes.

4.3. Análise de erros

A Tabela 6 apresenta os valores do erro quadrático médio entre a velocidade observada e estimada para os três métodos abordados no trabalho, e para cada sensor de estudo na rodovia. Observa-se uma redução de até 27% entre o método proposto e Andrade (2012) e de 59% entre o método proposto e o HCM 2010.

Tabela 6: Erro quadrático médio associado aos métodos abordados no trabalho

				Erro quadrático médio (%)		
Posto	Rodovia	Km	Sentido	Método Proposto	Andrade (2012)	HCM 2010
1	SP280	29,5	Leste	44.3	60.4	108.3
2	SP280	37,0	Leste	51.0	52.4	54.9
3	SP280	51,9	Leste	33.6	37.7	42.5

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um novo método de calibração do modelo fluxo-velocidade por meio da utilização de dados empíricos, utilizando Inferência Bayesiana. Os dados foram coletados em estações de monitoramento de tráfego por faixa de rolamento em intervalos de tempo de 5 min, no entanto foram considerados apenas o fluxo da faixa da esquerda para compor uma corrente somente com automóveis e motos. A distribuição uniforme foi considerada como distribuição a priori para todos os parâmetros calibrados a fim de se evitar qualquer influência no ajuste dos valores.

Os resultados evidenciam e corroboram Andrade (2012) na questão de queda precoce da velocidade da corrente com o aumento do fluxo de tráfego, diferente do que acontece nas curvas do HCM 2010. Outros pontos de destaque do método proposto consistem na simplificação da estimação dos parâmetros, na menor capacidade obtida, na variação do coeficiente de calibração da equação para diferentes pontos da rodovia e no melhor desempenho, segundo o erro quadrático médio.

Ressalta-se que os resultados apresentados se basearam em um conjunto de três locais avaliados, entretanto novos dados estão sendo avaliados para ampliar a extensão de análise em diferentes configurações de rodovias.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CAPES pelo suporte financeiro, sob a forma de bolsas de mestrado e de produtividade em pesquisa. Os autores também agradecem à ARTESP e à concessionária ViaOeste pela disponibilização dos dados de tráfego.

REFERÊNCIAS

Andrade, G. R. (2012) Capacidade e relação fluxo-velocidade em autoestradas e rodovias de pista dupla paulistas. Dissertação (mestrado), EESC-USP, São Carlos, SP.

Andrieu, C., De Freitas, N., Doucet, A. Jordan, M. I. (2003) Introduction to MCMC for Machine Learning. *Machine Learning*. Netherlands

Chen, F. (2009) Bayesian Modeling Using MCMC Procedure. *Proceedings of the SAS Global Forum 2008 Conference*. Carry, NC.

Cunha, A. L. B. N. (2007) Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões. Dissertação (mestrado), EESC-USP, São Carlos, SP.

Demarchi, S. H. (2000) Influência dos veículos pesados na capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla. Tese (doutorado), EESC-USP, São Carlos, SP.

Downey, A (2012) *Think Bayes: Bayesian Statistics Made Simple*. Ed Needham: Green Tea Pass. Massachusetts.

Fdot (2009) *Quality/Level of Service Handbook.* Florida Department of Transportation, Tallahassee, FL.

Gelman, A. (2008). Objections to Bayesian statistics. *Bayesian Analysis*, *v.* 3.

Greenshields, B. D. (1935) A Study of traffic Capacity. *Highway Research Board*, v. 1935.

Klein, L. A. (2012) *Sensor Data Fusion: a tool for information assessment and decision making: second edition*. Bellingham, WA.

Ni, D. (2011) Multiscale Modeling of Traffic Flow. *Mathematica Aeterna*.

Sammut, C.; Webb, G. *Encyclopedia of machine learning*. Springer Science & Business Media.

Setti, J. R. (2009) Highway Capacity Manual ou Manual de Capacidade Viária? In: *Anais do 6º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões – CBR&C 2009*, Florianópolis, SC (CD-ROM), 11p.

Seo, T.; Bayen, A. M.; Kusakabe, T.; Asakura, Y. (2017). Traffic state estimation on highway: A comprehensive survey. *Annual Reviews in Control*.

Rakha, H.; Crowther, B. (2002) Comparison of Greenshields, Pipes, and Van Aerde car-following and traffic stream models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*.

Rakha, H. (2009). Validation of Van Aerde's simplified steadystate car-following and traffic stream model. *Transportation Letters*.

Roess, R. P. (2009) Re-Calibration of the 75-mi/h Speed-Flow Curve and the FFS Prediction Algorithm for HCM 2010. Research Memorandum, NCHRP Project 3-92. Polytechnic Institute of New York University, Brooklyn, New York.

Roess, R. P. (2011). Speed-Flow Curves for Freeways in the 2010 HCM. *Transportation Research*, v 23.

TRB (2000) *Highway Capacity Manual 2000*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, EUA.

TRB (2010) *Highway Capacity Manual 2010*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, EUA.

Van Aerde, M (1995*)* Single Regime Speed-Flow Density Relationship for Congested and Uncongested Highways. *74th Annual Meeting of the TRB*. Washington, DC.

ENDEREÇO PARA CONTATO:

Gabriel Jurado Martins de Oliveira (gabrielmo83@usp.br)
Prof. Dr. André Luiz Cunha (alcunha@usp.br)
Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Transportes
Av. Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos, SP, 13566-590

VALIDAÇÃO DE SIMULADOR DE DIREÇÃO ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO DE CENÁRIO REAL E CENÁRIO SIMULADO

Fábio Sartori Vieira
Ana Paula Camargo Larocca
Universidade de São Paulo
Escola De Engenharia De São Carlos

RESUMO
Os simuladores de direção precisam ser validados com situações reais, a fim de aumentar a replicabilidade do resultado de seus experimentos. O comportamento do condutor, em especial o do motorista brasileiro, os modelos de projetos geométricos, sinalizações horizontais, verticais, e o modelo veicular são elementos a ser validados. A presente proposta de tese tem como objetivo comparar e analisar o campo de visão de um mesmo condutor em cenário real e no cenário simulado. Os condutores que tiveram os dados do campo de visão coletados em simulação também realizaram a coleta no trecho real da pista, para a comparação e validação entre esses dados.

COMPARAÇÃO DE DADOS DE TRÁFEGO DISPONÍVEIS NA WEB E OBTIDOS POR SENSORES FIXOS

Mariana Marçal Thebit
André Luiz Cunha
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO
O presente artigo propõe a utilização de dados provenientes de um serviço de mapas via web como fonte de dados para estudos de tráfego. Para tal, é apresentada a comparação entre as velocidades obtidas do *Here traffic* e as obtidas por meio de sensores do tipo *loop*, em um trecho específico da Rodovia Presidente Dutra – BR 116. Os resultados obtidos indicam que os dados provenientes do *Here traffic* apresentam maior dispersão e valores um pouco inferiores aos obtidos pelos sensores. As análises aqui apresentadas fazem parte de um estudo mais amplo que tem por objetivo a reconstrução de matrizes OD sintéticas a partir de dados de tráfego de celular disponibilizados livremente em APIs existentes na *Web*.

ABSTRACT
This article proposes the use of data obtained a *Web* map service in traffic study's. To do so, it is shown a comparison between the velocities given by the *Here traffic* and by loop sensors, in a specific part of the Rodovia Presidente Dutra – BR 116. The results indicated that the data collected from *Here traffic* have higher distribution and lower values. The analysis shown in this paper are part of a broader research that aims to reconstruct OD matrices through the use of traffic data collected by cellphones and accessible by APIs existents in the *Web*.

1. INTRODUÇÃO

A popularização de aparelhos celulares e demais dispositivos do tipo *smart*, bem como das aplicações desenvolvidas para os mesmos, tem permitido o armazenamento de grande quantidade de informações, inclusive dados relacionados ao tráfego. O uso dessas fontes de dados tem se tornado cada vez mais atrativo devido ao caráter pouco oneroso da extração e ao fato de permitir a obtenção de grande quantidade de informações em tempo real.

É nesse contexto que tem emergido uma nova frente de pesquisa na área de transportes, a "*social transportation*". Essa linha de pesquisa busca realizar previsões e análises do tráfego a partir dos denominados "dados sociais", os quais são provenientes de *smartphones*, aparelhos móveis usáveis, como *smartbands* e *smartwatches*, e mídias sociais. (Wang *et al.* 2014).

Parte das informações coletadas por esses dispositivos estão disponíveis na internet por meio de Interfaces de Programação de Aplicativos, do inglês, *Application Programming Interface* (API). As APIs consistem em um conjunto de protocolos, regras, funções e procedimentos que determinam como deve ocorrer a interação entre pacotes e componentes de softwares distintos. As APIs permitem que novas aplicações sejam criadas e informações sejam extraídas a partir de ferramentas e banco de dados de softwares existentes.

O presente estudo busca avaliar a relação entre os dados de velocidade extraídos por meio da plataforma *Here Traffic*, a partir de sua API específica, e os dados extraídos por sensores instalados em uma rodovia no estado de São Paulo. Esta análise faz parte de uma pesquisa mais ampla, que busca utilizar os dados provenientes de API na reconstrução de matrizes Origem-Destino sintéticas, atualmente em desenvolvimento em uma dissertação de mestrado. Os resultados obtidos mostram que os dados provenientes da API apresentem maior dispersão e valores um pouco abaixo dos obtidos pelos sensores, o que fez com que quase todas as amostras avaliadas não passassem nos testes estatísticos propostos. No entanto, este estudo tem por

objetivo não apenas avaliar tais diferenças como também questionar o fato das informações extraídas por sensores serem interpretadas como verdades absolutas sendo que esse método também possui erros implícitos.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Conforme exposto, o "*social transportation*" é uma nova frente de pesquisa na área de transporte que se encontra em ampla expansão. Em comparação com algumas linhas de pesquisa mais tradicionais, essa nova linha se caracteriza por enfatizar o uso de técnicas de computação e aplicativos embarcados para a obtenção e tratamento, em tempo real, de dados *on-lines* e interativos no estudo de problemas de transporte (Zheng *et al*. 2016).

Os dados provenientes do "*social transportation*" podem fornecer diversos tipos de informações como o tempo, coordenadas de GPS, velocidade, aceleração, endereços, textos, vídeos, entre outros. Cada tipo de dado fornecido apresenta vantagens, limitações e escopos de aplicação, os quais são definidos pelas características, estruturas, resolução e precisão do tipo de dado em questão. Ou seja, abordagens distintas de análise do sistema de transporte exigirão diferentes tipos de dados (Zheng *et. al*. 2016).

Comumente o monitoramento do tráfego é feito com base em detectores fixos que fornecem volume, ocupação da via, e, muitas vezes, velocidade. Infelizmente os elevados custos de instalação e manutenção desses equipamentos impedem sua ampla implantação, principalmente em países em desenvolvimento (Amin *et al.* 2008).

Nesse contexto, a utilização de aparelhos celulares como fonte de dados se mostra como uma alternativa atrativa, ainda mais se considerado que em muitos países o nível de penetração dos celulares atingiu praticamente 100% já em 2006 (Kenepper 2016). No Brasil o número de celulares ativos já é superior ao número de habitantes. A elevada cobertura espacial, a grande quantidade de informações armazenadas e transmitidas por seus sistemas e o baixo custo de obtenção dos dados torna os telefones celulares uma valiosa fonte de informações.

Alguns dos primeiros estudos nessa área focaram na utilização dos dados provenientes dos GPS instalados nos telefones celulares. Desenvolvido por Pesquisadores da Universidade Berkeley na Califórnia. O projeto *Mobile Centur*y buscou validar o conceito de monitoramento do tráfego por meio de dados provenientes de telefones celulares. A proposta consistiu em rastrear alguns veículos por meio do GPS do telefone celular em seus interiores. Os resultados obtidos foram comparados com os provenientes de sensores fixos (*loop).*

No entanto, é importante destacar que o estudo não considerou os dados provenientes do sensor como verdade absoluta. Para avaliar a adequação de ambas as fontes de dados o projeto *Mobile Century* optou por extrair a velocidade no trecho em estudo por meio de câmeras de alta definição com sistema de reconhecimento de placas. O tempo de viagem obtido por meio de cada uma das fontes de dados foi analisado, sendo observada uma subestimação do tempo de viagem por parte da fonte de dados *loop*, o que indicou também uma superestimação da velocidade em questão. Por fim, o estudo mostrou que com uma penetração de aparelhos celulares com GPS inferior a 5% é possível obter, de maneira precisa, a velocidade do fluxo de tráfego (Amin *et al.* 2008).

Com base nos dados de GPS proveniente dos táxis de Beijing, Wang *et al*. (2014) modelaram

o tempo de viagem de diversos motoristas, em diferentes segmentos de vias e diferentes intervalos de tempo, e propuseram um modelo para estimar o tempo de viagem em qualquer caminho. Pan *et al*. (2013) utilizaram dados de GPS de táxi, referentes a um período de três meses, juntamente com um banco de dados de *tweets* coletados pelo *WeiBo* para elaborar um sistema de sensoriamento coletivo das anomalias do tráfego. As anomalias eram identificadas com base no comportamento dos taxistas em relação a escolha de rotas.

Os dados provenientes de GPS de aparelhos celulares também são importante fonte de dados para a elaboração de softwares aplicados ao trânsito. Por exemplo, os softwares de chamada de táxi amplamente utilizados atualmente como *Uber*, *99Taxi* e *Easy Taxi*, foram todos elaborados com base em dados reais oriundos de GPS dos telefones de taxistas.

Atualmente parte dos dados armazenados por dispositivos móveis e seus aplicativos pode ser extraído por meio de Interfaces de Programação de Aplicativos, algumas das quais disponíveis gratuitamente. No caso específico de dados de tráfego, existem no mercado diversas APIs que permitem a obtenção de informações referentes a situação do trânsito naquele instante, tais como: *GoogleMaps*, *MapQuast*, *Here* e TomTom.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Rede viária

Para desenvolvimento do estudo foi selecionado o trecho entre os km 168 e 181 da Rodovia Presidente Dutra (BR-116). Esse trecho está localizado entre os municípios de Santa Isabel e Jacareí, no estado de São Paulo. As informações da corrente de tráfego foram obtidas a partir de quatro *links* da API *HereMaps* e cinco sensores (AT) da concessionária CCR – Nova Dutra. A rede em estudo foi subdivida em três trechos de análise, como ilustra a Figura1.



Figura 1: Rede viária em estudo

3.1.1. Dados extraídos pela API

A plataforma *Here* fornece 24 APIs para diferentes objetivos, linguagens e sistemas operacionais. O presente estudo se concentrou no uso exclusivo da ferramenta *Traffic* API, versão 6.0.27.0, a qual é completamente baseada em REST – *Representational State Transfer* (ou Transferência de Estado Representacional) e fornece informações e mapas sobre o fluxo de veículos na corrente de tráfego.

A *Here Traffic* API fornece 4 tipos de informações: dados de incidentes, mapas de tráfego,

disponibilidade de informações de tráfego e dados de fluxo de veículos. Este estudo tem como foco apenas a utilização dos dados de fluxo de veículos, mais especificamente na variável identificada pela API como “velocidade média não limitada pela legislação”.

Os dados fornecidos pela API são atualizados a cada 60 segundos. Dessa forma, este estudo realizou a extração de dados do tráfego a cada minuto do dia 24 de novembro de 2016. Os dados aqui apresentados são referentes a ambos os sentidos de direção da BR-116. Embora o código utilizado também tenha fornecido as informações referentes aos demais dias da semana em que a coleta foi realizada, foi adotada a estratégia de analisar apenas um dia útil devido a brevidade requerida pelo presente tipo de publicação.

Como exposto na Figura 1, os dados extraídos pela API, são referentes a um *link* e não pontuais. As informações coletadas são obtidas por meio de dispositivos, infraestruturas veículos, entre outras fontes (Here, 2016). No caso específico dos dados extraídos a partir de veículos, esses podem ser obtidos de usuários dos aplicativos da empresa, como o *Here WeGo*, de aplicativos construídos a partir das APIs da *Here* ou mesmo de veículos com tecnologias embarcadas. Nesse último caso, a *Here* se destaca como empresa líder no fornecimento de mapas para veículos, sendo responsável, por exemplo, pelos mapas de diversas linhas da Volvo.

3.1.2. Dados fornecidos pela concessionária

A concessionária CCR – NovaDutra forneceu as informações proveniente dos sensores instalados no trecho viário em estudo para o mesmo período analisado (24/11/2016). Os dados obtidos nos sensores foram o volume, a taxa de ocupação e a velocidade, os quais foram disponibilizadas considerando a corrente de tráfego como um todo e de forma segregada em função do tipo de veículo. As informações em questão se encontravam agrupadas em intervalos de 6 minutos.

Os detectores do tipo *loop* indutivo representam uma tecnologia amadurecida. A confiabilidade desse tipo de coleta tem aumentado ao longo do tempo devido a técnicas de instalações e acondicionamentos mais adequadas. No entanto, esses sistemas de detecção ainda sofrem devido à pouca confiabilidade. Entre os fatores que contribuem para tal, estão as más conexões feitas nas caixas de pressão, falhas nos pares de fio de torção e o uso de selante defeituoso. Tais problemas são agravados quando os *loops* são instalados em pavimentos ruins (Klein, 2001).

3.1.3. Compatibilização dos bancos de dados

Conforme exposto, as duas fontes de dados utilizadas apresentavam distinções quanto ao trecho físico considerado (pontual no caso do sensor e *link* no caso da API) e do intervalo de tempo (atualizações a cada 1 minuto no caso da API e agrupados em blocos de 6 minutos no caso dos sensores). Por essa razão, foi necessário compatibilizar os bancos de dados de modo a permitir as comparações desejadas.

Para ajuste da diferença nos intervalos de tempo considerados foi adotada a estratégia de agregar os dados da API compatibilizando para os dados de sensor em seis minutos. Dessa forma, foram obtidas 239 observações referentes a fonte de dados e ao sentido de circulação. Com relação a localização foram utilizados tratamentos específicos para cada situação.
Os trechos 1 e 3 apresentam composição similar em que um *link* da API engloba dois sensores. No caso, o trecho 1 é composto pelo *link* 7657 e os sensores AT-168,4 e AT-170,4, e o trecho 3 pelo *link* 7660 e os sensores AT-178,4 e AT-180,3. Nesses casos, os valores de velocidade

utilizado na comparação como referente ao sensor foram obtidos por meio da média dos valores referentes a cada sensor.

O trecho 2 apresenta configuração distinta dos anteriores pois compreende dois *links* da API e um sensor (173,9) disposto na região de encontro entre esses. Não foi possível determinar em qual *link* exatamente o sensor se encontrava, porém como não foram observadas grandes distinções entre os dados provenientes dos *links* 7658 e 7659, foi selecionado apenas os dados provenientes ao *Link* 7658 para a análise.

3.2. Procedimento e Resultados

As avaliações entre a amostra de velocidades obtidas por meio da API e por meio de sensores foram realizadas por estatística descritiva, distribuição de frequências de cada amostra, gráficos de dispersão e pelos testes Qui-quadrado e Kolmogorov Smirnov. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas obtidas para cada amostra considerando os três trechos da rodovia em estudo e o sentido de circulação.

Tabela 1: Medidas estatísticas das amostras coletadas

	Trecho 1		Trecho 2		Trecho 3	
Pista norte						
	Média sensores km 168,4 km 170,4	*Link* 7657	Sensor km 173,9	*Link* 7658	Média sensores km 178,5 km 180,3	*Link* 7660
Média (km/h)	93,59	83,78	64,36	88,74	91,11	85,36
Mediana (km/h)	94,28	84,41	64,55	89,06	91,73	85,92
Erro padrão (km/h)	0,19	0,48	0,22	0,48	0,25	0,47
Desvio padrão(km/h)	3,01	7,45	3,41	7,38	3,87	7,34
Variância (km/h)²	9,07	55,45	11,65	54,48	14,95	53,87
Pista sul						
Média (km/h)	94,56	88,24	62,92	85,35	84,78	82,42
Mediana (km/h)	94,84	88,27	63,04	85,44	85,04	82,58
Erro padrão (km/h)	0,23	0,48	0,20	0,50	0,27	0,45
Desvio padrão(km/h)	3,57	7,35	3,11	7,75	4,13	7,00
Variância (Km/h)²	12,77	53,99	9,69	60,01	17,06	48,99

Como pode ser observado, o desvio padrão e a variância obtidos pelas amostras da API indicam que esses dados são mais dispersos dos que os provenientes dos sensores, os quais apresentaram valores significativamente mais baixos para essas medidas. As Figuras 2 a 13 mostram os histogramas obtidos para os dados extraídos por meio do uso da API (gráficos a esquerda) e pelos sensores da concessionária (gráficos a direita) para os três trechos da rodovia.

Dados provenientes de API

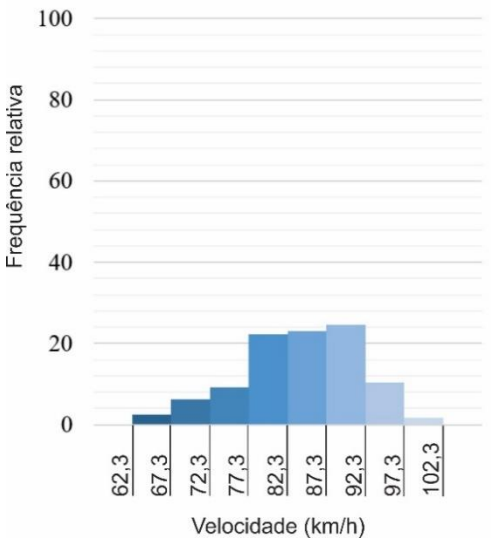


Figura 2: Histograma dados Trecho 1- Norte

Dados provenientes de sensores

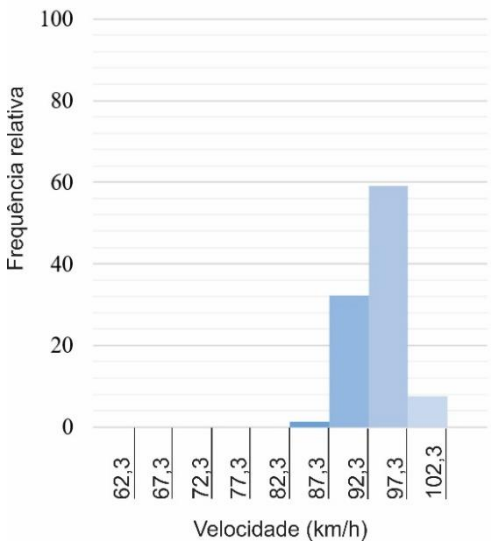


Figura 3: Histograma dados Trecho 1- Norte

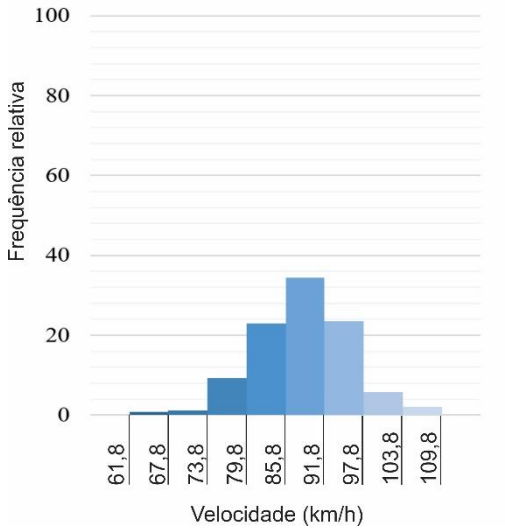


Figura 4: Histograma dados Trecho 1 - Sul

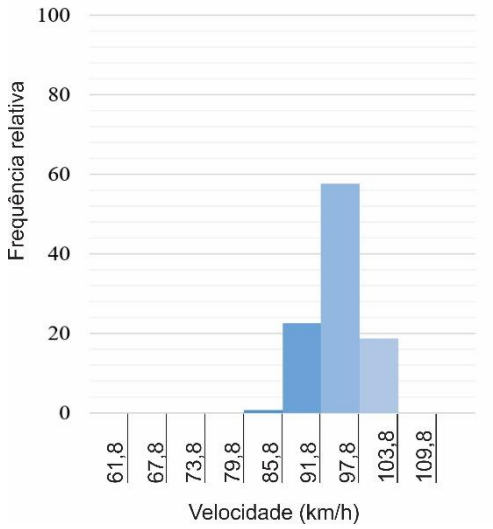


Figura 5: Histograma dados Trecho 1-Sul

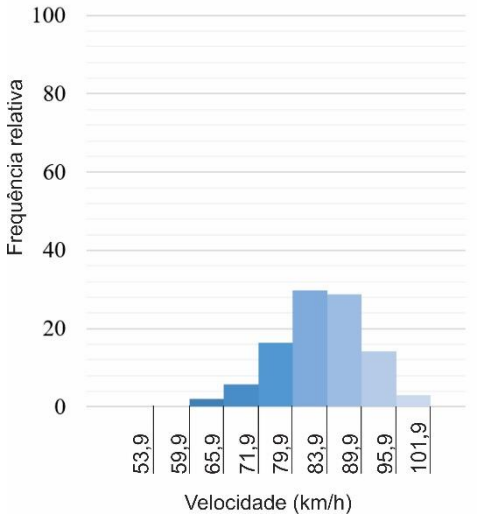


Figura 6: Histograma dados Trecho 2 - norte

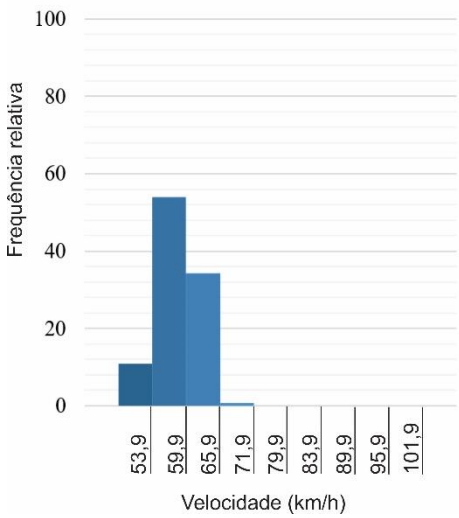


Figura 7: Histograma dados Trecho 2- norte

[1]

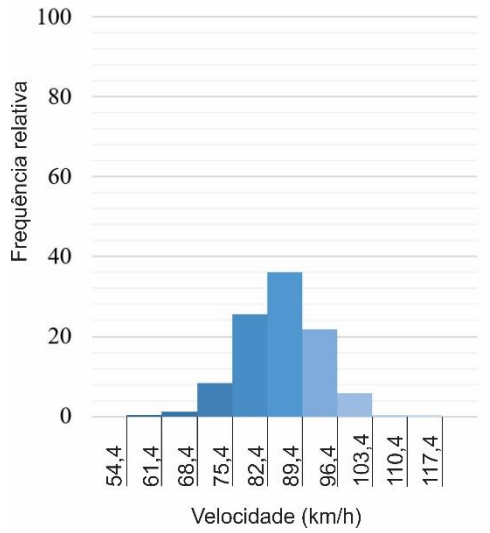


Figura 8: Histograma dados Trecho 2- Sul

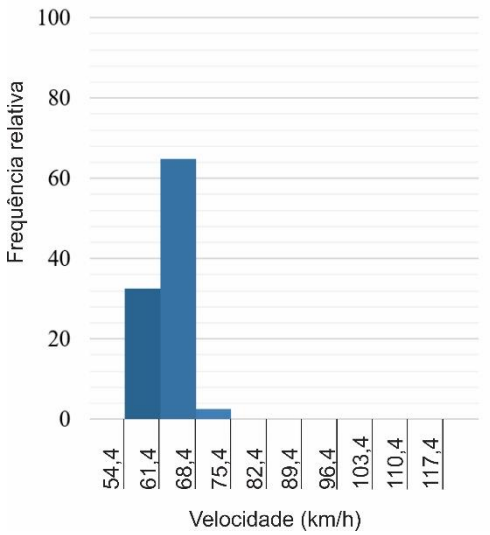


Figura 9: Histograma dados Trecho 2- Sul

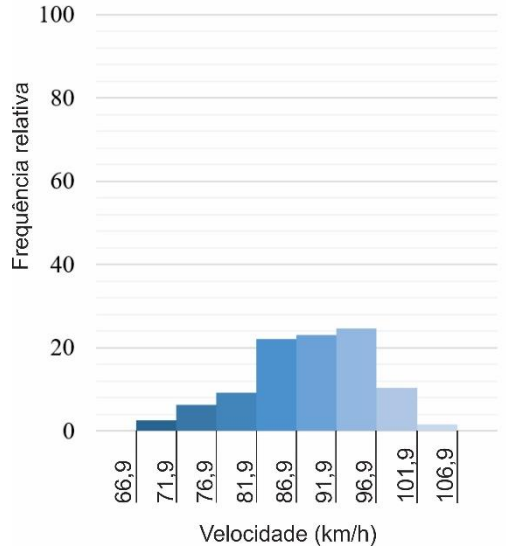


Figura 10: Histograma dados Trecho 3 - Norte

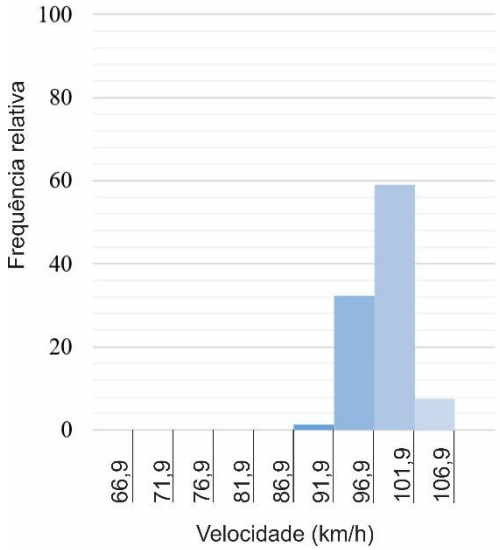


Figura 11: Histograma dados Trecho 3- Norte

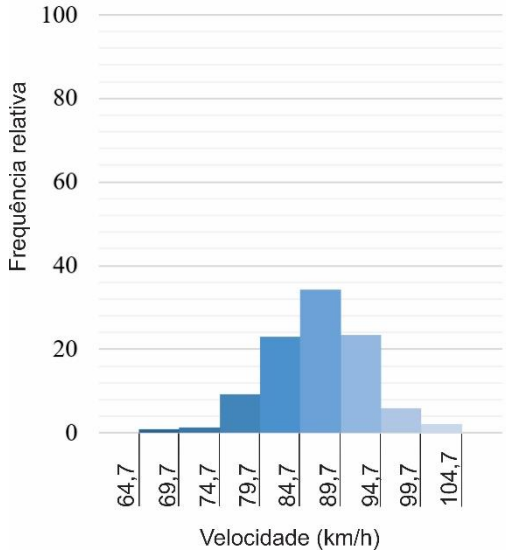


Figura 12: Histograma dados Trecho 3 - Sul

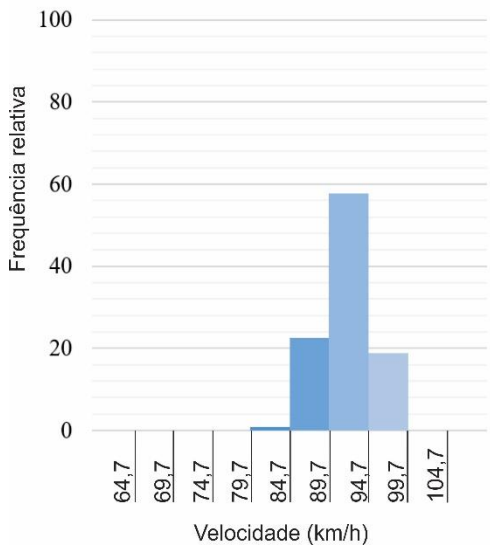


Figura 13: Histograma dados Trecho 3- Sul

Os histogramas também evidenciam a maior distribuição dos dados provenientes da API. Os dados referentes aos trechos 1 e 3, expõem que tanto a os dados provenientes da API quanto do sensor apresentam maior ocorrência nas faixas mais elevadas de velocidade, embora essas ocorrências sejam mais pronunciadas na amostra referente aos sensores.

O histograma referente aos dados do sensor no trecho 2 evidencia uma diferença de comportamento desses dados em relação aos demais. Nesse caso, os dados da concessionária apresentaram maior ocorrência em faixas de velocidades mais baixas, estando essas faixas fora das em que se encontram os dados obtidos pela API, para o mesmo trecho. Em seguida são apresentados os gráficos de dispersão das amostras obtidas pelas duas fontes de dados em cada um dos três trechos estudados.

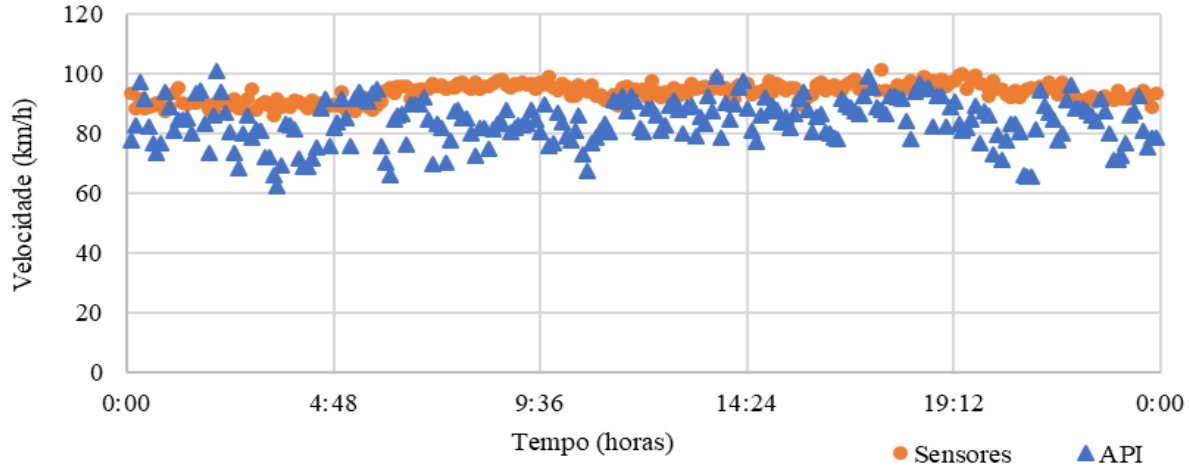


Figura 14: Gráfico de dispersão dos dados referentes ao trecho 1, pista norte

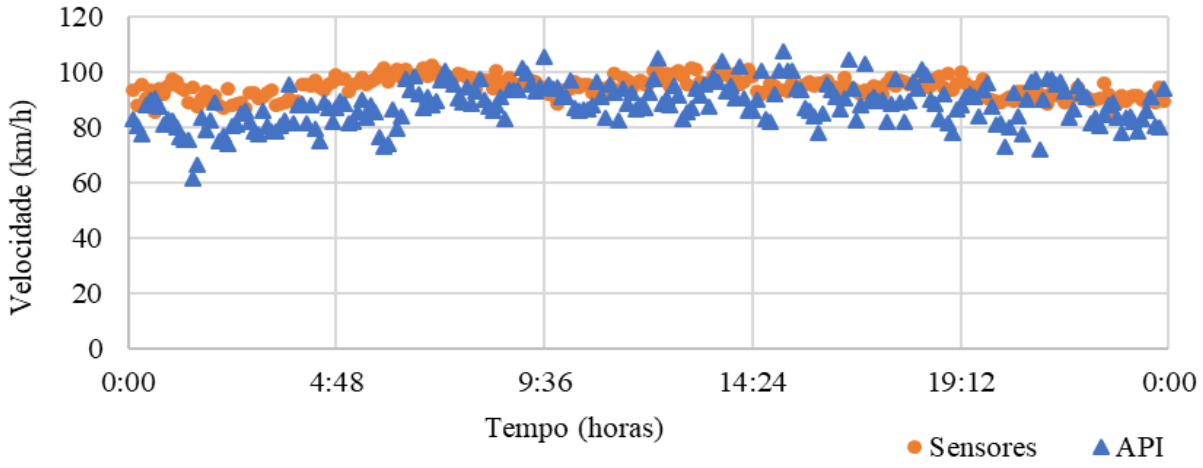


Figura 15: Gráfico de dispersão dos dados referentes ao trecho 1, pista sul

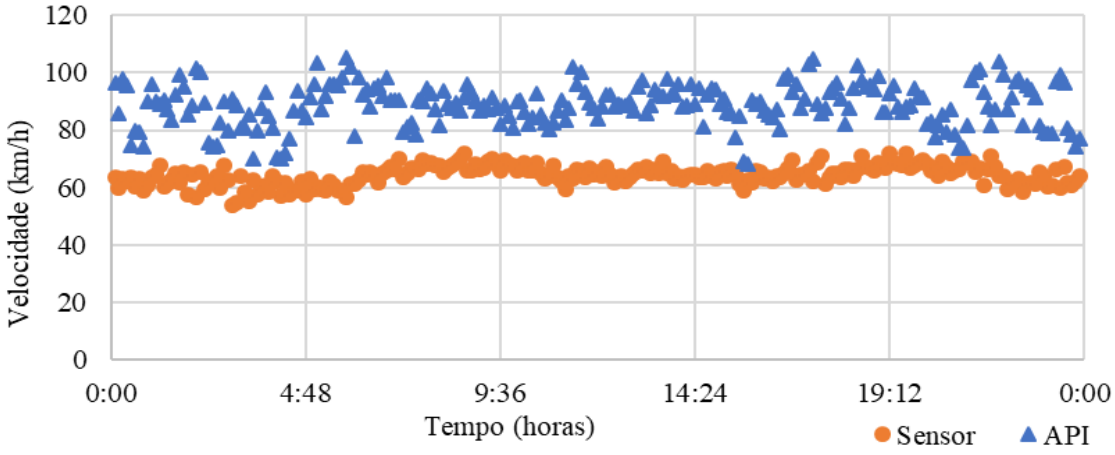


Figura 16: Gráfico de dispersão dos dados referentes ao trecho 2, pista norte

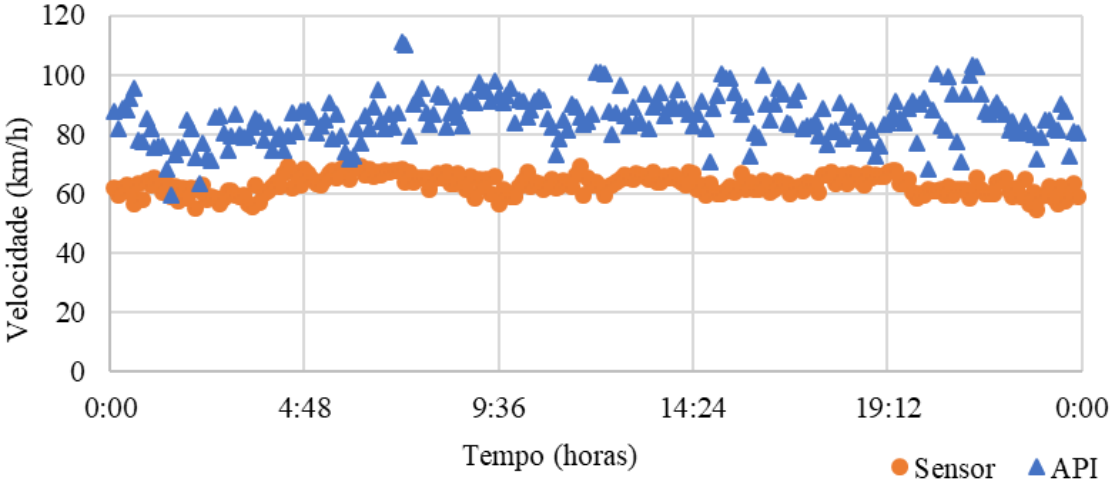


Figura 17: Gráfico de dispersão dos dados referentes ao trecho 2, pista sul

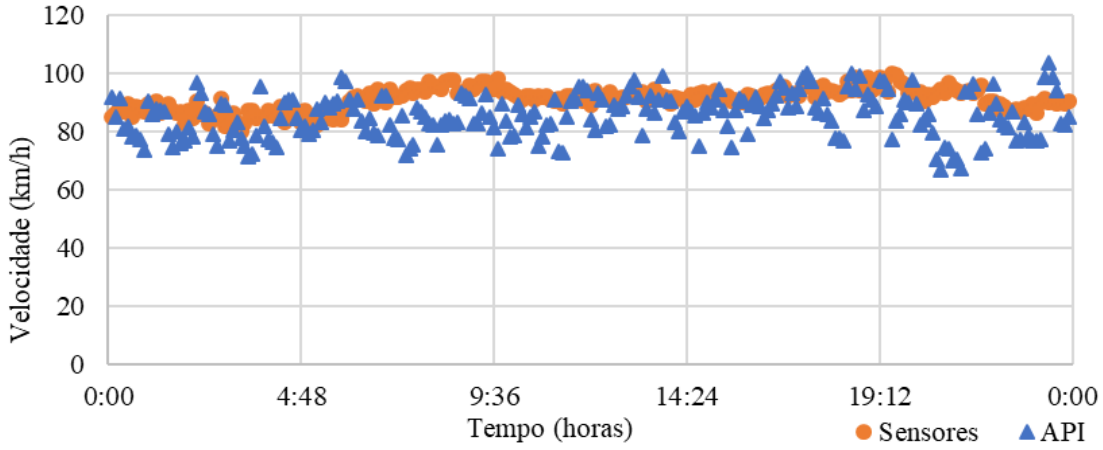


Figura 18: Gráfico de dispersão dos dados referentes ao trecho 3, pista norte

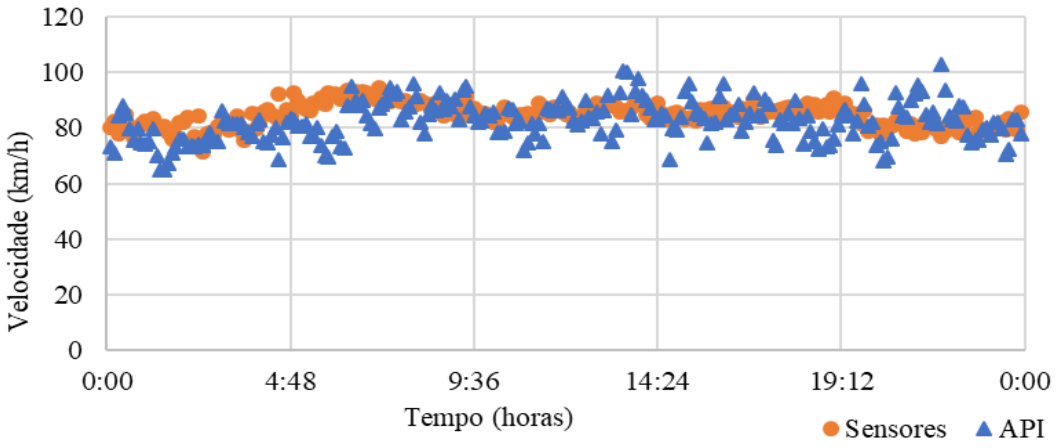


Figura 19: Gráfico de dispersão dos dados referentes ao trecho 3, pista sul

Os gráficos de dispersão expõem um comportamento aproximado entre os dados do sensor e da API nos trechos em estudo, com exceção do trecho 2. É importante ressaltar que os dados obtidos pelo sensor para o trecho 2 apresentam comportamento distinto ao observado nos outros 4 sensores analisados. Essa distinção se deve, provavelmente, a questões como existência de lombada, radar ou outro tipo de redutor de velocidade no local, ou a problemas na acurácia do sensor, entre outras possibilidades externas a presente análise.

Por fim, foram realizados os testes não paramétricos Qui-quadrado (χ^2) e Kolmogorov-Smirnov, para avaliar a aderência entre as duas distribuições das amostras obtidas para cada trecho de estudo. Os valores provenientes dos sensores se concentraram em algumas classes de frequência de modo que as demais não apresentaram ocorrências. Por essa razão, não foi possível utilizar essa fonte de dados como sendo referente aos valores esperados, uma vez que, isso acarretaria em divisor nulo o que não é viável matematicamente. Desse modo, foi adotado como valor esperado os dados provenientes da API e como observado os coletados por sensor. Os valores obtidos para o teste em cada trecho são apresentados a seguir.

Tabela 2: Testes de hipótese realizados

Testes estatísticos						
	Trecho 1		**Trecho 2**		**Trecho 3**	
	Norte	**Sul**	**Norte**	**Sul**	**Norte**	**Sul**
X^2	308,74	117,71	4600,35	5796,71	108,41	49,06
X^2 crítico	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93	77,93
Kolmogorov Smirnov	0,62	0,45	0,97	0,96	0,39	0,19
Kolmogorov Smirnov crítico	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09

A hipótese nula (H_0) considerada consistia na independência das amostras e em uma boa concordância entre as distribuições de frequência. Foi considerado alfa igual a 5%. Para que a hipótese nula não seja refutada é necessário que os valores obtidos pelos testes sejam similares ou inferiores aos valores críticos determinados em função do número de observações (239).

Conforme exposto na tabela 2 a hipótese nula não foi refutada apenas para os dados referentes ao trecho 3, Pista Sul. Os demais trechos avaliados não passaram nos testes propostos apresentando valor significativamente superior ao critico, com destaque para o trecho 2 em que essa discrepância foi ainda mais pronunciada.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A ampla penetração dos *smartphones* e seus aplicativos nas cidades atuais tem oferecido uma nova fonte de dados para o estudo do tráfego e dos padrões de mobilidade. Os principais atrativos dessas novas fontes estão na ampla área de cobertura, elevado volume de informações e baixo investimento financeiro. Os diferentes tipos de dados que podem ser extraídos apresentam características, estruturas, resoluções e precisões específicas, sendo necessário, por essa razão, avaliar qual o dado mais indicado para a análise que se deseja realizar.

Embora o uso de dados provenientes de GPS de *smartphones* tenha se mostrado cada vez mais frequente na área de transporte, esses dados ainda se mostram mais restritos a equipamentos instalados em veículos ou utilizados por grupos específicos, como no caso dos estudos de Pan *et al*. (2013) e Wang *et al.* (2014). Também tem sido bastante utilizado os dados coletados a partir de informações de telefonia celular em que a triangulação das antenas permite estimar a posição dos veículos.

O uso de APIs no estudo de transporte está mais relacionado a utilização da estrutura base de softwares existentes no desenvolvimento de novas aplicações, como no estudo de Binu e Viswaraj (2016) em que é proposto um aplicativo de *carpooling* a partir da utilização da API do *GoogleMaps*.

Parte dos dados coletados pelos *smartphones* e seus aplicativos são disponibilizados de maneira praticamente livre na *Web* por meio das Interfaces de Programação de Aplicativos. O presente estudo utilizou a plataforma da *Here Traffic* API para extrair dados de velocidade em trechos específicos da Rodovia Presidente Dutra BR-116 e os comparou com as informações coletadas por meio de sensores fixos na rodovia.

Foi observada que os dados provenientes da API apresentaram maior dispersão e valores um pouco abaixo dos obtidos pelos sensores. Esse resultado se mostra convergente com as considerações feitas por estudos anteriores como o projeto *Mobile Century*. Nessa ocasião, os pesquisadores optaram por questionar o caráter de verdade absoluta atribuído aos dados coletados por sensores, por meio da comparação dos tempos de viagens obtidos a partir das velocidades coletadas por sensores, por GPS de *smartphones* e câmeras de alta definição juntamente com identificadores de placas. A conclusão obtida pelo estudo foi de que os sensores tendiam a superestimar as velocidades (Amin *et al.* 2008).

São diversos os fatores que podem ser apontados como responsáveis pelas diferenças existentes entre os dados extraídos por meio de sensores e da API, entre esses podemos citar o fato de que enquanto a API fornece dados obtidos a partir de uma parcela do fluxo que utiliza determinado aparelho ou aplicativo, e se encontra em determinado trecho da via, o sensor fixo coleta, teoricamente, as informações referentes a todos os veículos que cruzam determinado ponto. O modo como a velocidade é aferida também é distinto, enquanto o *loop* estabelece a velocidade a partir do tempo de viagem entre dois pontos, a API extrai a velocidade computada pelo GPS embarcado no *smartphone*.

Embora a nova fonte de dados avaliada não tenha obtido bons resultados em todos os testes estatísticos propostos, não se deve determinar uma inadequação de seu uso. Conforme exposto ao longo deste artigo, a utilização dessas informações é uma realidade nos dias atuais estando presente nos aplicativos de rotas, de avaliação do desempenho de tráfego, entre tantos outros utilizado todos os dias por muitos.

O presente estudo teve por objetivo não apenas avaliar esta nova fonte de dados, mas também questionar a utilização dos sensores fixos como verdade absoluta no que diz respeito a dados de tráfego. Estudos anteriores, como o projeto *Mobile Century*, já indicaram a necessidade de questionar essa confiança extrema nos dados provenientes de sensores fixos.

Por fim é necessário ressaltar as inúmeras possibilidades de estudos e aplicações a serem realizados a partir da nova fonte de dados aqui apresentada. Além dos já citados, é possível aplicar os dados extraídos por APIs na reconstrução de matrizes OD sintéticas, em análise de comportamento do tráfego, em estudos de mobilidade, dentre tantos outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

99TAXI (2017) http://www.99taxis.com.

AMIN S. et al (2008) - Mobile Century Using GPS Mobile Phones as Traffic Sensors: A Field Experiment. *15th World Congress on Intelligent Transportation Systems*, p. 8–11, 2008.

BINU P K, VISWARAJ V S (2016) - Android Based Application for Efficient Carpooling with User Tracking Facility. *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, 2016.

EASY TAXI (2017) www.easytaxi.com.

HERE (2016) www.here.com

HERE (201-) *Traffic API – Developer's Guide*. Version 6.0.27.0. 88 f.

HERE (2014) *TrafficML 3.1 Real-time Flow Feed Specification - HERE Implementation.* Version 1.8. 26 f. 2014.

KNEPPER, S. C. J. (2016) *Mobile Phone Data Validation - A validation framework for Mobile Phone Data for Transport Planning.* 59 f. Master Thesis. TuDelft - Delf Unisversity of Technology, Delft, Holanda, 2016.

KLEIN, L. A. (2001). *Sensor Technologies and Data Requirements for ITS*. Boston: Artech House. 550 p. ISBN: 1-58053-077-x.

PAN, B. et al. (2013) - Crowd Sensing of Traffic Anomalies based on Human Mobility and Social Media. SIGSPATIAL GIS'13 – *13th International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, Orlando, Florida, USA.

UBER TECHNOLOGIES (2017) www.uber.com.

WANG, F. Y. (2014) – Scanning the issue and beyond: Real-time social transportation with online social signals. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 15, p. 909–914, 2014.

WANG, Y.; ZHENG, Y.; XUE, Y. (2014) - Travel time estimation of a path using sparse trajectories. Proceedings of the 20th ACM SIGKDD *international conference on Knowledge discovery and data mining* (KDD '14), n. 5, p. 25–34, 2014.

ZHENG, X. et al. (2016) - Big Data for Social Transportation. *IEEE Transactions on intelligent Transportation Systems.* Vol. 17, n 3, 2016.

Mariana Marçal Thebit (marianastt@usp.br)
André Luiz Barbosa Nunes da Cunha (alcunha@usp.br)
Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400. São Carlos, SP. Brasil

CONSTRUÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE DE CAMINHÕES UTILIZANDO FILTRO GAUSSIANO E REGRESSÕES LINEARES EM DADOS DE GPS

Luan Guilherme S. Carvalho
José Reynaldo Setti
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO
Perfis de velocidade de caminhões têm inúmeras aplicações no projeto e na gestão de rodovias. Esses perfis representam a variação de velocidade ao longo de um percurso e podem ser criados utilizando diversos tipos de dados de entrada e diferentes técnicas de agregação de dados. Uma forma eficaz de coletar dados para geração de perfis de velocidade é através do uso de equipamentos GPS embarcados em veículos. No entanto, dados provenientes de tais dispositivos devem ser suavizados de forma a reduzir o impacto do erro aleatório do GPS. Além disso, é desejável indicar a velocidade em pontos equidistantes (estacas), ao longo do trecho estudado. Este artigo propõe um método para desenvolver perfis de velocidade em que os valores são agrupados em pontos equidistantes ao longo de um segmento rodoviário. Um estudo de caso utilizando o método é apresentado e seus resultados são discutidos.

ABSTRACT
Heavy vehicle speed profiles are widely used in the highway design and management. They represent the speed variation experienced by trucks over a highway section and can be generated from a number of data types, using different data aggregation techniques. Onboard GPS devices are an efficient way to collect data for speed profiles. However, data provided by such devices should be smoothed in order to reduce random GPS error. Moreover, it is usual to provide speed values at equidistant points along the segment. This paper proposes a method to develop vehicle speed profiles which provides instantaneous speeds at equidistant points along a highway section. A case study applying the method is presented and its results are discussed.

1. INTRODUÇÃO

Perfis de velocidade veicular são amplamente utilizados na Engenharia de Transportes: no projeto e na operação de rodovias, na simulação de correntes de tráfego, etc. A determinação do comprimento crítico de rampas no projeto de faixas adicionais é uma das aplicações mais conhecidas de perfis de velocidade [AASHTO, 2001; Melo e Setti, 2003; Andrade e Setti, 2010]. A diversidade de aplicações exige que tais informações sejam tratadas em diferentes níveis de complexidade e agregação. Exemplos de tratamentos de velocidade incluem Quiroga e Bullock [1998], que estudaram tempos de viagem em segmentos de rodovia estimando velocidades a partir de observações no começo e no fim do trecho; Cunha et al. [2009], que utilizaram velocidades de caminhões em rampas para calibrar modelos de desempenho veicular em um simulador microscópico de tráfego; Andrade e Setti [2010], que propõem diretrizes para a implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista dupla e Melo e Setti [2003], que elaboraram curvas de desempenho de caminhões para projeto de faixas adicionais de subida em rodovias de pista simples.

O uso de equipamentos de GPS embarcados em veículos para registro direto ou indireto de velocidade é prática comum desde o fim da década de 1990 [Quiroga e Bullock, 1998; Donnell et al., 2001; Li e McDonald, 2002], o que implicou na criação de diversos métodos para processamento de tais informações. Em geral, tais técnicas incluem o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), complementados por outros dados (por ex., volume veicular horário, velocidade média da corrente, entre outros), para aprimorar e facilitar o tratamento dos dados.

A velocidade veicular em rodovias com baixo volume de tráfego é, fundamentalmente, função das características do veículo e da geometria da via, já que há baixa interação entre veículos. Dispositivos GPS embarcados que determinam a posição do veículo com frequência de 1 Hz ou mais altas são particularmente eficazes para obter os dados de velocidade e distância para a elaboração dos perfis de velocidades nessas rodovias. Porém, o uso de GPS implica numa etapa prévia de filtragem de erros aleatórios e ajuste dos dados brutos [Jun et al., 2006].

São dois os problemas associados ao uso de GPS embarcado: (1) a correção de medidas inconsistentes; e (2) a interpolação da velocidade, já que raramente as observações do GPS são feitas nos pontos desejados (por ex., a cada 100 m). Para resolver o primeiro problema é necessário filtrar os dados para eliminação do ruído aleatório do GPS [Jun et al., 2006]. Para o segundo problema, é necessário estimar a velocidade do veículo no instante em que ele passa pelos pontos desejados (estacas), com base nas observações feitas antes e depois da passagem pela estaca. Esse problema pode ser resolvido por modelos ajustados através de mínimos quadrados parciais (MQP) [Jun et al., 2006], ajustando-se polinômios através de regressão linear com pequenos conjuntos de observações antes e depois da estaca, já que a velocidade real não varia bruscamente. De fato, como se deseja conhecer a velocidade a intervalos discretos ao longo do trecho ou ao longo do tempo, o MQP proposto por Jun et al. [2006] pode ser simplificado; ao dispensar o ajuste de uma curva única e contínua, é possível reduzir o modelo a regressões isoladas e simples.

Assim sendo, o objetivo deste trabalho é apresentar um método para obter perfis de velocidade de caminhões ao longo de trechos de rodovias com dados coletados por GPS embarcado, utilizando um filtro gaussiano para eliminação do erro aleatório do GPS e regressões lineares para interpolação das velocidades. Para tal, apresenta-se uma breve revisão da literatura, as técnicas utilizadas no método e a abordagem adotada. Um estudo de caso demonstra uma aplicação do método proposto.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O método proposto baseia-se em dados de posição coletados através de um equipamento GPS embarcado, com uma frequência relativamente alta (maior ou igual a 1 Hz). Nas próximas seções, faz-se um breve panorama dos aspectos fundamentais do processo proposto: métodos de obtenção e suavização de perfis de velocidade e filtro gaussiano.

2.1. Métodos de obtenção de perfis de velocidade

Um perfil de velocidade mostra a variação da velocidade de um veículo ao longo de um trecho de via. Para sua elaboração, é necessário coletar a velocidade em pontos fixos ao longo do trecho ou a intervalos fixos ao longo do percurso. No primeiro caso, pode-se usar videocâmeras e espelhos posicionados ao longo do trecho [Archilla e De Cieza, 1996] ou fazendo-se a medida da velocidade de um carro que segue o caminhão, em pontos previamente marcados no acostamento [Bester, 2000; Demarchi et al., 2001]. No segundo caso, as medidas de velocidade são feitas usando-se um dispositivo GPS, que pode ser instalado no próprio caminhão ou num veículo *probe* [Quiroga e Bullock, 1998; Rakha et al., 2001; Li e McDonald, 2002; Jun et al., 2006; Cunha et al., 2009]. Em um estudo em particular [Rakha et al., 2001], o caminhão partia do repouso até alcançar a velocidade máxima, sob diversas condições de carregamento. Em outros estudos, os veículos usados foram automóveis [Quiroga e Bullock, 1998; Li e McDonald, 2002; Jun et al., 2006] ou caminhões [Archilla e De Cieza, 1996; Bester, 2000; Demarchi et al., 2001;

Cunha et al., 2009] que viajam por trechos mais longos.

Diversas maneiras de se obter perfis de velocidade foram desenvolvidas a partir de dados de GPS. Uma forma simples de se estimar a velocidade em um dado ponto da trajetória é através da média ou mediana de observações próximas [Quiroga e Bullock, 1998]. Outra forma de se agregar valores de velocidade é através de modelos de regressão, como proposto por Donnell et al. [2001], que desenvolveram modelos de regressão para previsão de velocidade de caminhões em rodovias de pista simples. Esses modelos utilizaram dados coletados em campo em conjunto com dados simulados.

Além dos dados simulados, outras informações auxiliares podem ser embutidas nos modelos estimados. Li e McDonald [2002] elaboraram um método para estimar tempo de viagem em tempo real para um trecho de rodovia, utilizando dados coletados com GPS em um único veículo embarcado e relacionando-os com um conjunto de dados obtidos com sensores instalados no local. Câmeras de vídeo e radares também podem ser combinados às observações de GPS para calibração de modelos [Yang et al., 2016].

A coleta de dados de posição de objetos em movimento é sujeita à ocorrência de erros aleatórios de GPS. De modo a atenuar o impacto desse fenômeno, faz-se necessário o uso de técnicas de suavização dos dados de velocidade, como filtros gaussianos, MQP, filtros de Kalman, entre outros [Jun et al., 2006].

2.2. Filtro gaussiano

Filtros gaussianos são amplamente utilizados para suavização de ruído, principalmente no caso de imagens e sinais elétricos [Taubin, 1995; Lin et al., 1996], bem como no uso em sistemas não lineares [Huber e Hanebeck, 2008]. Para sistemas lineares, adaptações como os filtros de Kalman também podem ser usadas [Jun et al., 2006].

A suavização gaussiana funciona de tal forma que um novo valor $\bar{x}(t)$ de um ponto $x(t)$ é a média ponderada de um conjunto de $2n + 1$ pontos centrados em t [Taubin, 1995], que pode ser escrita como:

$$\bar{x}(t) = \frac{f(t-n) \cdot x(t-n) + \ldots + f(t) \cdot x(t) + \ldots + f(t+n) \cdot x(t+n)}{f(t-n) + \ldots + f(t) + \ldots + f(t+n)} \tag{1}$$

em que $\bar{x}(t)$ é o novo valor de $x(t)$; n é o número de observações anteriores e posteriores que são usadas para suavizar $x(t)$; $f(i)$ são os fatores de ponderação para cada observação usada; e $x(i)$ são as observações usadas para calcular $\bar{x}(t)$. No filtro gaussiano, os fatores de ponderação $f(t)$ são distribuídos segundo uma distribuição normal, ou gaussiana [Walck, 2007]:

$$f(t; \mu; \sigma^2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x(t)-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \tag{2}$$

em que $f(t; \mu; \sigma^2)$ é a função densidade de probabilidade, ou o fator de ponderação, para uma observação $x(t)$, que faz parte de um conjunto de observações cujo desvio padrão é σ e cuja média é μ.

Dessa forma, para suavizar um valor $x(t)$, inicialmente é definido um intervalo $2n + 1$ de observações próximas a $x(t)$, de tal forma que existem n observações anteriores a $x(t)$ e n observações posteriores a $x(t)$. Para esse intervalo, calculam-se a média μ e o desvio padrão σ. Depois, calcula-se o fator de ponderação de cada elemento do intervalo. Por fim, estima-se a

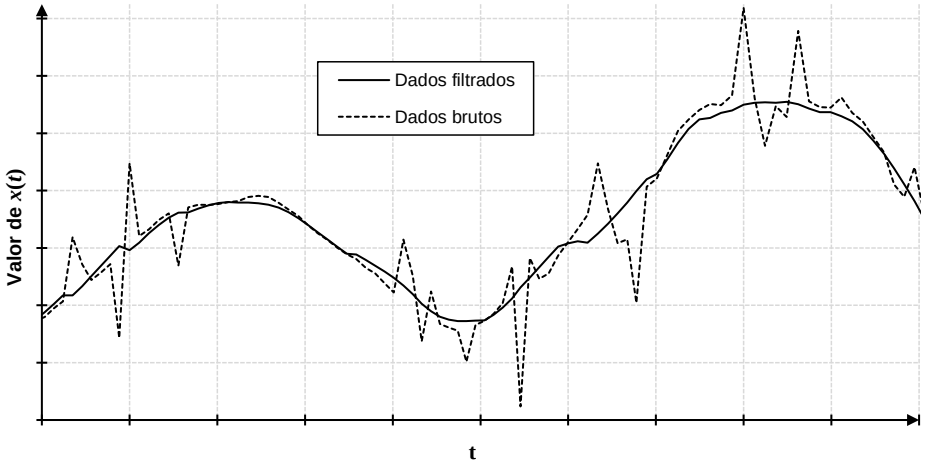


Figura 1: Dados brutos e suavizados com filtro gaussiano, usando um intervalo de 11 observações.

média ponderada $\bar{x}(t)$, que corresponde ao valor suavizado de $x(t)$. A Figura 1 é um exemplo de suavização de pontos utilizando as Equações 1 e 2.

3. ABORDAGEM UTILIZADA

Quando veículos que se deslocam em rodovias são capazes de trafegar com pouca interação entre si, é usual que alterações em sua velocidade ocorram suavemente, decorrentes das sequenciais mudanças de greide e/ou curvatura da via. Tal fenômeno é função das forças atuantes no veículo [Demarchi et al., 2001; Rakha et al., 2001], sendo possível estimar a velocidade em um dado ponto com base na força resultante. Entretanto, a carência de informações para estimação das forças implica na necessidade de se buscar outras formas para elaborar perfis de velocidade.

Utilizando dados típicos de uma coleta com GPS embarcado ao longo de um trecho rodoviário, pode-se visualizar graficamente o comportamento da velocidade veicular em função do deslocamento acumulado. A Figura 2 é um exemplo de dados brutos de velocidade, coletados com GPS diferencial embarcado num caminhão. Na Figura 2, estão circulados trechos em que a variação de velocidade não condiz com a esperada em função da mecânica veicular. Tal comportamento é oriundo dos erros aleatórios de GPS, fenômeno que acarreta na variação brusca dos valores medidos ou calculados de velocidade. Portanto, é necessário realizar a suavização dos dados de entrada antes da elaboração das regressões [Jun et al., 2006]. Um filtro gaussiano pode ser utilizado para atenuar o impacto desse ruído, possibilitando estimar a velocidade correta a partir de um certo número de observações anteriores e posteriores sem comprometer o traçado geral do perfil de velocidade.

Embora a velocidade do veículo mude constantemente, há poucas inversões do sinal dessa variação, ou seja, é necessário que o veículo percorra trechos relativamente longos (ao menos 500 m para esse exemplo) para que o mesmo passe de uma fase de aceleração para uma desaceleração, ou vice-versa. Dessa forma, o que se observa dentro desses trechos são valores de velocidade se alterando em função do deslocamento de maneira similar ao de uma parábola de baixa concavidade, muitas vezes próxima ao formato de uma reta. Assim, em trechos curtos, os valores medidos de velocidade podem ser interpolados por meio de regressões. Todavia, uma etapa prévia é necessária para garantir a qualidade dos modelos gerados.

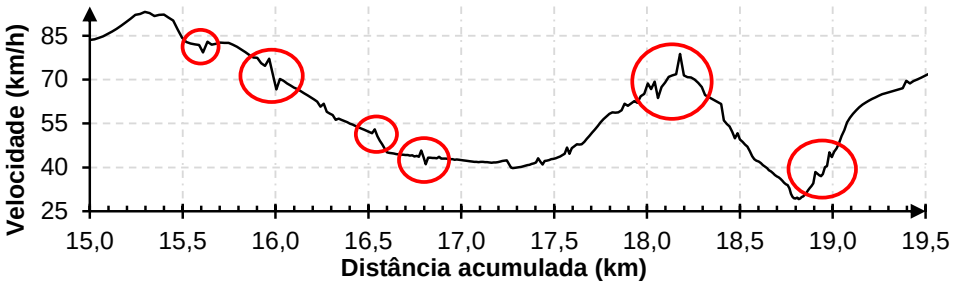


Figura 2: Dados de velocidade sem tratamento. Trechos com incidência mais acentuada de erros aleatórios de GPS estão circulados em vermelho. Os valores são parte do banco de dados do estudo de caso.

Quando se usa GPS para coletar os dados de velocidade, as observações são feitas a intervalos fixos de tempo – por ex., a cada segundo (1 Hz). Para calibrar o desempenho veicular em microssimuladores de tráfego, é necessário que os trechos simulados apresentem as mesmas características básicas (comprimento e inclinação de rampa) daqueles utilizados para coleta dos dados de velocidade. A otimização do modelo simulado se dá minimizando a diferença entre velocidades observadas e simuladas em pontos preestabelecidos do trecho [Cunha et al., 2009]. Portanto, é desejável que os perfis de velocidade sejam expressos em termos de pontos equidistantes, doravante chamados de "estacas", em razão da similaridade com o conceito das estacas utilizadas em projetos geométricos rodoviários.

Para tanto, é necessário interpolar a velocidade, uma vez que as observações do GPS quase nunca coincidem com as estacas, como pode ser visto na Figura 3, em que os pontos indicam as observações do GPS e as estacas estão indicadas no eixo x. O uso de regressão linear (RLS) é uma alternativa eficaz, tanto para a filtragem do ruído, quanto para a interpolação da velocidade nas estacas. Como discretização da velocidade nas estacas, as regressões podem utilizar apenas os pontos mais próximos de cada estaca (ligados por uma linha pontilhada na Figura 3), dispensando ajustar a continuidade da curva, como no método de MQP. A Figura 3 apresenta regressões com dados próximos de cada estaca, utilizando a velocidade como variável dependente (y) e a distância acumulada como variável independente (x). Uma vez que, neste caso, o estaqueamento é de 100 m, cada regressão utiliza observações feitas a menos de 50 m da respectiva estaca, como mostra a Figura 4.

As RLS incluem no polinômio de regressão um termo independente, também conhecido como intercepto, que equivale a y quando $x = 0$. Nas regressões com pontos próximos às estacas é possível utilizar, ao invés da distância acumulada, a distância de cada ponto à estaca para os valores de x, conforme a Figura 4. Uma vez que a distância da estaca a si mesma é nula, o intercepto de cada regressão passa a indicar o valor estimado da velocidade na estaca.

Dessa forma, os problemas de suavização, modelagem e interpolação foram abordados e solucionados de forma teórica. A implementação prática dessas etapas é discutida a seguir.

4. MÉTODO PROPOSTO

O método proposto consiste de cinco etapas: (1) coleta de dados; (2) tratamento dos dados; (3) definição do estaqueamento; (4) seleção do conjunto de observações para cada regressão; e (5) obtenção do valor interpolado da velocidade para cada estaca. Concluído o passo 5, o perfil de velocidade para o veículo pode ser construído a partir dos pares ordenados (estaca,

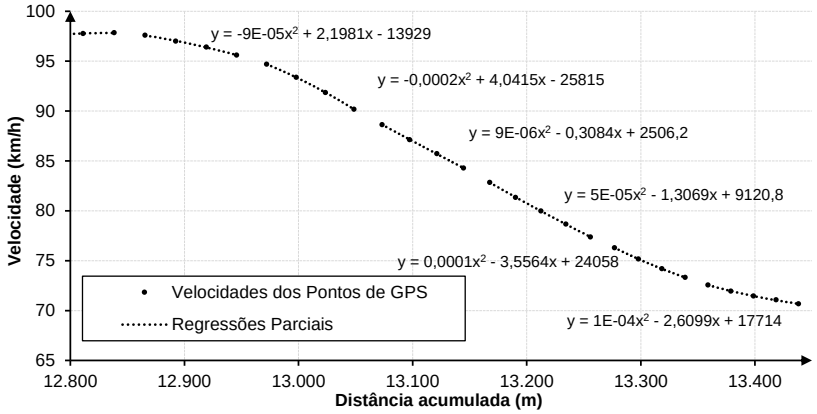


Figura 3: RLS utilizando pontos próximos às estacas para velocidades de um mesmo caminhão em função da distância acumulada. As linhas de grade do eixo horizontal coincidem com a posição das estacas.

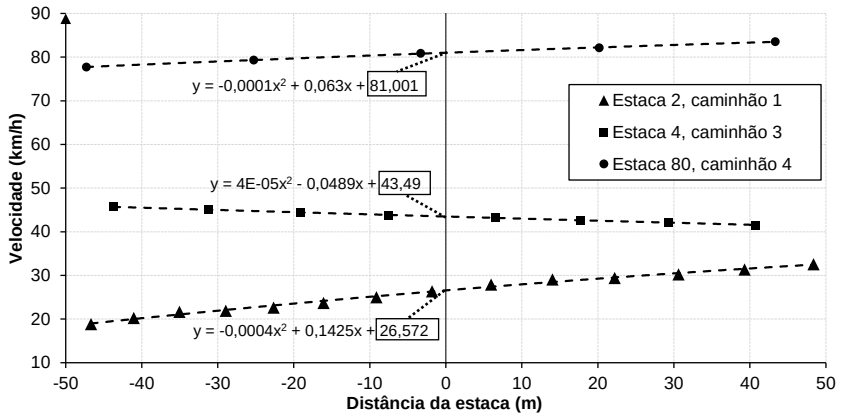


Figura 4: RLS para velocidade em função da distância da estaca mais próxima. As velocidades estimadas nas estacas coincidem com o termo independente das respectivas regressões.

velocidade). Cada passo do método é discutido nas seções a seguir.

4.1. Coleta dos dados

O dispositivo embarcado deve fornecer um conjunto de coordenadas geográficas para cada veículo, obtidas a uma frequência constante e conhecida. A velocidade veicular pode ser fornecida pelo dispositivo (velocidade instantânea) ou calculada posteriormente a partir da distância percorrida entre observações sucessivas.

Um observador, situado preferencialmente dentro do veículo de coleta, deve registrar a ocorrência de interações significativas do veículo com a corrente de tráfego. Considerações sobre pontos de controle, configuração do dispositivo e outros parâmetros devem atender aos critérios usuais de coleta de dados móveis [Leick, 2004; Monico, 2007].

4.2. Tratamento dos dados de entrada

O tratamento dos dados de entrada inclui quatro subetapas: processamento, cálculo da distância entre pontos, cálculo da velocidade média entre pontos (caso não fornecido pelo dispositivo) e suavização dos valores de velocidade.

O processamento dos dados tem por objetivo corrigir a posição dos pontos coletados, em geral

utilizando *software* comercial ou científico. Nessa etapa são também realizadas conversões de coordenadas e exportação dos pontos. Após correção dos pontos, os seguintes parâmetros devem ser exportados para uma planilha eletrônica: identificador único para cada ponto, data, hora, minuto e segundo do registro, coordenadas geodésicas (latitude e longitude, em graus decimais) e UTM, altitude (relativa a um elipsoide de referência) e identificador do veículo ou viagem realizada.

Para cálculo da distância entre pontos ordenados, podem ser utilizadas as coordenadas UTM com a altitude, adotando-se a forma de cálculo de distância euclidiana. A velocidade média entre pontos é definida como a razão entre a distância e o tempo entre duas medições subsequentes.

A suavização dos valores de velocidade é realizada a partir do filtro gaussiano, o qual pode ser calculado por meio das Equações 2 e 1, adotando um número de elementos n do intervalo de suavização em função do cenário estudado.

4.3. Estaqueamento e padronização do trecho de referência

O estaqueamento deve ser realizado de forma que se garanta um número mínimo de observações de velocidade pelo GPS nas proximidades da estaca que possibilite ajuste de uma regressão. A distribuição dos pontos ocorre de acordo com a frequência de leitura do dispositivo e da velocidade do veículo.

O cálculo do número de pontos de leitura GPS por segmento entre estacas pode ser feito através da expressão (adaptada de [Quiroga e Bullock, 1998]):

$$L = N \cdot \frac{u}{3,6} \cdot \Delta t \tag{3}$$

em que L é o comprimento do segmento, em metros; N é o número de pontos de GPS por segmento; u é a velocidade no segmento, em km/h; e Δt é o inverso da frequência de leitura do GPS, em segundos. Dessa forma, é possível adotar um comprimento de segmento (que equivale à distância entre estacas) com base na velocidade máxima esperada, na taxa de coleta do dispositivo e no número de pontos desejado para cada regressão.

A padronização da diretriz da rodovia permite elaborar perfis de velocidade de diversos veículos com base em um mesmo referencial. Uma maneira de se obter a diretriz é selecionando aleatoriamente um dos veículos da amostra. O conjunto de coordenadas UTM e de altitude desse veículo pode ser inserido no *software* AutoCAD Civil 3D como pontos de coordenadas (x, y, z). Por meio das ferramentas de criação de superfície e estaqueamento, pode-se gerar um conjunto de coordenadas referentes a estacas ordenadas e equidistantes, com distância maior ou igual à determinada na Equação 3.

4.4. Identificação do conjunto de observações para cada regressão

O conjunto de observações da velocidade para cada regressão é delimitado por uma distância máxima dos pontos de leitura do GPS em relação à estaca. A escolha da distância máxima depende do estaqueamento adotado e da distribuição de velocidades ao longo do trecho.

Para estaqueamentos iguais ou próximos ao menor comprimento de segmento necessário obtido na Equação 3, a distância máxima pode ser adotada como metade do estaqueamento. Segmentos muito longos, por outro lado, demandam análise específica do cenário estudado, com o objetivo de adotar uma distância máxima dentro da qual as fases de aceleração e desaceleração não se

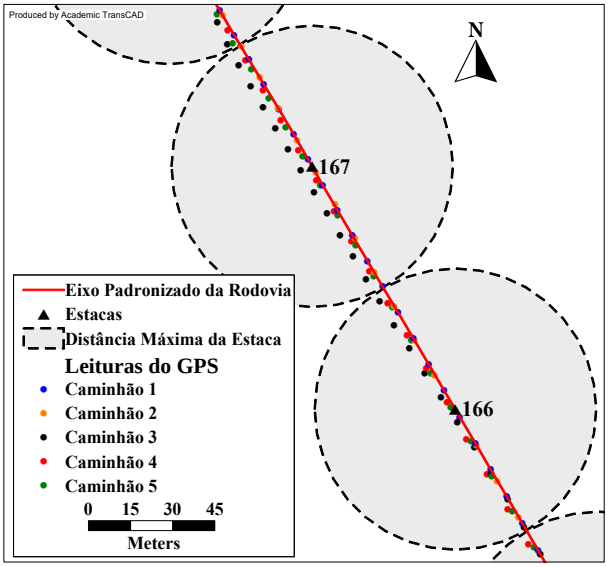


Figura 5: Pontos de observação do GPS sobre as regiões de distância máxima das estacas. Pontos que se encontram dentro de uma área circular recebem um identificador da estaca correspondente.

alternem em excesso.

Após adoção de uma distância máxima de cada estaca, o conjunto de observações para cada regressão pode ser determinado a partir de um SIG. Por meio do TransCAD, esse procedimento pode ser realizado a partir de dois arquivos geográficos de pontos: um contendo os pontos de coleta do GPS, e outro com as coordenadas de cada estaca. Devido ao formato de entrada de pontos no TransCAD (coordenadas geodésicas, em graus decimais), as coordenadas UTM das estacas devem ser exportadas e convertidas para o formato adequado. Áreas circulares ao redor de cada estaca com raio igual à distância máxima podem ser delimitadas conforme a Figura 5. É possível então utilizar a função *overlay* entre os círculos e pontos. Com isso, duas informações são adicionadas para cada ponto: se o ponto está dentro do raio de influência de alguma estaca; e qual é a estaca mais próxima.

4.5. Obtenção de velocidade por estaca

Após os pontos serem identificados com as estacas correspondentes, tais informações devem ser exportadas do SIG para uma planilha eletrônica, pela qual as regressões podem ser calculadas. Devido à necessidade de se estimar apenas o termo independente do polinômio, pode-se usar a ferramenta de projeção linear do Excel, que permite extrair todos os coeficiente de uma RLS com polinômio de grau n, selecionando-se um conjunto de pares de dados. A Figura 4 exemplifica os resultados desta etapa.

O perfil de velocidades pode então ser construído plotando-se os pares ordenados (estaca, velocidade na estaca). O estudo de caso mostrado a seguir ilustra o uso do método proposto.

5. ESTUDO DE CASO

A coleta foi realizada na rodovia Washington Luís, entre os quilômetros 209 e 230 no sentido Norte, nos dias 27 e 29 de setembro de 2016. Neste trecho, a velocidade máxima regulamentada é 110 km/h para veículos de passeio e 90 km/h para caminhões. Há um pedágio no quilômetro 216, no qual os veículos com *tag* reduzem a velocidade para passar pela cabine automática e os

veículos sem *tag* devem parar nas cabines manuais. A velocidade recomendada para passagem pelas cabines automáticas é 40 km/h.

Tabela 1: Pontos de GPS coletados e corrigidos por caminhão.

	Pontos do GPS		
Caminhão	Coletados	Corrigidos	Corrigidos (%)
1	1060	792	75
2	1036	149	14
3	1108	300	27
4	996	713	72
5	1064	283	27
Média	1053	447	43

Foram utilizados dois dispositivos *Global Navigation Satellite System* (GNSS) LEICA, modelo GX1230GG: um equipamento foi instalado como ponto de controle no início do trecho e outro foi embarcado nos caminhões. Ambos os dispositivos foram configurados, com frequência de 1 Hz, para coleta de dados geodésicos e de altitude — em relação ao referencial WGS84. Foram coletados dados para cinco caminhões, obtendo-se em média 1.053 observações por veículo.

Para processamento, foi utilizado o *software* comercial Leica Geo Office (LGO). Além dos dados coletados em campo, utilizou-se como referência a Estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da qual são fornecidos pontos medidos a cada 15 segundos. Assim, foi realizado ajuste de posição dos pontos coletados com o GPS embarcado. A Tabela 1 apresenta a quantia de pontos obtidos por caminhão, bem como a quantidade de pontos cuja ambiguidade do GPS o *software* LGO foi capaz de corrigir.

O trecho de rodovia escolhido apresenta limite de velocidade de 110 km/h. Adotou-se então um valor ligeiramente superior de 120 km/h (em função do valor máximo de velocidade observado na coleta) para cálculo do comprimento de segmento mínimo. Sabendo-se que a taxa de coleta do GPS é de 1 segundo e desejando-se ao menos $N = 3$ pontos para cada regressão, obteve-se através da Equação 3 um segmento $L = 100$ m, que foi o estaqueamento adotado.

O filtro gaussiano usado tinha uma amplitude total de 11 observações, 5 observações anteriores à observação sendo suavizada e 5 observações posteriores. O efeito da filtragem do ruído pode ser visto na Figura 6. A Figura 5 exemplifica o processo de escolha dos pontos para as regressões que interpolam a velocidade para cada estaca. A Figura 7 mostra os perfis de velocidade dos caminhões na amostra, elaborados com os dados brutos. A Figura 8 mostra os perfis de velocidade obtidos com o método proposto.

5.1. Avaliação dos resultados obtidos com o método proposto

Analisando a Tabela 1 e a Figura 6, verifica-se que os veículos com menor porcentagem de pontos com ambiguidade corrigida coincidem com os veículos que apresentaram os maiores ruídos nos valores de velocidade. Todavia, as observações para os caminhões 1 a 4 apresentaram-se adequadas, uma vez que os erros aleatórios de GPS puderam ser tratados através do filtro gaussiano. Entretanto, os dados coletados para o caminhão 5 apresentaram velocidades anômalas, localizadas no fim do trecho, como pode ser visto na Figura 7. Os valores obtidos (250 km/h

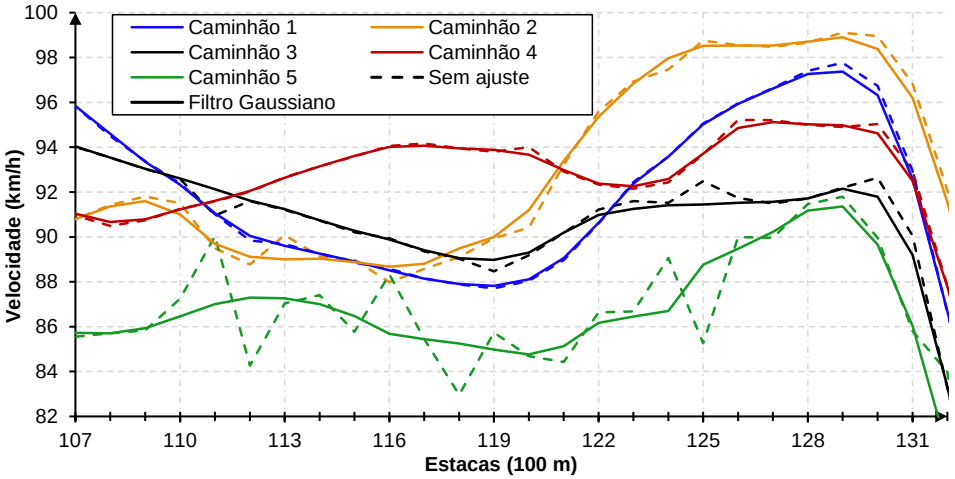


Figura 6: Velocidades estimadas nas estacas por meio de RLS, em que as linhas tracejadas foram obtidas com os dados brutos e as linhas contínuas com dados tratados com filtro gaussiano.

e 118 km/h, respectivamente) são improváveis para a geometria da via e discrepantes do observado para os demais caminhões. Ao verificar os pontos coletados para essas velocidades, foram identificados intervalos de 4 e 3 segundos, respectivamente, em que houve ausência de registro de observações pelo GPS. A causa provável do erro é a existência de viadutos nos dois trechos em questão, o que pode prejudicar a comunicação entre o equipamento e a constelação de satélites. Em virtude da duração excessiva do intervalo sem dados, nem o filtro gaussiano nem as RLS foram capazes de remover completamente o salto de velocidade nos locais.

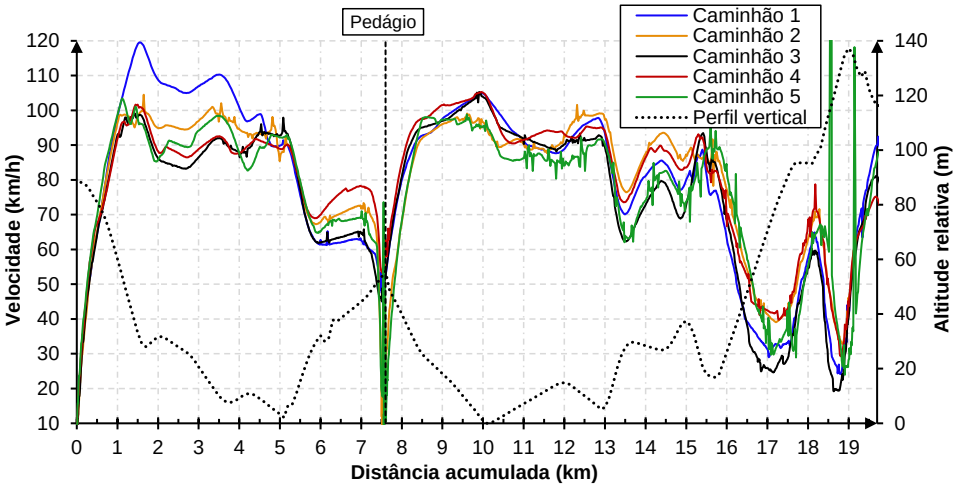


Figura 7: Perfis de velocidade com dados brutos do GPS (altitude relativa do perfil longitudinal).

Observando-se as Figuras 6, 7 e 8, pode-se verificar que a suavização por filtro gaussiano foi capaz de corrigir os trechos com ocorrência significativa de erros do GPS sem comprometer o traçado geral da velocidade. Além disso, no caso do caminhão 5, a suavização resultou num ajuste significativo dos trechos em que ocorreram oscilações constantes na velocidade, como pode ser visto na Figura 6. Tal comportamento é interessante, uma vez que as oscilações no trecho evidenciado foram causadas por perturbações no tráfego (registradas por um observador embarcado no veículo) e não por erro do GPS. Portanto, para esse caso, o filtro gaussiano reduziu consideravelmente as seguidas variações de velocidade, obtendo uma curva que diverge do observado em campo.

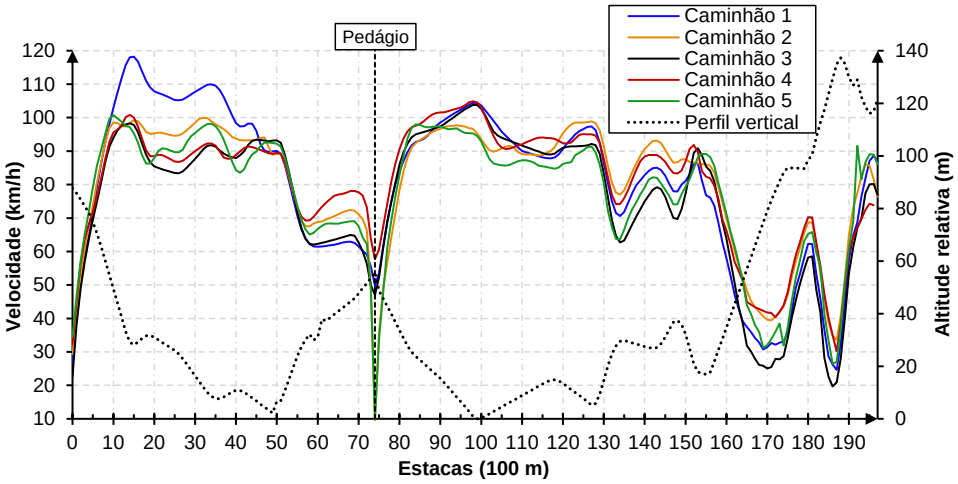


Figura 8: Perfis de velocidades com estaqueamento de 100 m, obtidos pelo método proposto (altitude relativa do perfil longitudinal).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das etapas propostas, foi possível estabelecer perfis de velocidade para o caso de estudo. O ajuste gaussiano foi capaz de suavizar grande parte dos erros aleatórios do GPS, ao passo que as regressões foram capazes de interpolar valores de velocidade aceitáveis. Todavia, os dados processados para o veículo que sofreu interações significativas com a corrente de tráfego tiveram qualidade inferior comparado aos demais. Portanto, recomenda-se o uso deste modelo apenas para estimar perfis de velocidade de veículos trafegando em correntes de tráfego de baixa intensidade.

Dentre os cinco caminhões amostrados, verificou-se que, para um dos veículos, apenas os saltos de velocidade que ocorreram próximos a viadutos não foram suficientemente atenuados através das técnicas utilizadas. Assim, pode-se considerar que o método pode ser empregado em rodovias de forma geral, contanto que se tome cuidado ao analisar trechos com obras de arte ou outros elementos que possam causar perda de sinal do GPS.

Agradecimentos

Os autores agradecem à concessionária Centrovias, operadora da Rodovia Washington Luís no trecho escolhido para este estudo, pelo suporte prestado durante a coleta de dados. Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES, sob a forma de uma bolsa de mestrado e de uma bolsa de produtividade em pesquisa (Proc. 308572/13-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (2001). *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. Washington, DC: American Association of Highway and Transportation Officials.

Andrade, G. R. e J. R. Setti (2010). Diretrizes para a implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista dupla. In *Anais do XXIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (Salvador, BA)*, Rio de Janeiro. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET.

Archilla, A. e A. De Cieza (1996). Truck performance on Argentinean highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1555*, 114–123.

Bester, C. (2000). Truck speed profiles. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1701*(14), 111–115.

Cunha, A. L., J. E. Bessa, e J. R. Setti (2009). Genetic algorithm for the calibration of vehicle performance models of microscopic traffic simulators. In L. S. Lopes, N. Lau, P. Mariano, e L. M. Rocha (Eds.), *Progress in Artificial Intelligence – EPIA 2009*, Volume 5816 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 3–14. Berlin, Heidelberg: Springer.

Demarchi, S. H., R. A. Melo, e J. R. Setti (2001). Validação de um modelo de desempenho de caminhões em rampas ascendentes. *Transportes 9*(1), 53–58.

Donnell, E., Y. Ni, M. Adolini, e L. Elefteriadou (2001). Speed prediction models for trucks on two-lane rural highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1751*(01-2647), 44–55.

Huber, M. F. e U. D. Hanebeck (2008). Gaussian filter based on deterministic sampling for high quality nonlinear estimation. In *Proc. of the 17th World Congress of the International Federation of Automatic Control*, Volume 41, pp. 13527–13532. Elsevier.

Jun, J., R. Guensler, e J. Ogle (2006). Smoothing methods to minimize impact of global positioning system random error on travel distance, speed, and acceleration profile estimates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1972*, 141–150.

Leick, A. (2004). *GPS satellite surveying* (3 ed.). John Wiley & Sons.

Li, Y. e M. McDonald (2002). Link travel time estimation using single GPS equipped probe vehicle. In *The IEEE 5th Intl. Conf. on Intelligent Transportation Systems – Proceedings*, pp. 932–937. IEEE.

Lin, H., L. Wang, e S. Yang (1996). Automatic determination of the spread parameter in Gaussian smoothing. *Pattern Recognition Letters 17*(12), 1247–1252.

Melo, R. A. e J. R. Setti (2003). Faixas adicionais para aclives de rodovias de pistas simples brasileiras: uma adaptação dos critérios da AASHTO. *Transportes 11*(2), 41–48.

Monico, J. F. G. (2007). *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações* (2 ed.). Editora UNESP.

Quiroga, C. A. e D. Bullock (1998). Travel time studies with global positioning and geographic information systems: an integrated methodology. *Transportation Research Part C 6*(1–2), 101–127.

Rakha, H., I. Lucic, S. H. Demarchi, J. R. Setti, e M. Van Aerde (2001). Vehicle dynamics model for predicting maximum truck acceleration levels. *Journal of Transportation Engineering 127*(5), 418–425.

Taubin, G. (1995). Curve and surface smoothing without shrinkage. In *Fifth International Conference on Computer Vision – Proceedings*, pp. 852–857. IEEE.

Walck, C. (2007). *Hand-book on STATISTICAL DISTRIBUTIONS for experimentalists*. University of Stockholm Internal Report SUF-PFY/96-01.

Yang, G., H. Xu, Z. Wang, e Z. Tian (2016). Truck acceleration behavior study and acceleration lane length recommendations for metered on-ramps. *International Journal of Transportation Science and Technology 5*(2), 93–102.

Luan Guilherme S. Carvalho (lgscarvalho@usp.br)
José Reynaldo Setti (jrasetti@usp.br)
Dep. de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense 400, 13566-590 – São Carlos, SP, Brasil

QUALIDADE DE ESTRATÉGIAS DE VISÃO COMPUTACIONAL NA CONFECÇÃO DE DIAGRAMAS ESPAÇO-TEMPO EM ÁREAS URBANAS

Johny Alves Lira
Matheus Gomes de Lima
José Lucas Mesquita Frota
Flávio José Craveiro Cunto
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Devido à recente necessidade de melhores mecanismos de gerenciamento de tráfego, a fabricação de diagramas espaço-tempo em larga escala com maior autonomia e qualidade torna-se útil. Este trabalho objetiva avaliar a qualidade de estratégias de visão computacional na confecção de diagramas espaço-tempo em áreas urbanas. Para isso, um algoritmo de rastreamento veicular foi calibrado com base em filmagens do microssimulador VISSIM de modo a avaliar a qualidade do rastreamento através de indicadores de erros. Foram gerados nove cenários para diferentes alturas da câmera, regime de operação de tráfego e fluxo veicular. Os diagramas espaço-tempo gerados pelo algoritmo e pelo VISSIM apresentaram boa sobreposição. Os resultados apresentaram médias das diferenças entre -0,64m e 0,89m para as estimativas de coordenada, entre -0,52m e 0,11m para o comprimento veicular, abaixo de 3,4% para as de contagem veiculares e de 0,95km/h e 1,10km/h e velocidades média e instantânea, respectivamente.

ABSTRACT
Due to the recent need for better traffic management techniques, the production of large-scale space-time diagrams with greater autonomy and quality becomes useful. This work aims to evaluate the quality of computer vision strategies in the production of time-space diagrams in urban areas. For this, a vehicle tracking algorithm was calibrated based on VISSIM micro-simulator films in order to evaluate the quality of the tracing through error indicators. Nine scenarios were generated considering different camera heights, traffic operation regime and the traffic flow. The time-space diagrams generated by the algorithm overlap well with those of VISSIM. The results show averages of the differences between -0.64m and 0.89m for the coordinate estimates, between -0.52m and 0.11m for the vehicular length, below 3.4% for vehicle counts and 0.95km/h and 1.10km/h and average and instantaneous speeds, respectively.

1. INTRODUÇÃO

A crescente saturação das redes de tráfego urbano tem fomentado esforços com foco em alternativas mais avançadas para a gestão do tráfego urbano. Dentre as principais estratégias de gestão empregadas merece destaque a otimização de corredores de tráfego urbano em tempo real, detecção automática de incidentes e gestão da velocidade através de limites de velocidade variáveis, fiscalização eletrônica, dentre outros (Zhao *et al.*, 2012; Abdel-Aty *et al.*, 2008; Oskarbski, 2016). Tais estratégias de gestão do tráfego, apesar de promissoras, carecem de informações detalhadas a respeito dos atributos operacionais dos veículos em tempo real (Coifman *et al*., 1998; Cunha, 2013).

Dentre as principais ferramentas para a representação do fluxo veicular microscópico estão os diagramas espaço-tempo. Estes diagramas, normalmente em 2D, correspondem à representação do espaço percorrido pelos veículos ao longo de um intervalo de tempo. Suas aplicações em transportes incluem, dentre outras, a estimação do espaçamento e *headways* veiculares, análise de ondas de choque, estimação de velocidades instantâneas e médias, fluxo de saturação, acelerações e conflitos veiculares (Roess, 2011; Kim *et al.*, 2015; Anwar *et al.*, 2014). Apesar de sua utilidade, a estimação de diagramas espaço-tempo para o fluxo veicular em ambiente urbano não é uma tarefa trivial em função do nível de detalhamento necessário para sua confecção e do comportamento potencialmente instável do regime de fluxo.

Os avanços recentes observados na aplicação de estratégias de visão computacional baseada em características (*feature based*) na detecção e rastreamento veicular indicam seu potencial na confecção de diagramas espaço-tempo em áreas urbanas (Coiffman *et al.*, 1998; Saunier e Sayed, 2006; Hsieh *et al.*, 2006). Dentre as vantagens da estratégia de visão computacional baseada em características ressalta-se sua robustez para lidar com condições de fluxo veicular com paradas, diferentes condições de luminosidade, diferentes configurações de vídeo e situações de oclusão. (Hartamnn *et al.*, 1996; Coiffman *et al.*, 1998; Saunier e Sayed, 2006).

Umas das preocupações é a qualidade da detecção e rastreamento para a confecção dos diagramas espaço-tempo e consequentemente a estimação dos indicadores microscópicos de fluxo derivados dessa ferramenta. Para a estimação de conflitos veiculares a partir de diagramas espaço-tempo, não somente a detecção correta do veículo mas também a precisão de sua coordenada e comprimento, são cruciais para a determinação de indicadores de conflitos veiculares como o tempo para colisão (TTC) ou desaceleração para evitar a colisão (DRAC). Este trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade do rastreamento veicular para a confecção de diagramas espaço-tempo em áreas urbanas a partir de estratégias de visão computacional baseada em características.

2. ESTRATÉGIAS DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA O RASTREAMENTO VEICULAR

Dentre as principais estratégias de rastreamento veicular a partir da visão computacional destacam-se: 1) rastreamento baseado em modelos (*model based*), 2) rastreamento baseado em contornos, 3) rastreamento baseado em regiões (*region based*) e 4) rastreamento baseado em características (*feature based*) (Beymer *et al.*, 1997; Coiffman *et al.*, 1998). A diferença básica entre as estratégias está no método utilizado para identificar as partes veiculares ao longo da sequência de quadros (*frames*).

Na estratégia baseada em modelos os veículos são identificados através de blocos pré-definidos em 2D ou 3D. O rastreamento baseado em contornos toma o contorno do veículo como referência para os instantes seguintes. No rastreamento baseado em regiões, os veículos são tratados como áreas em movimento (*blobs*) em função da diferença na tonalidade dos *pixels* em cada quadro. Para o rastreamento baseado em características, os algoritmos detectam atributos veiculares (pontos, cantos e linhas) em movimento a partir da diferença de intensidade entre cada pixel e sua vizinhança.

Quanto à aplicação em ambiente urbano, onde os automóveis podem se situar próximos uns dos outros, as estratégias baseadas em modelos, região e em contorno podem agrupar os veículos, visto que os critérios de agrupamento não consideram a diferença de velocidade entre as regiões ou entre os contornos mas apenas o formato do objeto (Beymer *et al.*, 1997; Saunier e Sayed, 2006). A estratégia de rastreamento baseada em características parece ter vantagens em relação aos problemas convencionais de agrupamento além de ser mais adequada para situações onde há variação da iluminação, presença de oclusões e fluxo descontínuo (Coiffman *et al.*, 1998; Saunier e Sayed, 2006)

A consolidação da visão computacional aplicada à análise operacional do tráfego depende sobremaneira de sua capacidade de produzir (de preferência em tempo real) indicadores de tráfego confiáveis em diversas condições operacionais e atributos de aquisição de vídeo. Coifman *et al.* (1998) avaliaram o desempenho de uma estratégia baseada em características

aplicada em um trecho de rodovia de pista dupla *(Highway)* na Califórnia. Para avaliação do desempenho foram utilizados indicadores macroscópicos de fluxo (velocidade, densidade e fluxo). Os valores considerados como referência (*ground truth*) foram obtidos a partir de laços indutivos e a área de rastreamento utilizada foi de aproximadamente 100m. Além dos indicadores acima, diagramas espaço-tempo foram estimados. Os resultados encontrados para 48 intervalos de observação de 15 minutos e indicaram erros menores que 5% para 95% das observações de velocidade, 31% das observações de fluxo e 33% das observações de densidade.

Cunha (2013) desenvolveu um algoritmo para estimar atributos de fluxo veicular para fluxo ininterrupto a partir da biblioteca de visão computacional denominada *OpenCV*. O algoritmo foi avaliado em um estudo de caso desenvolvido para a Rodovia SP-310 em São Carlos, São Paulo. Foram feitas comparações entre as velocidades instantâneas, fluxo e comprimento veicular. Os valores de referência para as respectivas variáveis foram estimados a partir de radares manuais (*speed gun*), contagem manual do vídeo e medições manuais de pixels no vídeo produzido. Os resultados indicaram erros abaixo de 6% em 60% das observações para a velocidade. Com relação ao fluxo veicular, os resultados apresentados pela detecção automática subestimaram a contagem real.

A qualidade do rastreamento varia em função de atributos como: altura e ângulo de câmera, velocidade e tipo dos veículos, regiões de aceleração e desaceleração, fluxo veicular, luminosidade, distribuição de cores dos veículos, comprimento e largura de veículos, faixas, dentre outros. Por conta das inúmeras combinações de características, nem sempre é possível o desenho de um experimento que as contemple de forma satisfatória.

A maioria dos pacotes computacionais de simulação microscópica como VISSIM, PARAMICS, AIMSUN, permite a representação da movimentação veicular em 2D e 3D através de filmagens em um ambiente consideravelmente controlado. Com o uso de filmagens de um microssimulador de tráfego é possível classificar melhor os diversos tipos de erros e avaliar melhor a calibração do sistema de rastreamento.

3. MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO RASTREAMENTO

As etapas para a avaliação da qualidade de estratégias de visão computacional na construção de diagramas espaço-tempo com a utilização da microssimulação seguiram as seguintes etapas (Figura 1): 1) Definição e construção dos cenários de filmagem; 2) Execução do plano de simulação com a geração das filmagens e exportação dos indicadores veiculares microscópicos; 3) Consolidação do algoritmo de visão computacional baseado em características; 4) Calibração e aplicação do algoritmo e 5) Análise comparativa dos indicadores de rastreamento.

3.1 Definição e Construção dos Cenários no Microssimulador

O processo de análise teve início com a definição dos cenários que seriam utilizados. Essa escolha teve como base os indicadores que seriam observados, considerando-se também a necessidade da existência de um ambiente controlado, sujeito à menor interferência externa possível, diferentemente do que ocorre em câmeras reais de fiscalização. Desse modo, controlados os fatores externos, é razoável partir da hipótese inicial de que a grande maioria das diferenças nos cálculos dos indicadores resultam da própria ferramenta utilizada.

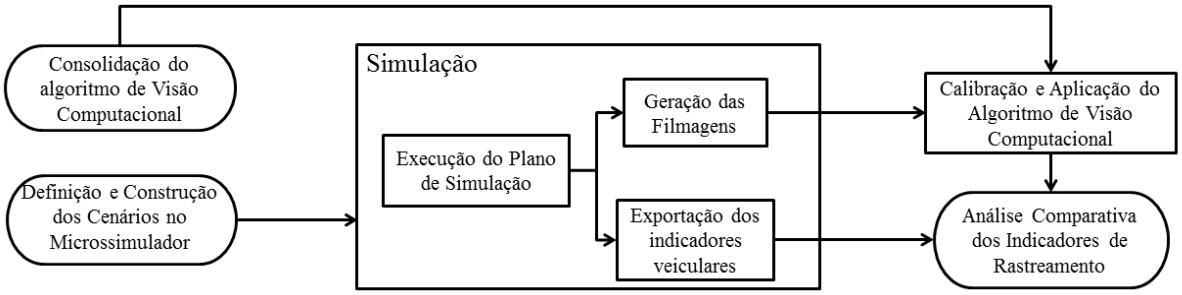


Figura 1 – Fluxograma do método utilizado para análise da qualidade de estratégias de Visão Computacional.

Como o objeto de estudo são os diagramas espaço-tempo, os principais indicadores a serem utilizados na análise comparativa são as coordenadas de um ponto do automóvel, no caso o ponto médio do para-choque dianteiro e a velocidade medidos a cada instante de tempo. Além do mais, seria interessante a observação da influência de fatores como a altura da câmera na filmagem e o *headway* entre os veículos.

Foram então, construídos nove cenários, em função do fluxo veicular, altura de filmagem e comportamento do fluxo. Em relação ao fluxo veicular foram utilizados os fluxos veiculares de 500 veículos por hora por faixa (vphpf) e 1000vphpf. Foram avaliadas três alturas de filmagem selecionadas para permitir uma amplitude de filmagem (extensão de via) de 50m, 100m e 200m. Desta forma as alturas de câmera foram de 21m, 38m e 68m respectivamente.

Com o intuito de observar a qualidade do algoritmo quanto a variações bruscas de velocidade, provocando maiores distorções no diagrama espaço-tempo dos veículos, foram simulados e filmados cenários variando o tipo de regime de fluxo com a introdução de zonas de redução de velocidade do microssimulador. A Tabela 1 apresenta os requisitos de cada cenário proposto.

Tabela 1: Atributos de filmagem e de operação de tráfego de cada cenário simulado.

Cenário	Fluxo Veicular (vphpf)	Altura de Câmera (m)/amplitude de filmagem (m)	Redução de Velocidade
1	500	21/50	Não
2	500	38/100	Não
3	500	68/200	Não
4	1000	21/50	Não
5	1000	38/100	Não
6	1000	68/200	Não
7	500	21/50	Sim
8	500	38/100	Sim
9	500	68/200	Sim

Definidos os cenários de análise, os mesmos foram criados no software *PTV Vissim v. 9.0©*. Foram construídos três *links*, com tamanhos de 50, 100 e 200 metros, todos com três faixas e completamente na horizontal. As alturas de câmera corresponde aos trechos foram obtidas a partir do modo de simulação 3D do microssimulador.

As zonas de redução de velocidade foram construídas em todas as três faixas de cada trecho, localizadas próximas ao meio do *link*, com comprimentos variando de acordo com a extensão

do trecho. Para uma abrangência de 50, 100 e 200 metros, os comprimentos da zona de redução foram de, respectivamente, 5, 15 e 20 metros. Os veículos, ao se aproximarem dessas regiões, deveriam desacelerar de tal modo que sua velocidade estivesse menor ou igual a 15 quilômetros por hora, com uma desaceleração máxima de 2 m/s² e, ao sair dessas zonas, voltavam a acelerar até a faixa de velocidade definida nos critérios padrões do microssimulador.

3.2 Execução do plano de simulação, geração de filmagens e exportação de indicadores veiculares

As simulações foram executadas com duração de 900 segundos para todos os cenários com o fator de lapso de tempo no VISSIM© igual a 1, significando que a simulação seguia em velocidade real. As faixas padrões de velocidade do software foram obedecidas e a composição do fluxo veicular utilizada foi a *default* do próprio software de simulação, onde os carros de passeio correspondem a 98% do fluxo e os veículos pesados a 2%.

Os vídeos foram gerados a partir da função *screen record* do aplicativo gratuito *Atube Catcher v.3.8.8007*, com taxa de amostragem de 29,97003fps. A resolução dos vídeos foi de 1624 x 336 pixels para as filmagens de altura 21m, de 2064 x 216 pixels e 2064 x 104 pixels para as alturas de 38 e 68 metros respectivamente. Foram definidas janelas de captura a partir da imagem de projeção do monitor para garantir que a pista abrangeria toda a janela de reprodução do vídeo, evitando assim uma possível etapa de edição do mesmo.

Como resultado da simulação, além das filmagens, foram gerados arquivos correspondentes aos dados brutos de registro de veículos agregados a cada 0,1 segundos contendo atributos sobre número do veículo, número da faixa, coordenada da dianteira, comprimento veicular e velocidade.

3.3 Calibração e aplicação do algoritmo de visão computacional

Antes da aplicação do algoritmo de rastreamento nos cenários propostos foi necessário um processo de calibração dos parâmetros do mesmo visando: 1) minimizar as diferenças na contagem veicular; 2) garantir que os veículos são rastreados durante toda a região de interesse; 3) maximizar a qualidade do agrupamento das características as quais definem as dimensões do veículo e 4) reduzir o tempo de processamento.

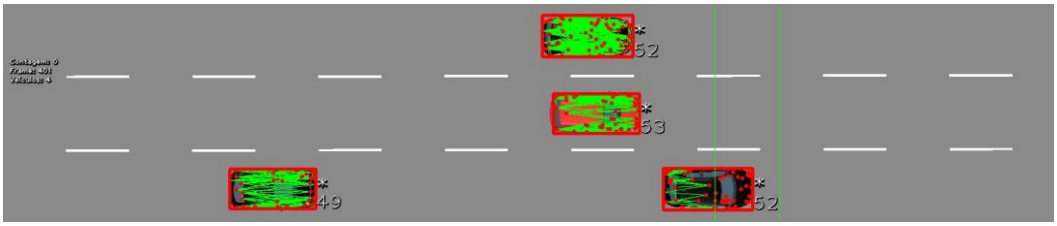
O algoritmo de rastreamento em sua forma atual conta com 30 parâmetros, distribuídos nas sub-etapas de subtração de fundo (*cv2.createBackgroundSubtractorMOG2)*, detecção de características (*cv2.goodFeaturesToTrack*), rastreamento de características (*cv2.calcOpticalFlowPyrLK*) e agrupamento dos veículos. Analisando a definição conceitual dos parâmetros e em função da qualidade dos vídeos gerados, i.e., estabilidades da câmera, ângulo de filmagem e ausência de sombras, foram selecionados 16 parâmetros para o processo de calibração (Quadro 1).

Os parâmetros foram calibrados por tentativa e erro variando individualmente a partir de seus valores extremos e sua definição, sendo observados os aspectos descritos anteriormente. A heurística de calibração foi limitada em função do tempo de processamento dos vídeos que foi em torno de 1 hora para 15 minutos de vídeo e dos objetivos do trabalho. Acredita-se que a otimização do processo de calibração, poderá gerar estimativas ainda melhores.

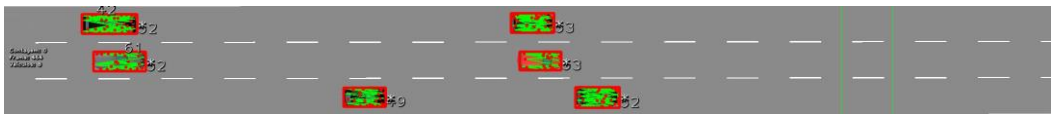
Quadro 1: Parâmetros de calibração da detecção e rastreamento de pontos.

Sub-etapa	Parâmetro	Definição
Subtração de Fundo	*InfluencialFrames*	Comprimento do histórico de quadros analisados
	GaussN	Número de misturas gaussianas.
	ShadowDetect	Variável booleana de detecção de sombras: 0 - desativa; 1 - ativa
Identificação de características	*maxCorners*	Número máximo de *features* geradas por frame
	qualityLevel	Porcentagem das primeiras *features* rejeitadas em ordem crescente de qualidade em um dado quadro
	minDistance	Distância euclidiana mínima na geração destes em um dado frame
	blockSize	Tamanho de um bloco médio para calcular uma matriz de covariação derivada em cada vizinhança de cada pixel
	useHarrisDetector	Variável booleana de detecção de cantos de Harris: 0 - desativa; 1 - ativa
	k	Parâmetro "livre" do *Harris Detector*
	detect_interval	Intervalo de frames para captura de novas *features*
	NMaxFeaturesAtScreen	Número máximo de *features* acumuladas na tela
	maskball	Raio da região circular de proibição da geração de *features* próximas umas das outras
Rastreamento de características	*winSize*	Tamanho da janela de pesquisa em cada nível de pirâmide
	maxLevel	Se o número de nível de pirâmide máximo baseado em 0; Se definido como 0, as pirâmides não são usadas (nível único), se definido como 1, são utilizados dois níveis, e assim por diante
	criteria	Parâmetros de ajuste das iterações de pesquisa em cada pixel.
	GoodFeaturesLimit	Critério para confirmar se uma *feature* é boa para ser rastreada através de verificações de qualidade dos quadros atual e anterior

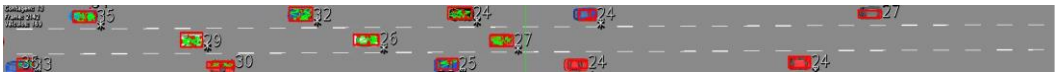
Após a calibração realizada para cada cenário, o algoritmo foi executado e os resultados de saída (arquivo do tipo *.csv*) foram exportados para uma planilha do Excel juntamente ao arquivo de saída do VISSIM (*.fzp*). No Excel foi possível combinar os dados de veículos do VISSIM com os seus respectivos pares no algoritmo. A Figura 2 ilustra a tela de processamento do algoritmo calibrado com destaque para as características (pequenos círculos vermelhos), ligação das *features* (segmentos em verde) e os agrupamentos (retângulos vermelhos).



(a) - Altura de filmagem = 21m.



(b) - Altura de filmagem = 38m.



(c) - Altura de filmagem = 68m.

Figura 2 – Imagens representativas dos cenários geradas no VISSIM.

Como a agregação temporal dos dados do VISSIM é feita em intervalos de 0,1s e a filmagem ocorreu a uma taxa de aproximadamente 0,0334s (1/29.97003 *frames*), o algoritmo de rastreamento foi ajustado para analisar somente um a cada três *frames* da filmagem. Esse ajuste ainda não garantiu um mapeamento perfeito entre o arquivo de saída do VISSIM e o arquivo de saída do algoritmo uma vez que a taxa de amostragem precisa ficou de 0,1001s. Para ajustar essa diferença foi realizada um ajuste temporal no arquivo de saída do algoritmo.

Os dados foram então ordenados por faixa e depois por ID do veículo, de modo que cada linha de dados provenientes do *.fzp* (VISSIM) se relacionasse com a respectiva linha de dados vindos do *.csv* (Algoritmo em Python). Após essa correspondência, foram utilizados fatores de ajuste do sistema de coordenadas dos dois arquivos e então, foram selecionados aleatoriamente 10 veículos de cada uma das três faixas, totalizando 30 veículos por cenário.

3.4 Análise Comparativa

Para a comparação dos resultados dos cenários foi realizada inicialmente uma análise agregada compreendendo uma validação visual dos diagramas espaço-tempo sobrepostos. Nesta validação foi possível observar "defasagens" entre as trajetórias, veículos que não foram rastreados até o final do trecho e veículos que foram segmentados. Em seguida foram comparados os valores de contagem volumétrica de veículos comparando-os com os obtidos no arquivo *.fzp* do VISSIM.

Logo depois foi realizada uma análise desagregada para a qualidade do rastreamento da posição dos veículos. Foram estimadas as diferenças das coordenadas do VISSIM e as rastreadas (Δ_{xyvt}) de cada veículo a cada intervalo de 0,1s. Ao final de cada passagem foi obtida a diferença média da posição de cada veículo.

Em relação à precisão da velocidade foram utilizadas duas métricas. A primeira foi a diferença entre a velocidade média no espaço (Δ_{usv}) de cada veículo no VISSIM (referência) e no algoritmo e a segunda foi a média das diferenças entre as velocidades instantâneas (Δ_{uvt}), i.e., a cada 0,1s. Finalmente foi ainda verificada a diferença entre o comprimento dos veículos do VISSIM e os obtidos com a ferramenta de visão computacional (Δ_{lv}).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma análise inicial das trajetórias foi realizada a partir dos diagramas espaço-tempo, obtidos pelo algoritmo de rastreamento e do arquivo de saída de dados do VISSIM (Figura 3). Como o diagrama espaço-tempo foi gerado a partir de uma faixa de tráfego, observa-se em alguns momentos o "surgimento" e "desaparecimento" de veículos (curvas de cor preta) em virtude de mudança de faixas observadas na corrente veicular.

Observa-se no gráfico que apesar de todos os veículos não serem rastreados até o fim do trecho de 200 metros, os diagramas espaço-tempo estão bem sobrepostos. A perda do rastreamento pode ter ocorrido por conta da falta de uma melhor calibração. É importante ressaltar que a qualidade da calibração é proporcional ao tempo de execução da mesma e ao tempo de processamento. Apesar das perdas, o balanceamento entre qualidade de rastreamento e tempo de calibração e execução do processamento foi considerado adequado para os objetivos deste trabalho. Também é possível observar que mesmo em meio a um trecho de desaceleração seguido por um de aceleração, a sobreposição dos diagramas espaço-tempo não se alterou.

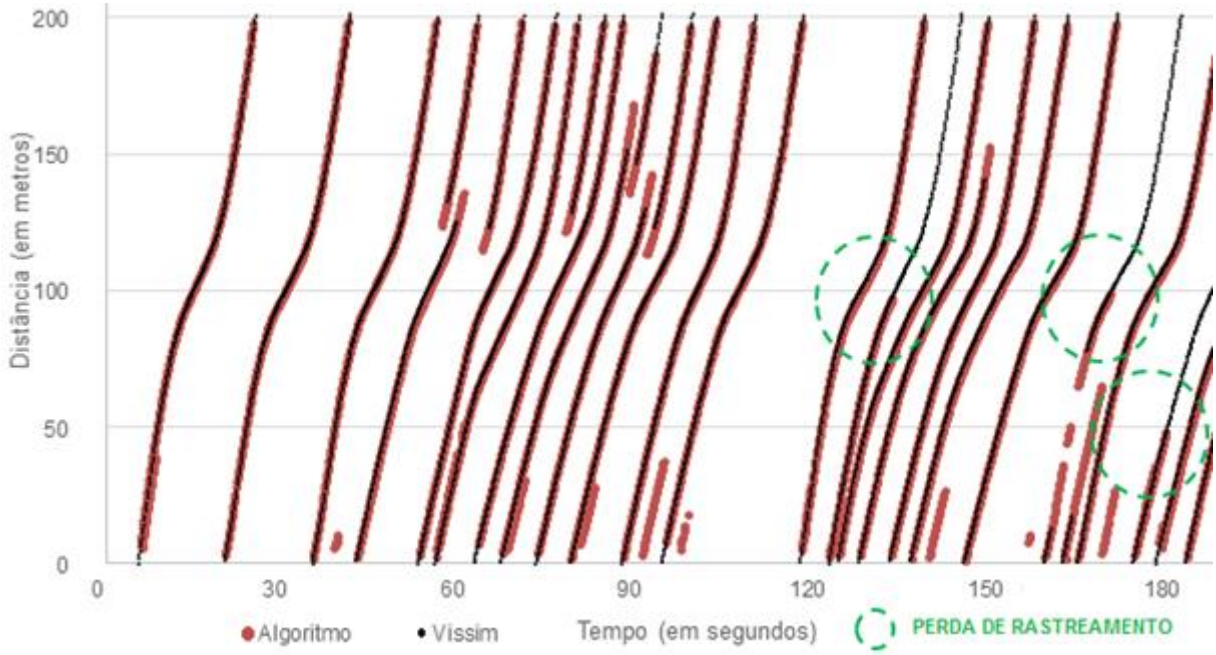


Figura 3 – Exemplo de diagrama espaço-tempo para uma faixa da via.

A seguir na Figura 4, são apresentadas as distribuições de Δ_{xyvt}. Cada *boxplot* expõe os resultados da amostra de 30 veículos. Observa-se que a diferença média das estimativas de coordenada ficaram entre -0,64m e 0,89m. Em relação à dispersão, os cenários 4, 5 e 6 (alto fluxo) apresentaram comportamento mais homogêneo quando comparados aos outros cenários.

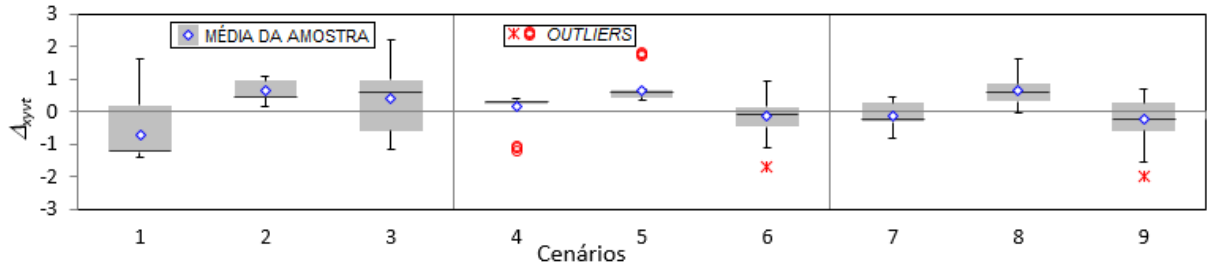


Figura 4 – Valores médios das diferenças das coordenadas do VISSIM e rastreadas (Δ_{xyvt}).

A Figura 5 apresenta as diferenças de comprimento veicular para cada cenário (Δ_{lv}). Quanto à estimativa de comprimento veicular os valores médios obtidos situam entre -0,52m a 0,11m.

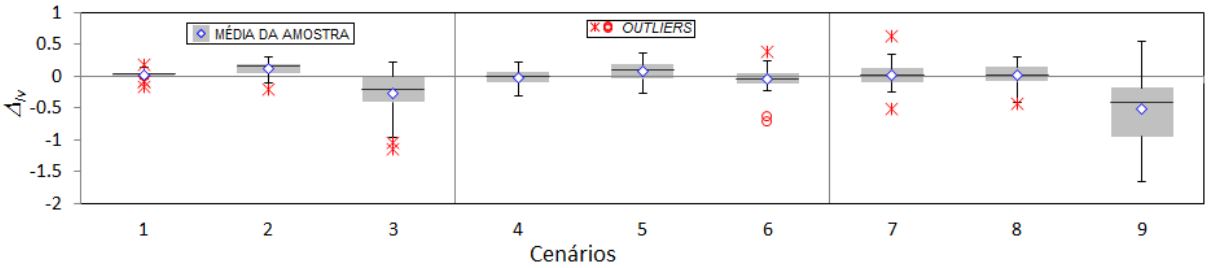


Figura 5 – Diferenças de comprimento veicular para cada cenário (Δ_{lv})

Acredita-se que um dos principais motivos que justifica as diferenças encontradas na coordenada e no comprimento veicular possa estar em possíveis distorções na representação da imagem 3D dos veículos gerada pelo VISSIM ao longo do percurso. Na Figura 6 são expostas imagens de um mesmo veículo em locais diferentes do trecho. Como se observa, a imagem dos veículos muda conforme sua localização do segmento de via. Os limites do retângulo vermelho desenhado pelo algoritmo ilustram a região identificada como um veículo.



Figura 6 – Imagens da entrada e saída de um dado veículo no *link*.

A Tabela 2 e as Figuras 7 e 8 mostram os resultados de contagem e de velocidade média no espaço e as diferenças médias nas duas métricas de velocidade respectivamente.

Tabela 2: Resultados obtidos para contagens e velocidades.

Cenário	Contagem			u_s (km/h)	
	VISSIM	Algoritmo	E(%)	VISSIM	Algoritmo
1	372	368	-1,08%	51,2 (0,5)	52,1 (0,8)
2	370	364	-1,62%	51,8 (0,4)	52,5 (0,4)
3	369	362	-1,90%	51,9 (0,7)	52,2 (0,7)
4	746	732	-1,87%	50,7 (1,0)	51,6 (1,0)
5	741	717	-3,24%	50,4 (2,8)	51,0 (2,8)
6	741	716	-3,37%	49,5 (9,1)	50,1 (9,3)
7	372	368	-1,08%	23,9 (2,1)	24,3 (2,3)
8	367	360	-1,91%	22,6 (3,7)	23,3 (3,7)
9	366	359	-1,91%	29.5 (9,5)	29,6 (9,8)

Nota: ( ) desvio-padrão

Os veículos gerados durante a microssimulação foram subestimados pelo algoritmo de rastreamento em todos os cenários. As diferenças variam entre -1,08% e -3,37%, aumentando de forma diretamente proporcional à altura da câmera e não variando significativamente com a mudança no regime de operação ou no fluxo veicular. Há veículos que não foram rastreados até o final do trecho, e por isso não foram contabilizados. Estes casos podem estar relacionados a falhas nas etapas de detecção, rastreamento e/ou agrupamento.

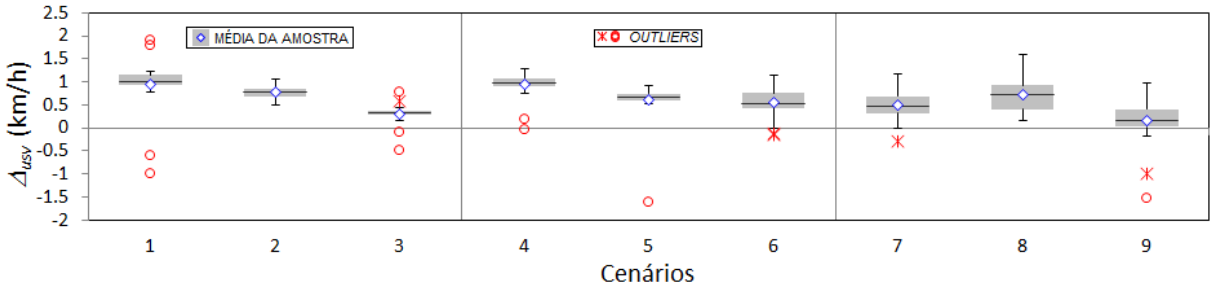


Figura 7 – Diferença entre a velocidade média no espaço (Δ_{usv}).

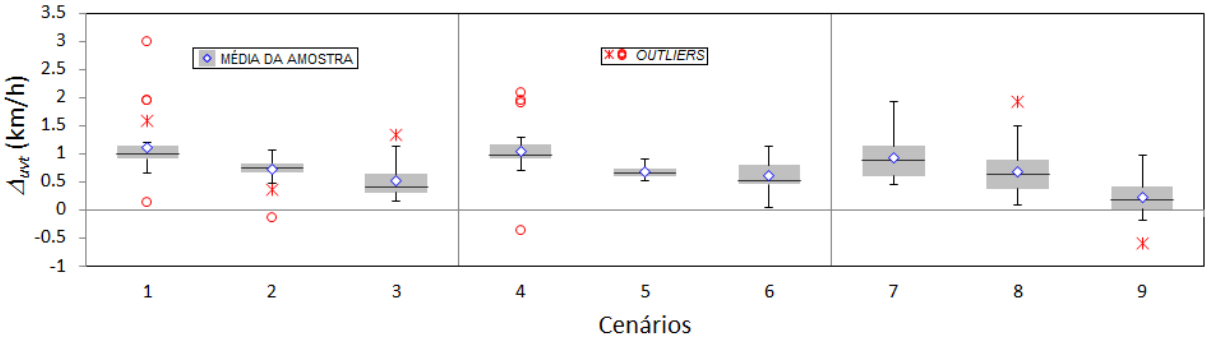


Figura 8 – Valores médios das diferenças entre as velocidades instantâneas (Δ_{uvt}).

Em relação às diferenças de velocidade (Tabela 2 e as Figuras 7 e 8) é possível afirmar que as médias de u_s obtidas pelo algoritmo de rastreamento (Python) estiveram sempre acima das médias fornecidas pelo VISSIM independente dos cenários, entre 0,17 e 0,95 km/h. Vale ressaltar, entretanto, que em algumas observações u_s foi subestimada pelo algoritmo (Figura 7). Em se avaliando cenários de mesmo fluxo, existe uma tendência de redução de Δ_{usv} significativa ($\alpha = 0,05$) com o aumento da altura de filmagem.

No que diz respeito às velocidades instantâneas, as médias de Δ_{uvt} (Figura 8) se situam entre 0,22 e 1,10km/h. É possível observar que os resultados oriundos das velocidades média e instantânea não apresentam grande alteração em função do fluxo, entretanto, os cenários com maior variação de velocidade (cenários 7, 8, e 9) apresentaram distribuição mais larga nos valores de Δ_{uvt}, podendo ser devido à maior variação das acelerações dos veículos ao longo do percurso.

É importante notar que embora a estimativa de velocidade dependa da estimativa de posição, as diferenças em suas estimativas podem ser independentes visto que em dois quadros consecutivos as diferenças entre as coordenadas podem ser iguais e então a velocidade é estimada corretamente.

Quanto à variação da altura da câmera, o padrão das diferenças médias observadas pode ser atribuído ao tamanho do deslocamento em pixels de quadro a quadro, o qual diminui com o aumento da altura da câmera, ou seja, se para uma dada velocidade instantânea, um veículo se move por poucos pixels, pode ser que a probabilidade das diferenças na estimativa seja menor, tendo "menos chances" de errar e isso melhora quanto mais alta for a câmera. É importante salientar que, embora o algoritmo tenha como base os pixels para o estabelecimento das coordenadas, estas são exportadas com valores que variam dentro dos reais. Embora o fluxo não interfira tanto nas estimativas de velocidade, é possível perceber que o tempo de processamento aumenta quando este também aumenta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de diagramas espaço-tempo com maior precisão e em tempo real permitem o desenvolvimento de técnicas mais avançadas de gestão do tráfego, a calibração de modelos de microssimulação de tráfego e a avaliação de conflitos veiculares. Este trabalho apresentou uma avaliação da qualidade do rastreamento veicular baseado em características considerando diferentes níveis de demanda veicular e alturas de filmagem.

O método proposto se baseou em filmagens realizadas em um ambiente de simulação

microscópica (VISSIM) o qual permitiu informações precisas a respeito do ambiente de circulação. Utilizando as informações de saída do VISSIM (*ground truth*), foram avaliadas as diferenças entre o diagrama espaço-tempo, coordenadas e fluxo veiculares, velocidade média no espaço, velocidades instantâneas e comprimento dos veículos em diferentes cenários.

As diferenças obtidas na estimação da coordenada dos veículos se situam entre -0,64m e 0,89m com diferenças nas estimativas de comprimento veicular entre -0,52m a 0,11m. Em relação à contagem volumétrica o algoritmo de rastreamento subestimou a quantidade de veículos gerada pelo microssimulador em todos os cenários. As diferenças de contagem ficaram entre -1,08% a -3,37%. As causas em tais diferenças podem estar relacionadas a possíveis distorções na representação da imagem 3D ao longo do percurso e/ou a falhas nas etapas de detecção, rastreamento e/ou agrupamento das características rastreadas (*features*).

Em relação às diferenças entre as velocidades médias no espaço, os resultados indicam valores entre 0,17 e 0,95 km/h, tendo o algoritmo de rastreamento superestimado levemente esse indicador ficando, entretanto, consideravelmente abaixo dos valores encontrados na literatura. Vale ressaltar, entretanto, que em algumas observações u_s foi subestimada pelo algoritmo existe uma tendência de redução dessa diferença para altura de filmagens maiores.

As diferenças dos erros médios relacionados à velocidade instantânea ficaram entre 0,22 e 1,10km/h, na mesma tendência de leve superestimação pelo algoritmo de reastreamento. Observou-se ainda uma maior dispersão nos erros de estimativa nos cenários de maior variação do regime de fluxo. A estimativa da velocidade pelo algoritmo de rastreamento pode não ser afetada pelo erro na estimativa da coordenada individual visto que em dois quadros consecutivos as diferenças entre as coordenadas podem ser iguais.

O padrão dos erros médios de velocidade, associados ao tamanho do deslocamento em pixels de quadro a quadro, diminuem com o aumento da altura da câmera. Assim, o algoritmo pode ter estimado melhor a velocidade quando uma menor quantidade de pixels esteve envolvida no processamento da estimativa de velocidade. Acredita-se também que a deformação da imagem em 3D ao longo do tempo possa ter feito o algoritmo sempre superestimar a velocidade média e instantânea.

Mais estudos são necessários para aprofundar aspectos inerentes à visão computacional aplicada ao rastreamento veicular, como a verificação da influência da variação do ângulo de câmera, da amplitude de filmagem do trecho ou ainda a influência da heterogeneidade e peculiaridades do tráfego urbano brasileiro na qualidade do rastreamento.

O método de rastreamento utilizado pode ser considerado adequado para a confecção de diagramas espaço-tempo e há um grande potencial para a sua utilização em diferentes mecanismos de controle do fluxo de veículos e diferentes modos de transporte, além de ser uma ferramenta promissora na avaliação do desempenho da segurança viária.

Agradecimentos
Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) para o desenvolvimento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
AASHTO (2010) *Highway Safety Manual*. American Association of State Highway and Transportation

Officials.1st. Edition, Washington, D.C.

Abdel-Aty, M.; Cunningham, R.; Gayah, V.; Hsia, L. (2008). Dynamic Variable Speed Limit Strategies for Real-Time Crash Risk Reduction on Freeways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2078*, p. 108-116.

Anwar, A.; Zeng, W.; Arisona, S. (2014). Time-Space Diagram Revisited. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2442*, p.1-7.

Beymer, D.; McLauchlan, P.; Coifman, B.; Malik, J. (1997). A real-time computer vision system for measuring traffic parameters. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceedings., 1997 IEEE Computer Society Conference* p. 495-501. IEEE.

Coifman, B.; Beymer, D.; McLauchlan, P.; Malik, J. (1998). A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance. *Transportation Research Part C 6: Emerging Technologies.* p. 271-288.

Cunha, A. L. B. N. (2013) Sistema Automático Para Obtenção de Parâmetros do Tráfego Veicular a Partir de Imagens de Vídeo Usando o OpenCV. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

Harris, C.; Stephens, M.. (1988). A combined corner and edge detector. *Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference.* p. 147 - 151.

Hartmann, D. E. (1996). Assessing vehicle detection utilizing video image processing technology Doctoral dissertation. Texas A&M University.

Hsieh, J. W.; Yu, S. H.; Chen, Y.S.; Hu, W.F. (2006) Automatic Traffic Surveillance System for Vehicle Tracking and Classification. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.* Vol. 7, No. 2, p. 175-187.

Kim, J.; Lee, J. G.; Lee, S.; Kim, H.; Shim, H.; Eun, Y.; Lee, K. (2015). Three-dimensional time-space grid allocation algorithm for traffic control of autonomous vehicles at an intersection. In *Control, Automation and Systems (ICCAS), 2015 15th International Conference* p. 505-508.

Lucas, B.; Kanade, T. (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *7th Internacional Joint Conference on Artificial Intelligence - IJCAI*. p. 674-679.

OpenCV (2014). http://opencv.org/

Oskarbski, J.; Kaszubowski, D. (2016). Implementation of Weigh-in-Motion System in Freight Traffic Management in Urban Areas. *Transportation Research Procedia 16*. p. 449-463.

Roess, R. P.; Prassas, E. S.; McShane, W. R. (2011). *Traffic engineering. 4th ed.* Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.

Sayed, T.; Zein, S. (1999) Traffic conflict standards for intersections. *Transportation Planning and Technology*, p 309–323.

Saunier, N.; Sayed, T. (2006) A Feature-Based Tracking Algorithm for Vehicles in Intersections. Polytechnique Montréal, University of British Columbia – Vancouver. Canada.

Shi, J.; Tomasi, C. (1994) Good features to track. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings., 1994 IEEE Computer Society Conference*. p. 593-600. IEEE.

Zhao, D.; Dai, Y.; Zhang, Z. (2012). Computational intelligence in urban traffic signal control: A survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*. Vol. 42. No.4. p. 485-494.

Johny Alves Lira (Johny_Jal@hotmail.com)
Matheus Gomes de Lima (matheusgsdelima@gmail.com)
José Lucas Mesquita Frota (lucasmesquitafrota@hotmail.com)
Flávio José Craveiro Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI, s/n – Bloco 703 – CEP. 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil.

O IMPACTO DE ESTACIONAMENTOS NA VIA SOBRE A CIRCULAÇÃO VIÁRIA

Giullia Pereira Giampietro
Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho
Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO
O objetivo deste estudo é a proposição de procedimentos para a avaliação do impacto das manobras de estacionamento no fluxo de veículos das vias. As manobras aqui consideradas, que podem provocar atrasos ou a mudança de faixa dos veículos, são aquelas referentes à entrada e saída de vagas de estacionamento na via. A contribuição da pesquisa consiste em selecionar um conjunto de procedimentos de coleta de dados que serão, posteriormente, tratados e utilizados no estabelecimento de indicadores para a mensuração do impacto em alguns estudos de caso de áreas de trânsito mais intenso.

Giullia Pereira Giampietro (giullia@det.ufc.br)
Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho (azevedo@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
Campus do Pici, Bloco 703 – Fortaleza, CE, Brasil

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO NA AV. LINHA VERDE SUL DE CURITIBA

Rasiele dos Santos Rasia
Marcia de Andrade Pereira Bernardinis
Universidade Federal do Paraná

RESUMO
O acelerado processo de urbanização que aconteceu no Brasil na década de 50 fez com que barreiras urbanas surgissem, dividindo cidades física e socialmente. Em Curitiba, em 2004, foi criado um projeto para reduzir os impactos da BR 116, até então uma barreira urbana, transformando-a assim em uma avenida urbana, denominada Av. Linha Verde. Os objetivos deste projeto eram: reduzir tempos de viagem, atrasos e acidentes e aumentar a segurança através da implantação em interseções em desnível. Porém, hoje, visualmente, o trecho da Av. Linha Verde concluído em 2011 já apresenta problemas para absorver o tráfego existente, com formação de longas filas e poucas interseções em desnível. Assim, foram escolhidas algumas interseções semaforizadas deste trecho para avaliar a efetividade do projeto e dos seus objetivos através de contagens de tráfego e análises realizadas no *software* SYNCHRO utilizando o método HCM (*Highway Capacity Manual)* e ICU (*Intersection Capacity Utilization*).

ABSTRACT
Brazil's accelerated urbanization process in the 50's has led to the emergence of urban barriers, dividing cities physically and socially. In Curitiba, in 2004, a project was created to mitigate the effects of the highway BR 116, until then an urban barrier, transforming it into an urban avenue called Linha Verde Av. The aims of this project were to reduce travel times, delays and accidents, while increasing safety through grade separated intersections . However, it is seen today that the segment concluded in 2011 already has problems absorbing the existing traffic, with the formation of long queues and few grade separated intersections. Thus, some intersections with traffic light control within this segment have been chosen to evaluate the effectiveness of the project and its goals, through traffic counts and analyses performed in SYNCHRO software and using the HCM (Highway Capacity Manual) and ICU (Intersection Capacity Utilization) methods.

1. INTRODUÇÃO

O alto crescimento populacional da cidade de Curitiba e da RMC (Região Metropolitana de Curitiba) nas últimas décadas fez com que a população passasse a morar além dos eixos estruturais previstos no Plano Diretor de Curitiba. Na década de 50 foi construída a BR 116, a qual passava dentro de Curitiba – inclusive dividindo a cidade em duas partes - mas bastante distante da área urbana daquela época, quando a BR 116 não era considerada um dos eixos estruturais, porém o adensamento populacional em torno desta via não tardou. Uma consequência desta ocupação foi o aumento do número de acidentes graves na BR, visto que o tráfego de veículos pesados era alto – pois a BR 116 une os estados da região Sul do Brasil com o estado de São Paulo – e o fluxo de pedestres e de carros de passeio também.

Para resolver esta situação, longas discussões aconteceram. Primeiramente foi implantado o Anel Viário Rodoviário da Região Metropolitana de Curitiba, o qual absorveu parte do tráfego da BR 116. Posteriormente, surgiu o projeto da Linha Verde, com o objetivo de transformar o trecho da BR 116, que cortava Curitiba em um novo eixo estrutural de desenvolvimento que seria, na verdade, uma grande avenida urbana, que integraria os princípios do Plano Diretor, ou seja, o uso do solo, sistema viário e transporte coletivo, além de realizar a integração entre vários bairros curitibanos.

A partir destes fatos, o objetivo deste artigo é apresentar um diagnóstico da situação do tráfego na Linha Verde Sul, antiga BR 116, através de uma análise de três interseções, caracterizando-as e avaliando as condições de capacidade e nível de serviço através de análise do tráfego e

infraestrutura existente. Os dados para análise foram obtidos através de contagens volumétricas classificatórias e direcionais, realizadas durante 2014 e inseridos no *software* SYNCHRO 6, os quais foram analisados através do método ICU (*Intersection Capacity Utilization*) e HCM (*Highway Capacity Manual)*, que, respectivamente, fornecem dados sobre a Utilização da Capacidade da Interseção e Nível de Serviço.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados aspectos importantes sobre a engenharia de tráfego, como nível de serviço e capacidade, a ferramenta utilizada para determinar estes aspectos e também será apresentado o objeto deste estudo, a Linha Verde Sul.

2.1 Nível de Serviço

Segundo DNIT (2006), o HCM é um manual que contém um método que analisa a influência dos tipos de veículos (englobando caminhões, ônibus e carros), as características da via (número de faixas de tráfego, tipo de terreno, velocidade, etc), para avaliar e determinar o nível de serviço e capacidade destas vias. Segundo o HCM (TRB, 2000), a qualidade de um serviço requer medidas quantitativas para poder caracterizar e avaliar as condições de operação deste serviço. No caso dos estudos de tráfego, o nível de serviço (NS) é a medida da qualidade das condições de operação do escoamento do tráfego, em termos de velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobra, interrupções, conforto, conveniência, entre outros. Para análise de interseções semaforizadas, o NS é definido em termos do atraso na interseção, ou seja, é medido através do atraso médio por veículo em um dado período de análise. Este atraso, para o motorista, corresponde ao aumento do consumo de combustível, desconforto e aumento do tempo de viagem. A metodologia para a análise de interseções semaforizadas através do método HCM consiste em cinco etapas distintas, que estão resumidas na Figura 1. Na Tabela 1 consta como se dá a determinação do NS de acordo com o atraso de cada veículo.

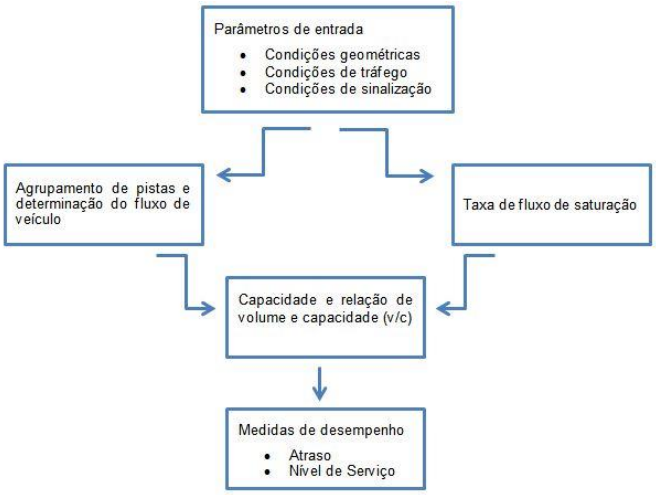


Figura 1: Metodologia para análise de interseções semaforizadas do HCM

Tabela 1: Determinação do Nível de Serviço pelo método HCM

NS	Atraso de controle por veículo (s/veíc)	NS	Atraso de controle por veículo (s/veíc)
A	≤ 10	D	> 35-55
B	> 10-20	E	> 55-80
C	> 20-35	F	> 80

Já foi publicado o HCM 2010, que apresenta diferenças em relação ao HCM 2000 devido a considerações no cálculo do NS de interseções semaforizadas, principalmente no que diz respeito ao tráfego de pedestres e ciclistas, porém as faixas de atrasos considerados são os mesmo que as definidas no HCM 2000.

2.2 Capacidade

De acordo com Husch e Albeck (2003), o ICU (*Intersection Capacity Utilization*) é um outro manual que apresenta um método simples para mensurar a capacidade da interseção, sendo útil em estudos de impacto de tráfego, propondo soluções no aspecto de projeto das vias e propondo meios de gerenciamento de congestionamento. Os parâmetros para definição do nível de serviço através do ICU são o volume de veículos, os movimentos permitidos e a geometria da interseção. De acordo com Matricial (2011), este método avalia quanto da capacidade de uma interseção, sinalizada ou não, está sendo utilizada para escoar determinado volume de tráfego, indicando inclusive se a interseção está operando acima da sua capacidade. Esta avaliação é feita através de comparação entre o tempo que seria necessário para escoar o tráfego existente com o tráfego que é escoado pela interseção em condições de saturação, tendo como referência um tempo de ciclo padronizado.

A Tabela 2 explora a situação da interseção que cada nível de serviço (de A até H) representa, bem como qual a porcentagem de capacidade de uma interseção corresponde a cada nível de serviço.

Tabela 2: Capacidade e nível de serviço do método ICU

NS	ICU	Diagnóstico da Situação
A	≤55%	A interseção não apresenta congestionamento e todo o tráfego é atendido no primeiro ciclo.
B	>55% até 64%	A interseção apresenta muito pouco congestionamento e quase todo o tráfego é atendido no primeiro ciclo.
C	>64% até 73%	Pequena incidência de congestionamento. A maioria do tráfego é atendida no primeiro ciclo.
D	>73% até 82%	Em situações normais a interseção não apresenta congestionamento. Grande parte do tráfego é atendida no primeiro ciclo.
E	>82% até 91%	A interseção está próxima ao limite de congestionamento. Muitos veículos não são atendidos no primeiro ciclo.
F	>91% até 100%	Interseção está no limite da capacidade e provavelmente ocorrem períodos de congestionamento de 15 a 60 minutos consecutivos. É comum a existência de filas residuais ao final do tempo de verde.
G e H	>100%	Interseção acima da sua capacidade. Provavelmente ocorrem períodos de congestionamento de 60 a 120 minutos consecutivos. A formação de longas filas é comum e o tempo dos ciclos semafóricos podem ser ajustados para melhorar o fluxo.

Fonte: Adaptado de HUSCH, D.; ALBECK, J. (2003)

2.3 Synchro 6

De acordo com Benekohal, Elzohair e Saak (2001) e Dalprá (2011), o SYNCHRO é um *software* de análise macroscópica desenvolvido pela Trafficware, o qual é muito utilizado na modelagem, otimização de tempos semafóricos, gerenciamento e simulação de sistemas de tráfego. De acordo com Husch e Albeck (2006), o SYNCHRO modela as ruas como arcos e as interseções como nós. O SYNCHRO é capaz de modelar interseções semaforizadas ou não,

sendo que para estas o fluxo é livre ou controlado por placas de pare ou rótulas, e para aquelas o fluxo pode ser controlado por diferentes tipos de controle.

Modelos macroscópicos, de acordo com Silva e Tyler (2001) apud Freitas (2006), analisam as correntes de tráfego como meios fluidos contínuos, nos quais a noção de partícula não é considerada, salientando que este tipo de abordagem é indicada para estudos de tráfego com grande densidade, e não para fluxos rarefeitos, permitindo que o engenheiro tenha uma melhor compreensão das limitações de capacidade dos sistemas viários e possa fazer uma avaliação de consequências de ocorrências que provoquem pontos de estrangulamento no sistema viário.

2.4 Objeto de estudo

De acordo com IPPUC (2012), em 1950 foi iniciada a construção da rodovia BR-2 (que mais tarde viria a se chamar BR 116), passando por dentro da cidade de Curitiba. Apesar de não passar, naquele momento, em uma área urbanizada (as áreas em torno da rodovia eram chamadas de Zonas de Serviço), a rodovia dividiu a cidade em duas partes.

Não tardou para acontecer o adensamento populacional em torno da BR 116. Por ser a mais importante rodovia federal, passando por 10 estados e tendo importância fundamental no transporte de cargas, as consequências foram imediatas: o índice de acidentes graves cresceu muito, devido ao tráfego conjunto de veículos pesados e pedestres, sem infraestrutura prevista para isso.

Até o ano 2000 inúmeras foram as tentativas de implantação de projetos para amenizar os problemas causados pela BR 116 em Curitiba, porém o alto custo dos projetos e a concessão da rodovia ao governo federal e não à prefeitura dificultaram o processo. No ano de 2000, a Lei 5.234-75, de Zoneamento, Uso e Ocupação do solo, foi revisada. Na nova Lei (9.800-00), a antiga Zona de Serviço, na qual o trecho urbano da BR 116 estava localizado, se tornou Setor Especial da BR 116, e a região próxima a esta tornou-se Zona de Transição, ambas de uso misto. Desta forma, o trecho urbano da BR 116 tornou-se um novo eixo de adensamento de Curitiba.

Em 2002 foi construído o Contorno Leste, com o objetivo de desviar o tráfego pesado do trecho da BR 116, localizado na zona urbana de Curitiba. Esta mudança permitiu que a Prefeitura pudesse assumir parte da BR 116 de forma a integrá-la inteiramente com a cidade. Para este local, após longas discussões, foi criado o projeto para implantação da Linha Verde, um Eixo Metropolitano de Transporte. A liberação oficial do espaço da BR 116 para implantação da Linha Verde foi apresentada na Revisão do Plano Diretor de 2004. O trecho da BR 116 que foi concedido para implantação da Linha Verde pode ser observado na Figura 2, destacado na cor verde.

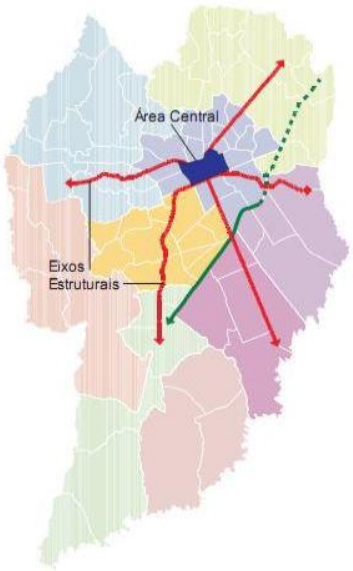


Figura 2: Antigo trecho da BR 116 (atual Linha Verde) e demais eixos estruturais.
Fonte: IPPUC (2012)

2.5 O projeto da Linha Verde

De acordo com IPPUC (2012), a Linha Verde surgiu com o objetivo de transformar o trecho da antiga BR 116 em uma avenida urbana, permitindo a integração entre mais de 20 bairros e ampliando o acesso das regiões norte, centro e sul. IPPUC (2012) ainda cita outros objetivos da Linha Verde:

- reduzir a carga sobre o Eixo Estrutural Norte-Sul;
- aumentar o alcance do sistema de transporte público;
- modernizar a frota de ônibus utilizando biocombustível;
- implementar estações de ônibus a cada 1 km e três terminais;
- reduzir o tempo de viagem;
- aumentar a segurança para os pedestres com instalação de iluminação pública e sinalização;
- melhorar a segurança;
- construir ciclovias e calçadas;
- construir um *boulevard* ao longo do eixo, usando espécies nativas;
- recuperar três parques urbanos existentes;
- promover a equidade social, promovendo a melhoria do desempenho dos modos de transporte;
- aperfeiçoar os meios de transporte mais usados pela população de menor renda, o transporte público e o não motorizado, reduzindo congestionamentos, a poluição ambiental e os acidentes de trânsito.

2.5.1 OUC LV – Operação Urbana Consorciada Linha Verde

De acordo com IPPUC (2012), em 19 de Dezembro de 2011, através da Lei 13.909, foi criada a Operação Urbana Consorciada da Linha Verde. Esta lei estabelece diretrizes urbanísticas para a área de influência da atual Linha Verde, com o objetivo de se obter melhorias e transformações urbanísticas, sociais e ambientais na região. Estas mudanças seriam alcançadas através de um conjunto de intervenções. As prioridades definidas para a Linha Verde na OUC são: transposições viárias (trincheiras verdes, viadutos e passarelas para pedestres), adequações viárias, medidas de controle ambiental, realocação e regularização das áreas de ocupação

irregular e elaboração dos projetos relativos ao Plano de Intervenções. De acordo com IPPUC (2012), as principais intervenções físicas a serem implantadas são:

- trincheiras verdes: interseções em desnível, para facilitar as travessias transversais à Linha Verde, aumentando a agilidade e o fluxo de passagem. Na Linha Verde Sul, estão previstas quatro trincheiras verdes.
- viadutos: localizados nos cruzamentos mais importantes da Linha Verde, com o objetivo de melhorar o tráfego nestes. Na Linha Verde Sul, destaca-se o projeto para implantação de viaduto na interseção com a R. Anne Frank, para facilitar acesso ao bairro Boqueirão;
- implantação de passarelas de pedestres: para permitir a travessia segura de pedestres;

2.6 Implantação da Linha Verde

A implantação da Linha Verde foi dividida em quatro trechos diferentes, conforme descrito a seguir:

- trecho 1: Linha Verde Sul, construída em dois lotes diferentes, com financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). Foi entregue em 2009. O trecho fica entre o Centro Politécnico e o Terminal do Pinheirinho, tem 9,4 km de extensão, e um total de 10 km de ciclovias (6 km de ciclovia exclusiva e 4 km de ciclovia compartilhada).
- trecho 2: Linha Verde Norte, dividida em quatro lotes. Apenas o primeiro lote está pronto. O trecho fica entre o bairro Jardim Botânico e o Atuba, no extremo norte de Curitiba, passando por 11 bairros, com aproximadamente 9 km de extensão.
- trecho 3 e 4: compreendem o prolongamento da Linha Verde Sul. Não estão totalmente concluídos.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para determinar as interseções da Av. Linha Verde que serão estudadas, bem como apresentará como foi determinado o horário das contagens de tráfego. Ainda, será apresentado como será realizada a análise das contagens realizadas.

3.1 Interseções a serem estudadas

A Linha Verde (de Norte a Sul) possui mais de 22 km de extensão. Como já foi relatado anteriormente, o trecho Norte está apenas em parte concluído, por isso não foi objeto de estudo. Desta forma, o estudo de caso ocorreu em interseções da Linha Verde Sul.

A determinação das interseções estudadas foram baseadas em contagens de tráfego realizadas pelo IPPUC em 2012 e fornecidas no site da instituição. Na época foi contado o volume de tráfego das 06:30 às 9:00 horas e das 17:00 às 20:00 horas. Desta forma, foi analisado o tráfego total em cada interseção e selecionados os maiores volumes de tráfego, conforme é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Volumes totais de veículos nas interseções com contagens volumétricas

Interseção	Data	Dia da Semana	Veículos (06:30-9:00)	Veículos (17:00 - 20:00)
Linha Verde x R. Sen. Salgado Filho	30/10/2012	Terça feira	21.864	23.490
Linha Verde x R. Imaculada Conceição	06/11/2012	Terça feira	18.088	25.320
Linha Verde x R. Anne Frank	24/10/2012	Quarta-feira	21.173	25.713
Linha Verde x R. Prof. João Soares Barcelos	25/10/2012	Quinta - feira	21.549	21.613
Linha Verde x R. Oliveira Viana	06/11/2012	Terça feira	14.818	19.692
Linha Verde x R. Leonel França	25/10/2012	Quinta - feira	16.400	17.791
Linha Verde x Av. Santa Bernadethe	30/10/2012	Terça feira	14.623	17.599
Linha Verde x R. Omar Raymundo Richeth	25/10/2012	Quinta - feira	15.383	17.663
Linha Verde x R. Barão de Santo Ângelo	30/10/2012	Terça feira	14.926	17.990

Observa-se que, de forma geral, os maiores volumes ocorreram nas interseções Linha Verde x R. Sen. Salgado Filho, Linha Verde x R. Imaculada Conceição e Linha Verde x R. Anne Frank, as quais estão uma seguida da outra, como pode ser observado na Figura 3. Desta forma, a pesquisa foi realizada nestas três interseções. Na quarta os volumes também foram altos, porém ela não foi incluída na pesquisa, pois no pico tarde as outras interseções apresentaram volumes bem maiores.

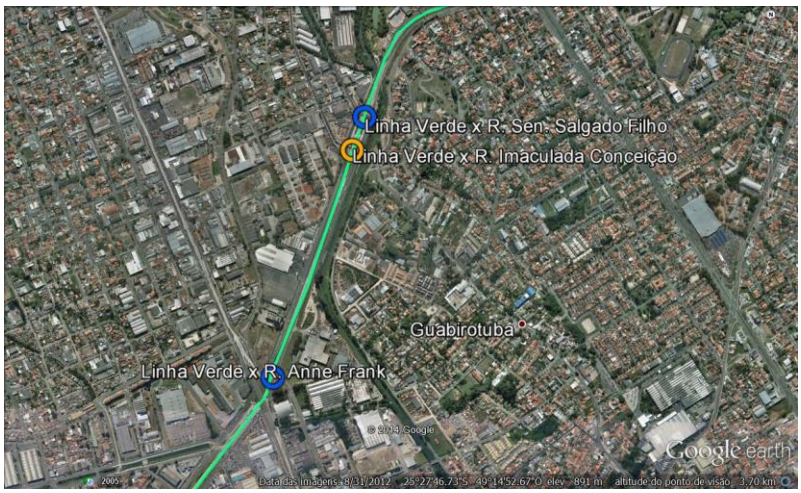


Figura 3: Interseções com maiores volumes de tráfego de acordo com contagens do IPPUC

3.2 Datas e horários das contagens classificatórias

Neste trabalho as interseções analisadas foram avaliadas em dois diferentes períodos: pico manhã e pico tarde. Em cada período de pico, as interseções foram analisadas durante 15 minutos. Para determinar o horário no qual seriam realizadas as contagens, foram utilizados os dados das contagens volumétricas classificatórias realizadas em 2012 e divulgadas pelo IPPUC.

Os dados apresentados pelo IPPUC das interseções a serem estudadas foram analisados da seguinte forma: para cada período de 15 minutos, foram somados todos os fluxos de cada uma das interseções, nos períodos de manhã e tarde, obtendo-se um volume total, independente dos movimentos possíveis de serem realizados, observando-se os 15 minutos com maior tráfego para cada uma das interseções, e assim definindo os horários de contagem. A partir dos

resultados da pesquisa realizada em 2012, definiu-se o horário de realização das contagens. A Tabela 4 resume estes dados.

Tabela 4: Dia e horários das contagens por interseção

Interseção	Dia	Manhã	Tarde
Linha Verde x R. Sen. Salgado Filho	24/09/2014 Quarta-feira	7:30 - 7:45	18:30 - 18:45
Linha Verde x R. Imaculada Conceição		7:30 - 7:45	18:15 - 18:30
Linha Verde x R. Anne Frank		7:30 - 7:45	18:00 - 18:15

3.3 Análise dos volumes de tráfego

Após realizadas as contagens, os dados foram compilados e analisados. Primeiramente os volumes das diferentes categorias de veículos foram transformados para UCP (Unidades de Carros de Passeio), de acordo com as recomendações de fatores de equivalência do DNIT.

Como as contagens foram realizadas na faixa dos 15 minutos com maior fluxo, o volume de veículos nestes 15 minutos foi multiplicado por quatro, obtendo-se, desta forma, o volume horário para cada movimento. Além dos volumes horários e fator hora pico, foram inseridos no Synchro dados referentes à programação semafórica, largura das pistas, condições de tráfego, velocidade máxima permitida, greide, existência de faixas de estacionamento, conflito com pedestres e ciclistas, etc.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Em campo, anteriormente à realização das contagens, foi feito o levantamento dos movimentos possíveis de serem realizados em cada uma das interseções, conforme apresentado na Figura 4. A Tabela 5 e Tabela 6 apresentam os resultados das contagens de tráfego.

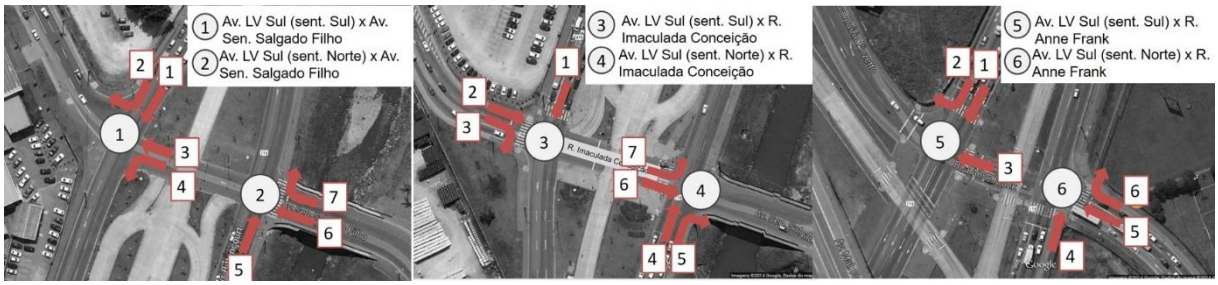


Figura 4: Movimentos possíveis de serem realizados nas interseções analisadas

Tabela 5: Pico manhã

Interseção - Movimento	UCP/ Hora	Interseção - Movimento	UCP/ hora	Interseção - Movimento	UCP/ hora
1-1	3.228	3-1	3.666	5-1	3.184
1-2	944	3-2	1.202	5-2	376
1-3	1.658	3-3	256	5-3	1.976
1-4	438	4-4	3.122	6-4	3.240
2-5	3.690	4-5	648	6-5	1.976
2-6	2.096	4-6	634	6-6	530
2-7	20	4-7	568		

Tabela 6: Pico tarde

Interseção - Movimento	UCP/ Hora	Interseção - Movimento	UCP/ hora	Interseção - Movimento	UCP/ hora
1-1	3.032	3-1	3.436	5-1	3.800
1-2	782	3-2	1.528	5-2	260
1-3	930	3-3	294	5-3	1.910
1-4	506	4-4	2.854	6-4	3.012
2-5	3.984	4-5	536	6-5	1.910
2-6	1.436	4-6	584	6-6	542
2-7	102	4-7	944		

4.1 Análise das contagens

Através dos resultados apresentados para o Pico Manhã e Pico Tarde, o movimento 5 da interseção Av. Linha Verde sentido Norte x R. Sen. Salgado Filho (interseção 2) é o que possui maior fluxo de veículos. Para o pico manhã, no aspecto de volume horário total, a interseção Av. Linha Verde sentido Sul x R. Sen. Salgado Filho (interseção 1), é a que apresenta maior volume, com um total de 6.268 UCP/h, já para o pico tarde a interseção Av. Linha Verde sentido Sul x R. Anne Frank (interseção 5), é a que apresenta maior volume, com um total de 5.970 UCP/h.

No pico manhã, entre os movimentos que transpõem a Av. Linha Verde Sul, o que tem maior fluxo é o movimento 6 da interseção Av. Linha Verde x R. Sen. Salgado Filho, com 2.096 UCP/h. A segunda interseção com maior número de transposições é a Av. Linha Verde x R. Anne Frank, com um total de 1.976 UCP/h. No pico tarde, entre os movimentos que transpõem a Av. Linha Verde Sul, os com maiores fluxos são os movimentos 3 e 5 da interseção Av. Linha Verde x R. Anne Frank, com um total de 1910 UCP, transpondo a Av. Linha Verde em uma hora. A segunda interseção com maior número de transposições é a Av. Linha Verde x R. Imaculada Conceição, com um total de 1.528 UCP/h.

4.2 Resultados

Os resultados referentes à relação volume/capacidade, atrasos, NS (método HCM) e Utilização da Capacidade da Interseção (ICU) para o pico manhã (M) e tarde (T), podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados gerados pelo Synchro 6 para o pico manhã e tarde

Interseção-Movimento	Fluxo ajustado (UCP/h) M/T	v/c M/T	Atraso total (s) M/T	NS Movimento (HCM) M/T	NS Interseção (HCM) M/T	ICU (%) M/T
1-1	3.398 / 3.192	1,34 / 1,22	182,1 / 127,6	F / F	F / F	131 / 110,9
1-2	1.026 / 850					
1-3	1.783 / 1.000	1,79 / 1,3	478,9 / 198,7	F / F		
1-4	503 / 582					
2-1	3.884 / 4.194	1,2 / 1,26	176 / 189,1	F / F	F / F	217,9 / 209,5
2-2	2.206 / 1.561	1,56 / 1,18	565,6 / 249,7	F / F		
2-3	26 / 131	0,06 / 0,31	27,8 / 33,2	C / C		

3-1	3.859 / 3.617	1,29 / 1,19	239,3 / 188,3	F / F		
3-2	1.292 / 1.643	0,95 / 1,22	51,9 / 177,5	D / F	F / F	131 / 110,9
3-3	294 / 338					
4-1	3.286 / 3.004	1,39 / 1,23	207,3 / 146,2	F / F		
4-2	704 / 583				F / F	118,5 / 111,4
4-3	689 / 635	0,78 / 1,03	14,8 / 127	B / F		
4-4	617 / 1026	0,77 / 1,01	18,3 / 137	B / F		
5-1	3.352 / 4.000	1,13 / 1,18	86,7 / 107	F / F		
5-2	432 / 299				F / F	105,2 / 110,6
5-3	2.125 / 2.054	1,44 / 1,52	239,1 / 280,5	F / F		
6-1	3.411 / 3.171	1,27 / 1,08	150,6 / 68,1	F / E		
6-2	2.125 / 2.054	1,35 / 1,44	273,8 / 323,4	F/ F	F / F	119,3 / 113,9
6-3	576 / 589					

4.2.1 Resultados para o pico manhã

De acordo com a Tabela 7, os resultados para a relação v/c (volume/capacidade) demonstram que apenas os movimentos 3 (da interseção 2), 2 e 3 (da interseção 3) e 3 e 4 (da interseção 4) estão operando abaixo da sua capacidade, portanto, os demais movimentos operam acima da sua capacidade, gerando congestionamentos. Os movimentos que operam abaixo da sua capacidade são, em sua maioria, movimentos de entrada na Av. Linha Verde, e não movimentos que estão transpondo ou passando por esta.

Pelo o método HCM 2000, observa-se que os movimentos que apresentam NS diferente de F, são os que estão transpondo a Av. Linha Verde em direção ao bairro. Os movimentos de circulação na própria Av. Linha Verde apresentam todos nível F (que é considerado impraticável), ou seja, os volumes existentes estão acima da capacidade da via, o que acaba por reduzir a velocidade de tráfego e aumenta a formação de filas.

De acordo com o método ICU 2003, todas as interseções estão operando acima da capacidade, e provavelmente existam congestionamentos que duram de 60 a 120 minutos consecutivos. A interseção 5 se destaca por ter o menor índice de utilização da capacidade. Isso acontece porque esta é a única interseção que possui quatro faixas (e as 4 permitem o movimento “ir reto”), o que deixa o fluxo na própria Av. Linha Verde mais fluido. A interseção 2 se destaca por ter a maior utilização da capacidade.

4.2.2 Resultados para o pico tarde

De acordo com a Tabela 7, os resultados para a relação v/c (volume/capacidade) demonstram que apenas o movimento 3 da interseção 2 está operando abaixo da sua capacidade, portanto, os demais movimentos operam acima da sua capacidade, gerando congestionamentos. Este movimento que está operando abaixo da sua capacidade corresponde a uma faixa exclusiva de conversão à esquerda, que é subutilizada. A maior relação v/c corresponde aos movimentos de transposição da Av. Linha Verde através da interseção R. Anne Frank.

Através dos resultados obtidos para o pico tarde, observa-se que o movimento que apresenta NS diferente de F, é o movimento 1 da interseção 6, que corresponde ao fluxo que trafega na

Av. Linha Verde (sentido Norte). Os demais movimentos de circulação na própria Av. Linha Verde apresentam nível F.

De acordo com o método ICU 2003, todas as interseções estão operando acimada da capacidade, e provavelmente existam congestionamentos que duram de 60 a 120 minutos consecutivos. Assim como no pico manhã, a interseção 5 se destaca por ter a menor utilização da capacidade, e a interseção 2, a maior.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Através do presente estudo, pôde-se perceber que o crescimento do número de automóveis, juntamente com a consideração falha deste fato por parte da Prefeitura Municipal de Curitiba e do IPPUC, têm causado problemas de tráfego, tais como congestionamentos, que geram aumento do tempo de viagem, formação de filas, etc. Além disso, devido aos resultados, questiona-se os estudos – e o nível de profundidade destes - que foram realizados (ou contratados) pela PMC e pelo IPPUC para definição da infraestrutura a ser implantada na Av. Linha Verde Sul. Apesar destes questionamentos, é fato que, devido ao alto fluxo de veículos de passeio e pedestres na Av. Linha Verde, havia a necessidade já constatada na década de 90: transformar a BR 116 em uma avenida urbana.

Após gerados os resultados da simulação das três interseções da Av. Linha Verde Sul, foi possível concluir que a situação crítica observada visualmente foi confirmada. Tanto no pico manhã, quanto no pico tarde, as interseções analisadas apresentam problemas para absorver o tráfego existente. Todas as interseções estão operando acima da sua capacidade e, desta forma, ofertam ao usuário o pior nível de serviço possível. Para os usuários, a situação que este nível representa é considerada inaceitável: os ciclos são longos, há formação de longas filas e o atraso é grande. A formação de filas se dá tanto nas vias de transposição da Av. Linha Verde, como na própria Av. Linha Verde, mostrando que todas as vias apresentam problemas.

Desta forma, mostra-se um tanto ineficiente a infraestrutura que foi construída e inaugurada em 2011, pois apenas três anos depois de concluída a obra, esta já se encontra defasada e insuficiente sob o ponto de vista de capacidade viária. Também não atende um dos objetivos centrais quando surgiu a ideia de implantar a Av. Linha Verde, que era de reduzir os tempos de viagens.

Até o momento, não foi construída nenhuma trincheira e nenhum viaduto no trecho da Av. Linha Verde Sul que foi estudado, porém a OUC-LV, que tem o prazo de 30 anos para ser implementada, prevê a construção de um viaduto nas interseções 5 e 6 (Av. Linha Verde x R. Anne Frank). O fluxo de veículos que transpõem a Av. Linha Verde Sul através da R. Anne Frank – que dá acesso da região do Boqueirão para o Centro - é o maior entre as interseções estudadas, justificando a necessidade deste projeto. Apesar de o índice de utilização da capacidade na interseção 5 ser menor que nas demais – devido à existência de uma quarta faixa de tráfego – os atrasos para a realização dos movimentos de transposição da Av. Linha Verde são bastante altos, principalmente no pico tarde.

Após a análise dos resultados, constatou-se que:

- As interseções 1 e 2 (Av. Linha Verde x R. Sen. Salgado Filho) se mostram bastante críticas sob o ponto de vista de utilização da capacidade, atrasos e fluxo de transposição da Av. Linha Verde (principalmente no pico manhã). Por isso nesta interseção também se mostra necessária a implantação de um viaduto ou trincheira como medida mitigadora para melhorar o nível de serviço ofertado ao usuário, por meio da redução de filas e, consequentemente, dos atrasos.
- As interseções 3 e 4 (Av. Linha Verde x R. Imaculada Conceição) possuem o menor fluxo de transposição da Av. Linha Verde, Porém, o atraso para realização do movimento de seguir na Av. Linha Verde é alto em comparação aos demais movimentos deste tipo, por isso, sugere-se a construção de mais uma faixa de tráfego na própria Av. Linha Verde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENEKOHAL, R. F; ELZOHAIRY, Y. M; SAAK, J. E. *Comparison of delays from HCM, Synchro, PASSER II, PASSER IV and CORSIN for an urban arterial*. Illinois Departament of Transportation, Illinois, 2001.

DALPRÁ, G. F. *Análise de Sensibilidade do Modelo SimTraffic aos Parâmetros de Caracterização do Perfil dos Motoristas*. 65 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

DNIT/IPR. *Manual de Estudos de Tráfego*. Publicação 723 IPR – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 384 p. Rio de Janeiro/RJ. 2006.

FREITAS, Ilce Maria Dantas Pinto. *Componentes de Tráfego*. Universidade Federal da Bahia. Notas de aula da disciplina de Componentes de Tráfego do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Bahia. 2010.

HUSCH, D.; ALBECK, J. *Intersection Capacity Utilization: Evalution Procedures for Intersections and Interchanges***.** Trafficware Corporation, Albany, 2003.

IPPUC, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. *Curitiba monitora trânsito e transporte em tempo real***.** Curitiba, 2012. Disponível em <http://www.ippuc.org.br/mostrarnoticia.php?noticia=cd_noticias=100&ampliar=sim>. Acesso em 29 de maio de 2014.

IPPUC, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. *Estudo de Impacto Ambiental da Operação Urbana Consorciada Linha Verde – EIA-OUCLV*. Fipe, São Paulo, 2012.

MATRICIAL, E. C. *Estudo de impacto de tráfego Rossi Benin Canoas.* Porto Alegre, 2009.

SILVA, P. C. M; TYLER, N. *Sobre a Validação de Modelos Microscópicos de Simulação de Tráfego.* Transportes**,** São Paulo, v.10, n.1, p.49-64, 2001.

TRB, Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual 2000*. Washington DC, Transportation Research Board, 2000

HUSCH, D.; ALBECK, J. *Synchro Studio 7 User Guide*. Albany: Trafficware, 2006.

PLATAFORMA PARA A AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE INTERSEÇÕES AUTOMATIZADAS

Henrique Salvaro Furtado
Rodrigo Castelan Carlson
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas

RESUMO
Tendo em vista a rápida evolução no desenvolvimento de carros automatizados, o lançamento em grande escala desses veículos altamente/totalmente automatizados se tornará realidade em breve. Uma consequência desse desenvolvimento é o surgimento da necessidade de se coordenar como os veículos automatizados se comportarão no tráfego. A gestão do tráfego com carros automatizados permite uma gama de melhorias quando comparada com a condição atual. Por exemplo, espera-se diminuir significativamente o atraso veicular, o número de acidentes, e a emissão de poluentes. Neste trabalho, será desenvolvida uma série de estudos acerca de estratégias de coordenação de veículos automatizados em interseções. Estratégias selecionadas serão implementadas e comparadas em simulação, sob óticas quantitativas e qualitativas, como por exemplo, ganho de desempenho e generalidade. A criação de uma plataforma que facilite a implementação destas estratégias é um dos objetivos deste trabalho.

MÉTODO PARA ESTIMAÇÃO DO TAMANHO DE FILA EM VIAS SEMAFORIZADAS EQUIPADAS COM LAÇO DETECTOR INDUTIVO

Vinícius Araujo de Oliveira
Rodrigo Castelan Carlson
Werner Kraus Junior
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas

RESUMO
O tamanho da fila em uma via é uma medida fundamental em engenharia de tráfego, porém difícil de obter diretamente. Assim, tipicamente, essa quantidade é estimada a partir de valores de ocupação e/ou fluxo. O método de estimação proposto para uso com a estratégia de controle TUC faz a estimação baseado nas medidas de ocupação de um laço detector instalado na via. O estudo que gerou o método foi realizado em um simulador macroscópico de tráfego e para uma único cenário. Neste artigo avaliamos, em um microsimulador, este e outros métodos que utilizam a detecção por laço indutivo. Os resultados revelam que os métodos estudados possuem algumas limitações que precisam de tratamento adequado para sua utilização. Com isso, propomos um modelo baseado em diagrama espaço-tempo que utiliza dados fornecidos por um detector, para o caso sem fila residual. O modelo proposto foi simulado e comparado com os métodos estudados e apresentou menores erros de estimação.

ABSTRACT
Queue length on a link is a fundamental measure in traffic engineering, but difficult to obtain directly. Thus, typically, this quantity is estimated from occupancy and/or flow values. The study that generated the estimation method for the TUC strategy was carried out in a macroscopic simulator of traffic and for a single scenario. In this article we evaluate this method and some other methods that use inductive loop detection in a microsimulator, in different scenarios. The results reveal that the methods have some limitations that need adequate treatment for their use. Thus, we propose a model based on a space-time diagram that uses data provided by a detector, for the case without residual queue. The proposed model was simulated and compared with the methods studied and presented smaller estimation errors.

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas do tráfego urbano, sobretudo nas grandes cidades, é a formação de filas em vias semaforizadas, mesmo em condições não saturadas, devido ao bloqueio durante o tempo de vermelho no semáforo. Os tamanhos de fila são usados em estratégias de controle de tráfego em tempo real, como por exemplo, a estratégia TUC (Diakaki, 1999). Assim, é necessário poder medir ou estimar os tamanhos de fila.

As informações do tamanho de fila, podem, a princípio, ser coletadas através da utilização de câmeras de vídeo (Zanin *et al.*, 2003). Contudo, isso nem sempre é possível, por exemplo, devido à precisão dos algoritmos de processamento de imagens, ao custo, a problemas de visibilidade, dentre outras limitações (Vigos *et al.*, 2008). Em função dessas limitações, outros sensores que não fornecem a fila diretamente são tipicamente usados em conjunto com algoritmos de estimação. Assim, torna-se necessário criar modelos para estimar o tamanho da fila.

A estimação da fila pode ser feita, por exemplo, por RFID (identificação por rádio frequência) (Wu e Yang, 2013) e sensores magnéticos (Liu *et al.*, 2009). Dentre os sensores magnéticos, o laço indutivo é bastante utilizado. O sistema de detecção baseado no sensor a laço indutivo é relativamente barato e é capaz de realizar medições de ocupação e contagem veicular (Klein *et al.*, 2006), que são dados tipicamente utilizados para a estimação do tamanho da fila. Além disso, o uso de laços detectores também é de interesse dos autores por estar presente na estratégia

de controle TUC, que foi objeto de implementações em várias cidades, inclusive no Brasil (Dinopoulou *et al.*, 2006; Kraus Jr. *et al.*, 2011; Diakaki, 1999).

O método atual de estimação usado com a estratégia TUC possui diversas limitações que são apontadas neste trabalho. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar uma nova proposta de modelo para estimação do tamanho da fila baseada em medições de contagem e ocupação em uma via semaforizada equipada com um laço indutivo. Este trabalho limita-se ao caso sem fila residual, que são filas remanescentes na via após o início do tempo de vermelho do ciclo seguinte. A proposta é comparada a alguns métodos existentes na literatura e os resultados mostram que a estratégia apresentada é superior ao método atualmente utilizado.

2. MÉTODOS ABORDADOS

Por restrição de espaço, a apresentação a seguir limita-se a apenas quatro técnicas que serão usados para comparação na Seção 4. Interessam os métodos que utilizam somente um laço detector, ainda que um dos métodos abordados utilize três detectores. Serão analisados alguns aspectos que podem influenciar na estimação e posteriormente será mostrado o processo de obtenção da nova proposta, bem como a comparação com os métodos analisados. Ao leitor interessado sugere-se a leitura de outros trabalhos, como de Wu e Yang (2013) que cobre o uso de RFID, de Liu *et al.* (2009) sobre estimação baseada em eventos e de Lee *et al.* (2015) para estimação de filas separadas por faixa.

2.1. Método das funções não lineares (MFNL)

Diakaki (1999) propôs um método baseado em uma família de funções não lineares para estimar o número de veículos em uma via com o uso de apenas um laço indutivo. O método requer como dados de entrada a ocupação no ciclo e a distância do detector até a linha de parada, fornecendo como saída o número de veículos na via. Para tanto, estabeleceu-se em simulação uma relação entre o número médio de veículos na via e a ocupação temporal no laço durante um ciclo.

Para as simulações, Diakaki usou o simulador macroscópico METACOR (Salem *et al.*, 1994), no qual a via é dividida em segmentos e o estado do segmento é representado por valores agregados de densidade, fluxo e velocidade. Os valores de ocupação foram obtidos a partir da densidade do segmento por meio de uma relação apropriada (Diakaki, 1999). Foi simulada uma via com uma faixa e com espaço para cem veículos. A jusante da via um semáforo com ciclo de dois minutos fornecia o direito de passagem aos veículos por vinte e três segundos. Assumiu-se que essa via é normalizada e representa uma via de qualquer tamanho. A duração da simulação e a demanda foram escolhidas de forma que o número de veículos na via aumentasse de zero até cem. A via foi divida em dez segmentos e para cada segmento foi gerado um gráfico mostrando a relação entre ocupação e número de veículos na via.

Os resultados obtidos mostraram que não há uma relação única entre um valor de ocupação e um valor de fila mas que há uma relação única entre um valor de ocupação e o valor médio de fila. Constatou-se também que essa relação é função da posição do laço (segmento) na via. A partir desses resultados obteve-se uma função não linear que depende da posição do laço na via, l_z^s (km), em relação à linha de retenção e do comprimento da via, l_z (km). A função recebe

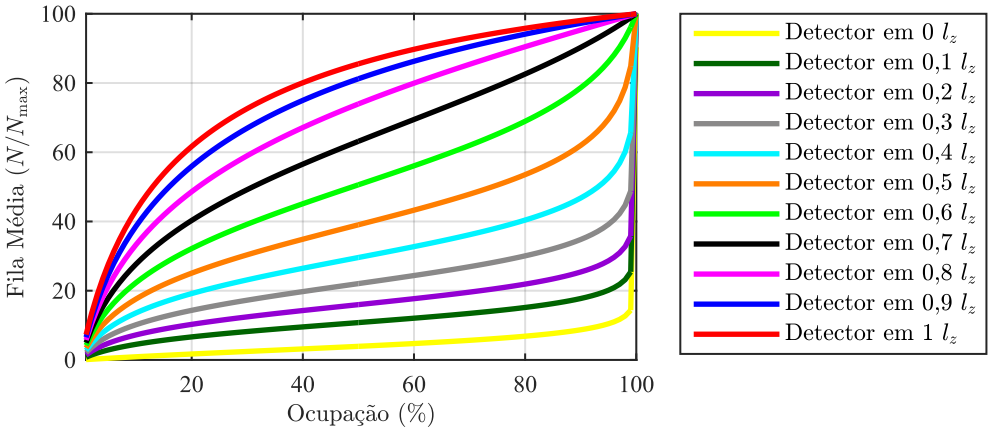


Figura 1: Fila média normalizada em função da ocupação e posição do sensor pelo MFNL

como entrada a ocupação o_z (%) e fornece como saída o número de veículos x_z e é dada por:

$$x_z(o_z) = \frac{x_{z,\max}}{100}\frac{1}{c_z}\ln\left(\frac{100c_zd_z(e^{100c_z}-1)+(1+100c_zd_ze^{100c_z}-e^{100c_z})c_zd_zo_z}{100c_zd_z(e^{100c_z}-1)+(1+100c_zd_z-e^{100c_z})c_zd_zo_z}\right) \quad (1)$$

em que $x_{z,\max}$ (veículos) é o número máximo de veículos na via z e c_z e d_z são parâmetros definidos em função da distância do detector até o semáforo:

$$c_z(l_z^s/l_z) = 0{,}42e^{-3l_z^s/l_z}, \quad (2)$$

$$d_z(l_z^s/l_z) = 0{,}1(1-l_z^s/l_z)+8l_z^s/l_z. \quad (3)$$

Detalhes de como a função foi obtida são omitidos, ver Diakaki (1999). A Figura 1 mostra a forma das curvas dadas pela Equação 1 para diferentes valores de l_z^s/l_z.

2.2. Método Simplificado (MS)

Papageorgiou e Vigos (2008) propuseram um método para estimar o número de veículos numa via com o uso de apenas um laço indutivo através da definição de ocupação espacial, a partir da qual obteve-se a seguinte equação:

$$\hat{N}_{\text{sp}}(k) = \frac{l_z\lambda}{L^{\text{Ph}}}\hat{o}_{\text{s},z}(k) \quad (4)$$

em que $\hat{N}_{\text{sp}}$ é o número estimado de veículos na via, no qual o subscrito sp designa o método (SimPlificado), λ é o número de faixas, L^{Ph} (km) é o tamanho físico médio do veículo e $\hat{o}_{\text{s},z}$ é a ocupação espacial.

Os valores de ocupação foram obtidos a partir de um laço indutivo instalado em diferentes locais da via. Foi simulado em um simulador microscópico uma via de 194 m com uma faixa, com um semáforo à montante operando com um ciclo fixo de 90 s, com um semáforo à jusante operando com ciclos de 20, 40, 60 e 90 s e proporção verde/ciclo fixa. Cada cenário teve duração de 1,38 h. Foi simulado também um quinto cenário, estocástico, para o qual o tempo de ciclo do semáforo à jusante mudava estocasticamente entre 10 s e 90 s durante a simulação.

Os resultados obtidos mostraram que a ocupação temporal é uma boa aproximação para a ocupação espacial na vizinhança do sensor. Além disso, foi verificado que os melhores resultados de estimação foram fornecidos quando o detector estava localizado no centro da via.

2.3. Método de estimação com filtro de Kalman (MFK)

A fim de filtrar os erros de estimação do MS (Papageorgiou e Vigos, 2008), Vigos *et al.* (2008) desenvolveram um método baseado em filtro de Kalman para estimar o número de veículos na via, utilizando três detectores. Foram considerados um detector em cada extremidade da via para coletar informações de fluxo de entrada e saída e um no centro da via para coletar informações de ocupação.

A simulação foi feita da mesma maneira que por Papageorgiou e Vigos (2008) (ver Subseção 2.2). A estimação do número de veículos na via é dada por:

$$\hat{N}_{\mathrm{FK}}(k) = K_{\mathrm{FK}} \cdot \hat{N}_{\mathrm{sp}}(k-1) + (1 - K_{\mathrm{FK}}) \cdot \hat{N}_{\mathrm{FK}}(k-1) + T[q_{\mathrm{in}}(k-1) - q_{\mathrm{out}}(k-1)] \quad (5)$$

em que $\hat{N}_{\mathrm{FK}}$ representa o número estimado de veículos na via, T é o período de amostragem, q_{in} e q_{out} são as medições dos fluxos de entrada e saída, respectivamente, K_{FK} é o ganho do filtro de Kalman e $\hat{N}_{\mathrm{sp}}$ é o número de veículos fornecido pela Equação 4.

A partir dos resultados obtidos verificou-se o efeito do período de amostragem, do ciclo do semáforo a jusante, do tamanho efetivo do veículo e da via, mostrando que o método é eficiente e robusto, obtendo menores erros de estimação em relação ao método simplificado apresentado por Papageorgiou e Vigos (2008).

2.4. Método de Suavização Exponencial (MSE)

Vigos e Papageorgiou (2010) propuseram uma simplificação do MFK (Vigos *et al.*, 2008) e por meio de filtragem exponencial do MS (Papageorgiou e Vigos, 2008). Essa modificação permitiu fazer a estimativa do número de veículos utilizando dados de ocupação de apenas um detector, já que nem sempre é possível ter três detectores instalados na via.

A simulação foi feita seguindo o mesmo método aplicado por Papageorgiou e Vigos (2008) e Vigos *et al.* (2008), mas empregando um estimador exponencial para estimar o número de veículos, dado por:

$$\hat{N}_{\mathrm{SE}}(k) = K_{\mathrm{SE}} \cdot \hat{N}_{\mathrm{sp}}(k-1) + (1 - K_{\mathrm{SE}})\hat{N}_{\mathrm{SE}}(k-1) \quad (6)$$

em que K_{SE} é o ganho do filtro exponencial, $\hat{N}_{\mathrm{SE}}$ é a estimativa produzida e $\hat{N}_{\mathrm{sp}}$ é a estimativa gerada pela Equação 4.

O estimador exponencial teve melhor desempenho e robustez do que o método simplificado (Papageorgiou e Vigos, 2008), porém apresentou maior erro de estimação em relação ao método baseado no filtro de Kalman (Vigos *et al.*, 2008), embora este necessite de pelo menos três detectores, o que pode ser bastante custoso.

2.5. Discussão

Uma análise dos métodos descritos nesta seção permite estabelecer as seguintes características sobre eles:

- Assumiu-se que os métodos apresentados são válidos para uma via normalizada, apesar de a investigação que os gerou ter utilizado apenas um comprimento de via.
- Sugere-se que o posicionamento do laço responsável pela medição de ocupação no centro da via fornece os melhores resultados.
- Assumiu-se no MFNL que a forma da curva da relação ocupação/número médio de veículos varia apenas em função da posição do laço em relação à linha de retenção.

Ademais, percebe-se algumas limitações dos métodos:

- Nenhum dos métodos levou em consideração a velocidade da via.
- A investigação dos métodos abordados consideraram uma combinação verde/ciclo fixa.
- Para o MFNL, foi utilizado um simulador macroscópico determinístico e que não representa laços indutivos, mas sim segmentos.

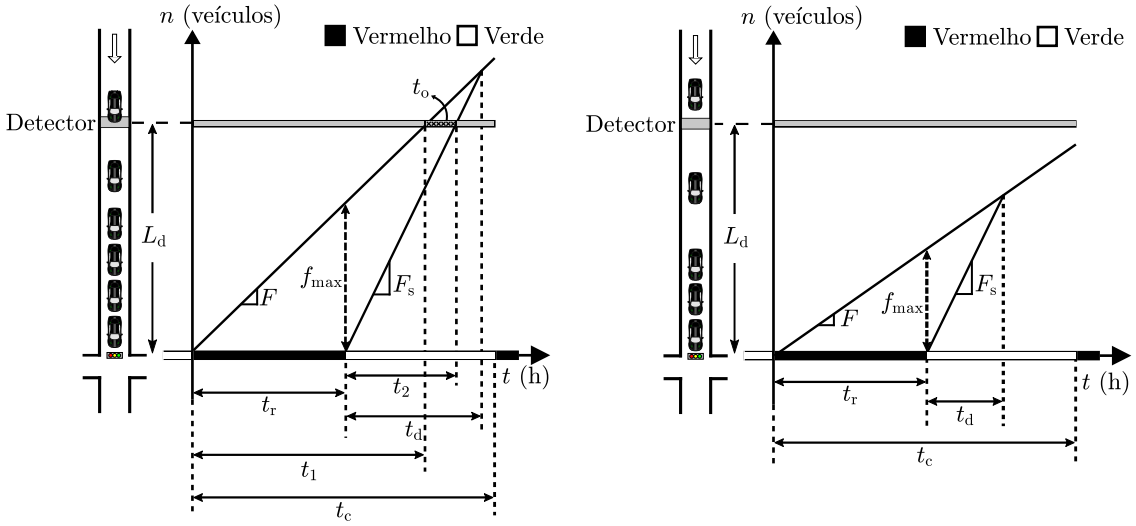
Na seção seguinte é feita a descrição e o desenvolvimento de uma alternativa para estimação do tamanho da fila. O estudo realizado nos trabalhos apresentados na Seção 2 é repetido em um simulador microscópico (estocástico) na Seção 4 e investiga-se:

- Diferentes comprimentos de via para verificar a validade da normalização.
- O efeito do limite de velocidade da via na estimação.
- O formato das curvas e a influência da posição dos detectores.
- A influência da proporção tempo de verde/ciclo.
- O desempenho da nova proposta.

3. NOVA PROPOSTA - MÉTODO DO DIAGRAMA ESPAÇO-TEMPO (MDET)

Para representar o comportamento da fila durante os ciclos é comum utilizar um diagrama espaço-tempo típico (Liu *et al.*, 2009). A Figura 2 apresenta dois diagramas espaço-tempo nos quais o eixo horizontal representa o tempo e o eixo vertical, em vez de representar a distância, representa o número de veículos, assumindo um comprimento efetivo médio para os mesmos. Nos diagramas, as retas com inclinação F representam a taxa de chegada de veículos (veic/h) e as retas com inclinação F_s o fluxo de saturação (veic/h). Além disso, no eixo horizontal, é indicada a temporização semafórica por meio de retângulos preenchidos e vazios para os tempos de vermelho e verde, respectivamente. Assume-se que as acelerações são instantâneas.

Para desenvolver a nova técnica de estimação considerou-se dois casos possíveis: i) o caso em que a cauda da fila atinge o detector, representado na Figura 2(a); ii) o caso em que a cauda da fila não atinge o detector, representado na Figura 2(b). Baseando-se nesses dois casos, pretende-se determinar a fila máxima por meio de uma função que possui como parâmetros principais os



(a) Caso em que a fila atinge o detector (b) Caso em que a fila não atinge o detector

Figura 2: Diagrama espaço-tempo hipotético

dados de ocupação e contagem coletados por um detector localizado em qualquer lugar da via. É uma delimitação deste trabalho tratar apenas o caso em que não há fila residual ao final do ciclo, que por conveniência assumiu-se começar com o início do tempo de vermelho.

3.1. Caso em que a cauda da fila atinge o detector

O primeiro caso, o tempo de dissipação da fila, t_d (h), é suficientemente grande para que a cauda da fila atinja o detector antes de se dissipar. Graficamente significa que a reta com inclinação F intercepta a reta com inclinação F_s acima da linha do detector (Figura 2(a)). Assumindo que a distância do detector até a linha de parada, L_d (veículos), e F_s são conhecidos, tem-se:

$$F_s t_d > L_d. \tag{7}$$

O tempo t_d pode ser deduzido geometricamente a partir da Figura 2(a) e é dado por:

$$t_d = \frac{F}{F_s - F} t_r. \tag{8}$$

Nesta configuração, como a fila de veículos alcança o detector, o tempo em que o detector permanece ocupado com um veículo sobre ele, t_o (h), é determinado a partir da Figura 2(a) e calculado como:

$$t_o = t_2 - (t_1 - t_r) \tag{9}$$

em que t_1 (h) é o tempo transcorrido desde o início do ciclo até o momento em que os veículos alcançam o detector e t_2 (h) é o tempo que decorre desde a abertura do semáforo até que a dissipação da fila atinja o detector. Sendo assim, tem-se:

$$t_1 = \frac{L_d}{F}, \text{e} \tag{10}$$

$$t_2 = \frac{L_d}{F_s}. \tag{11}$$

Substituindo as Equações 10 e 11 na Equação 9 encontra-se o tempo que o detector ficou ocupado com um veículo parado sobre ele em função do fluxo durante o ciclo, dado por:

$$t_o = \frac{F L_d - F_s L_d + F F_s t_r}{F F_s}. \tag{12}$$

Assume-se que a velocidade média, v_d (km/h), com que os veículos cruzam o detector e que o tamanho efetivo médio dos veículos, L_e (km), são conhecidos. Dada a contagem de veículos durante o ciclo, n, o tempo gasto por todos os veículos para cruzar o detector é:

$$t_m = n \frac{L_e}{v_d}. \tag{13}$$

A soma de t_o e t_m fornece uma aproximação para o tempo total que o sensor ficou ocupado durante todo o ciclo, que, dividido pelo tempo de ciclo, t_c (h), fornece a ocupação:

$$o_z = \frac{1}{t_c} \left(\frac{F L_d v_d - F_s L_d v_d + F F_s t_r v_d + n L_e F F_s}{F F_s v_d} \right). \tag{14}$$

Sabe-se que a fila máxima, f_{max}, acontece ao fim do tempo de vermelho (DENATRAN, 2014), portanto é dada por:

$$f_{max} = F t_r. \tag{15}$$

Dessa forma, fazendo uma manipulação algébrica na Equação 14 para isolar F e substituir na Equação 15, encontramos a expressão da fila máxima:

$$f_{max} = \frac{L_d v_d F_s t_r}{n L_e F_s + L_d v_d + t_r v_d F_s - t_c v_d F_s o_z}. \tag{16}$$

É importante salientar que a expressão encontrada para o_z foi obtida em função de variáveis do diagrama. Porém, para a aplicação da fórmula será usado o valor medido de o_z e de n.

3.2. Caso em que a cauda da fila não atinge o detector

No segundo caso, t_d é pequeno suficiente para que a fila se dissipe antes de atingir o detector, isto é, a condição estabelecida pela Equação 7 não é satisfeita e a reta com inclinação F intercepta a reta com inclinação F_s abaixo da linha do detector (Figura 2(b)). Neste caso, não há veículo parado sobre o detector, portanto a ocupação é calculada usando apenas o tempo ocupado pelos veículos em movimento, t_m, dado pela Equação 13. Assim:

$$o_z = \frac{1}{t_c}\left(n\frac{L_e}{v_d}\right). \tag{17}$$

O fluxo F pode ser entendido como o número de veículos que passam na via durante um intervalo de tempo. Quando esse intervalo de tempo equivale ao tempo de ciclo tem-se:

$$F = n/t_c. \tag{18}$$

Assim, isolando n na Equação 18 e substituindo na Equação 17 obtém-se o_z em função de F:

$$o_z = \frac{FL_e}{v_d}. \tag{19}$$

Por conseguinte, a expressão da fila máxima deste caso é obtida isolando-se F na Equação 19 e substituindo-o na Equação 15:

$$f_{max} = \frac{v_d t_r o_z}{L_e}. \tag{20}$$

Nota-se que neste caso f_{max} independe da contagem e novamente ressalta-se que a ocupação utilizada na expressão da fila máxima refere-se à ocupação medida no laço.

4. MODELOS DE SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Para avaliação dos métodos abordados foi utilizado o microsimulador de tráfego AIMSUN (TSS, 2015). Foi modelada uma via com uma faixa de comprimento $l_z \in \{100, 200, 500\}$ m, onde foram instalados seis detectores a laço indutivo identificados na Figura 3 por $D_1, \ldots, D_6$ que fornecem medidas de contagem e ocupação temporal e posicionados em $l_z^s \in \{6, 0{,}2l_z, 0{,}4l_z, 0{,}6l_z, 0{,}8l_z, l_z - 10\}$ m em relação à linha de retenção.

Para cada comprimento de via variou-se o limite de velocidade $v \in \{50, 60, 80\}$ km/h e para cada combinação de l_z e v foi variado o tempo de ciclo $t_c \in \{60, 90, 110\}$ s. Cada combinação resultante foi simulada com tempos de verde t_g (h), tal que $100 \cdot t_g/t_c \in \{25, 50, 75\}$ %.

A demanda foi escolhida de forma a obter, dentro do possível, valores em toda a faixa de tamanho de fila e de ocupação para cada um dos cenários simulados, inclusive apresentando filas residuais em alguns ciclos. A simulação teve duração total de 2 h e foi utilizada uma demanda crescente em forma de escada com oito níveis, aumentando cerca de 165 veic/h a cada nível, atingindo um fluxo de aproximadamente 1330 veic/h no último nível, em cada via. Foram executadas cinco simulações (replicações) para cada cenário.

A avaliação da variação do limite de velocidade mostrou que essa variável não afeta significativamente a estimação do tamanho da fila, pois os valores máximos de ocupação e número médio

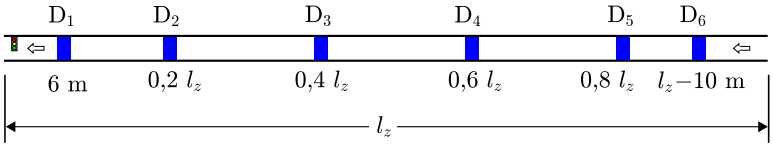


Figura 3: Disposição dos detectores na via normalizada pelo comprimento l_z

de veículos alcançados são aproximadamente os mesmos para os três limites de velocidades, variando levemente a dispersão dos dados em cada replicação. Assim, esses resultados não serão mostrados em detalhes. Nas próximas subseções serão mostradas análises sobre os pontos discutidos na Subseção 2.5.

4.1. Normalização pelo comprimento

A Figura 4 apresenta os resultados do detector D_3 para os três comprimentos de via, com v = 50 km/h, t_c = 60 s e as três proporções de tempo de verde/ciclo. O eixo vertical mostra as filas normalizadas pelo tamanho máximo de fila (número de veículos) de cada via. As vias de 100, 200 e 500 m possuem capacidade de estocagem de 21, 42, e 100 veículos, respectivamente, que foram os valores usados para normalização.

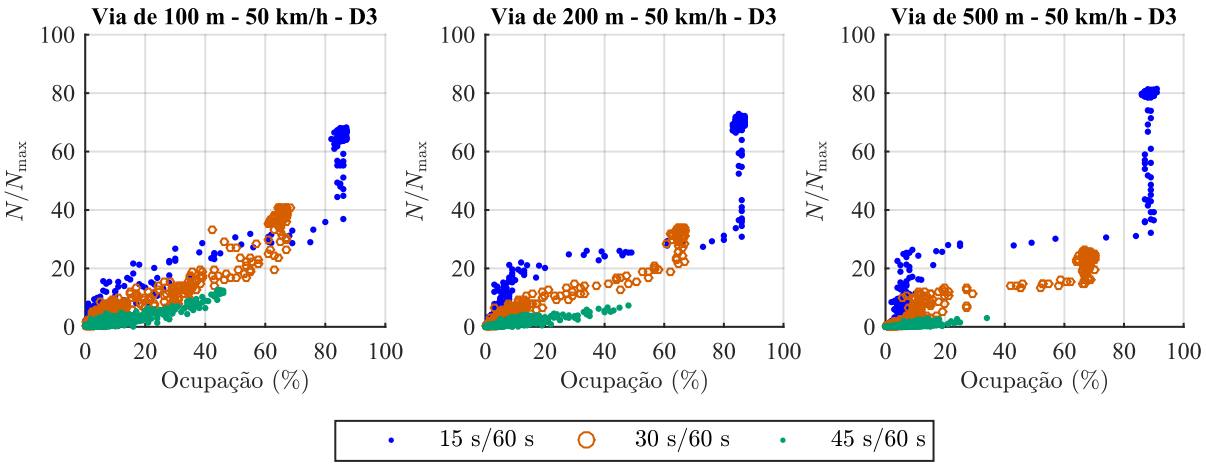


Figura 4: Número médio de veículos na via normalizado pelo valor máximo da fila em cada via em vias de diferentes comprimentos

Percebe-se na Figura 4 que para qualquer uma das três proporções de tempo de verde/ciclo as relações normalizadas são aproximadamente mantidas, com uma tendência de as curvas levantarem um pouco à medida que o comprimento da via aumenta. Nota-se que os pontos relativos à proporção com menor tempo de verde sobem um pouco à medida que o comprimento da via aumenta, pois quanto maior o tempo de vermelho maior é a fila, mesmo aumentando o comprimento da via. Já para as proporções de 50 % e 75 % a tendência é que a nuvem de pontos abaixe um pouco com o aumento do comprimento da via, pois à medida que o comprimento da via aumenta, os veículos levam mais tempo para alcançar a cauda da fila, que é menor devido ao tempo de vermelho ser mais curto. Os resultados são semelhantes para outras combinações.

4.2. Posição do detector

A Figura 5 apresenta os resultados de todos os detectores para l_z = 100 m, v = 50 km/h, t_c = 60 s e as três proporções de tempo de verde/ciclo. Percebe-se que as nuvens de pontos seguem aproximadamente a forma das curvas estabelecidas por Diakaki (Figura 1). Nota-se, porém, que uma mesma curva para um mesmo detector não seria capaz de descrever adequadamente todas as combinações de tempo de verde/ciclo. Os resultados são semelhantes para outras combinações.

Notar que em nenhum dos casos apresentados há dados acima de cerca de 90 % de ocupação e que dependendo da proporção tempo de verde/ciclo há uma mudança na tendência das curvas.

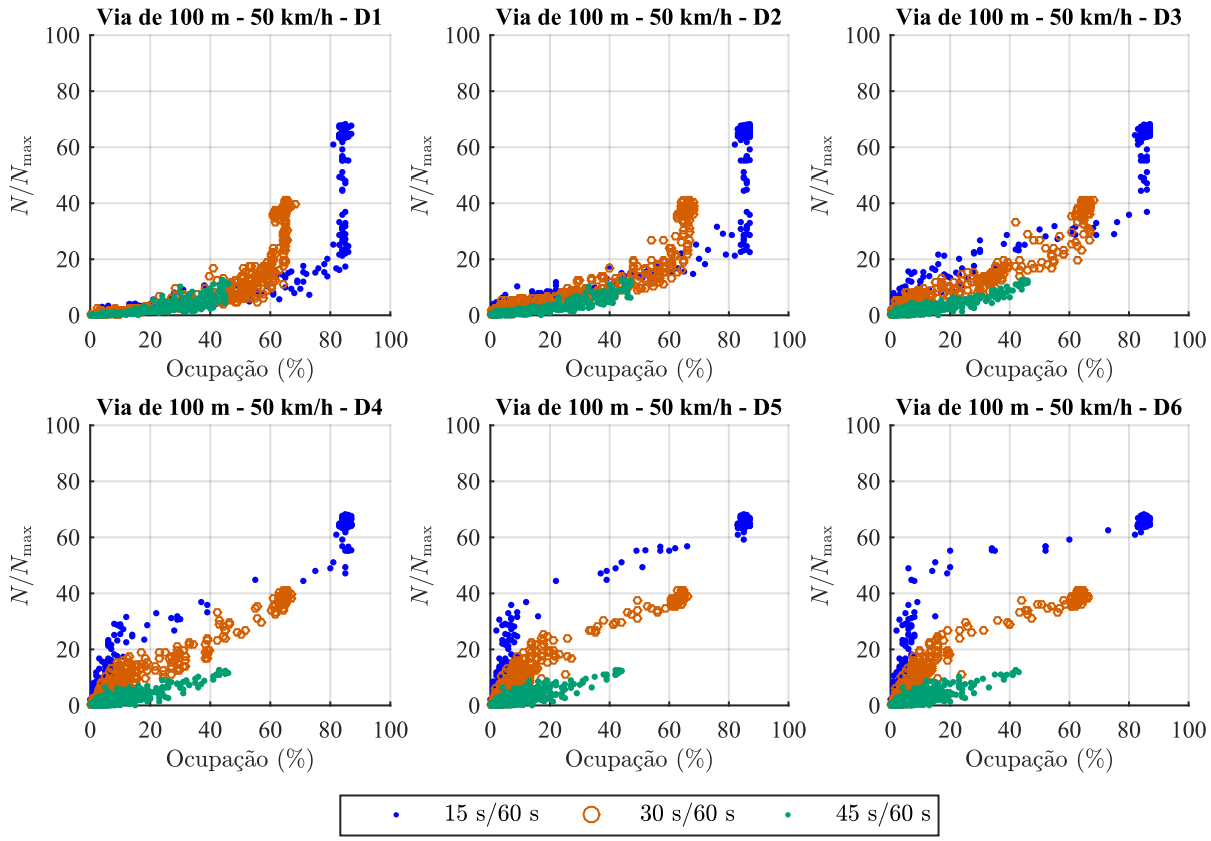


Figura 5: Número médio de veículos na via normalizado pelo valor máximo da fila em cada via com variação na posição dos detectores

Isso está relacionado com a fila máxima e as ondas de choque. A ocupação nos detectores mais próximos ao semáforo aumenta gradativamente ao longo do tempo, a medida que a fila os alcança e passa a cobrir o detector, chegando a uma região de ocupação máxima. Para os detectores mais distantes a fila demora a alcançá-los, portanto possuem uma baixa ocupação nos primeiros ciclos. Quando a fila está grande o suficiente para atingir o detector a ocupação aumenta. Além disso, quando os veículos começam a descarregar, a cauda da fila demora a se mover, pois está distante da linha de parada. Então, devido a esse comportamento da onda de choque a fila não ultrapassa determinado valor.

4.3. Proporção tempo de verde/ciclo

A Figura 6 apresenta resultados do detector D_3 para $l_z = 100$ m, $v = 50$ km/h, três tamanhos de ciclo e três proporções de tempo de verde/ciclo. A despeito da variação do ciclo, as relações para uma mesma proporção de tempo de verde/ciclo mantêm-se, comprovando que o mais relevante para que as relações sejam semelhantes não é o tamanho do tempo de ciclo, mas sim a proporção tempo de verde/ciclo. Além disso, como visto na Figura 5, a diferença das relações em um mesmo sensor para diferentes proporções é mais acentuada para detectores afastados do centro da via. Os resultados são semelhantes para outras combinações.

4.4. Simulações e Testes do Modelo Proposto

Para testar a validade do modelo proposto foram realizadas algumas simulações seguindo as mesmas configurações adotadas na Seção 4, com exceção de que nesta subseção só são exibidos

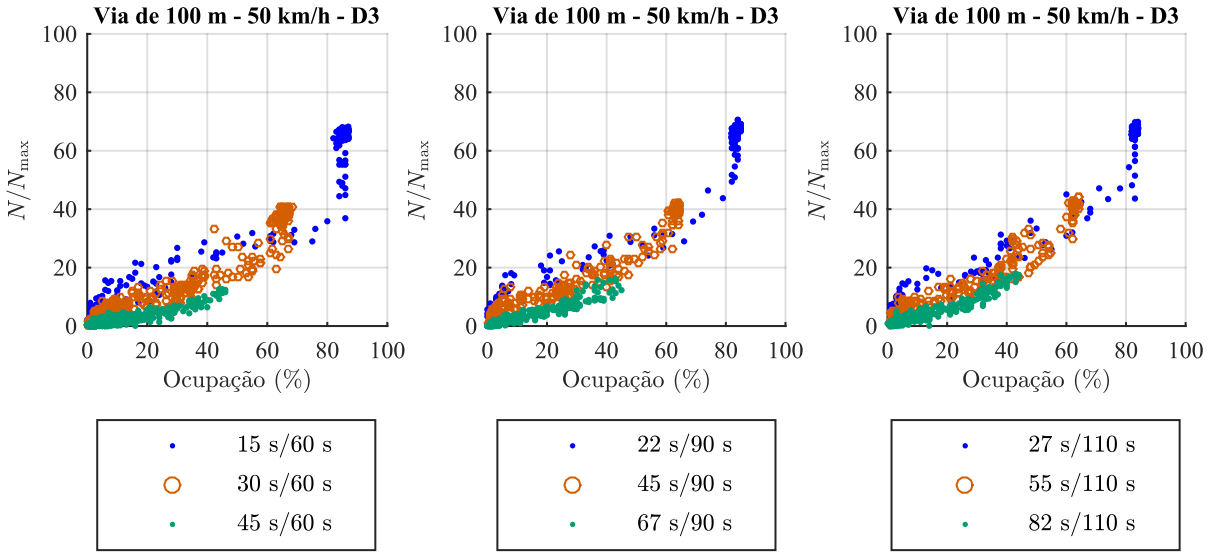


Figura 6: Número médio de veículos na via normalizado pelo valor máximo da fila em cada via com variações do tempo de ciclo

os resultados para uma via de 100 m de comprimento e a demanda foi configurada de modo que não houvesse fila residual durante a simulação.

Na Figura 7 é mostrado o resultado da simulação aplicando o MDET e as curvas dos métodos apresentados na Seção 2, dadas pelas Equações 1, 4, 5 e 6. Foi empregado um ciclo de 60 s com direito de passagem de 30 s. Além disso, a fim de obter o "melhor"resultado, os parâmetros do MFNL, do MFK e do MSE foram ajustados levando em conta os dados com fila residual, de todos os sensores, gerados na simulação descrita no início da Seção 4.

Percebe-se visualmente na Figura 7 que o MDET fornece um melhor resultado em relação aos demais, acompanhando a tendência dos pontos simulados em cada detector, mostrando ser uma boa estimação nas condições testadas. Para quantificar o erro de estimação dos métodos testados foi utilizado o erro quadrático médio relativo (RMSE), definido como:

$$RMSE = 100\% \sqrt{m \sum_{k=1}^{m} [\hat{N}(k) - N(k)]^2} \Bigg/ \sum_{k=1}^{m} N(k) \tag{21}$$

em que m é a quantidade de amostras, $N(k)$ é o número simulado de veículos e $\hat{N}(k)$ é o número estimado de veículos na via.

As Figuras 8(a) e 8(b) apresentam o RMSE relativo para um ciclo de 60 s com tempo de verde de 30 s e 45 s, respectivamente, que são as combinações que não geram fila residual para a demanda escolhida. Entre os métodos abordados ajustados para a proporção verde/ciclo de 30 s/60 s o que apresentou melhor desempenho foi o MFNL. Porém, ao mudar a proporção verde/ciclo, sem reajuste dos parâmetros, o desempenho se deteriorou significativamente quando comparado ao MDET. O MS, o MFK e o MSE tiveram pior desempenho em ambos os casos. Os resultados são similares para outras combinações.

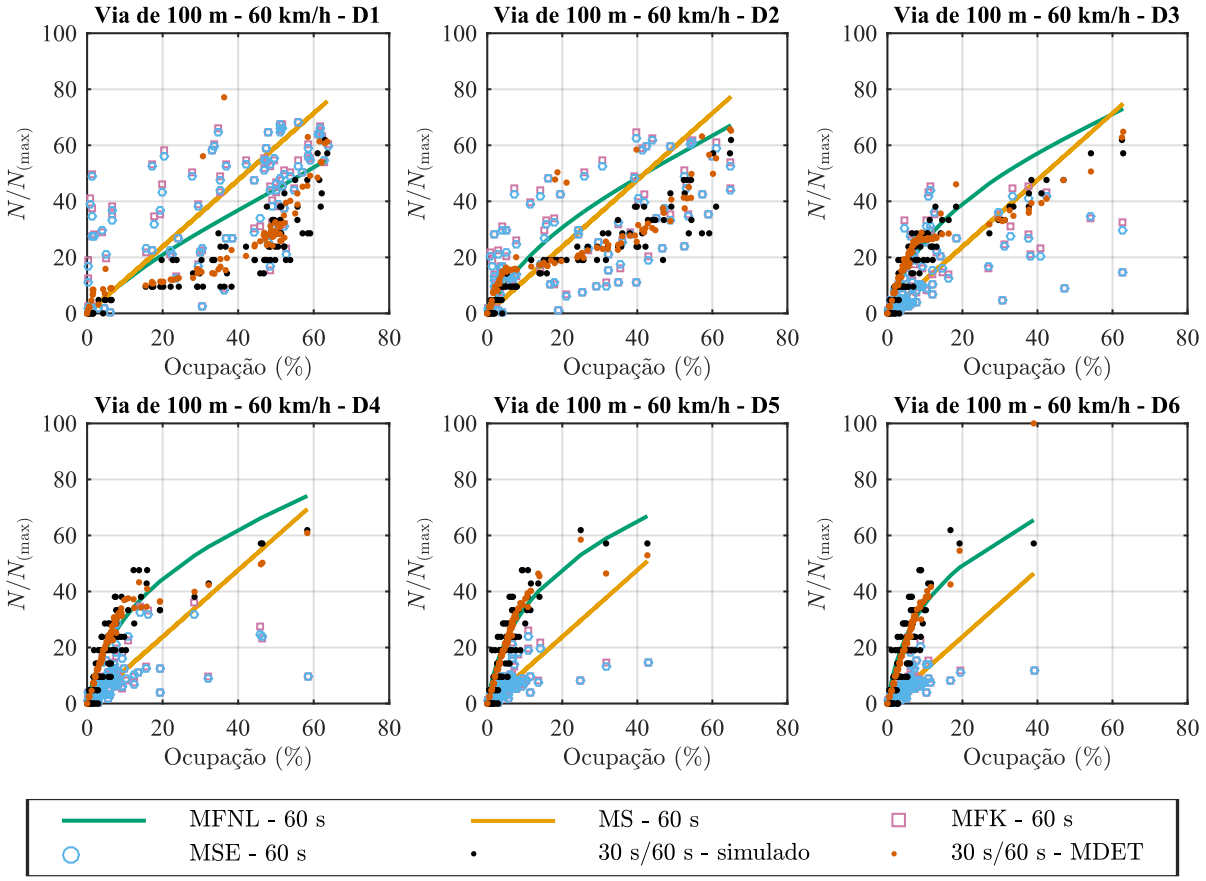


Figura 7: Comparação entre a nova proposta e os métodos abordados

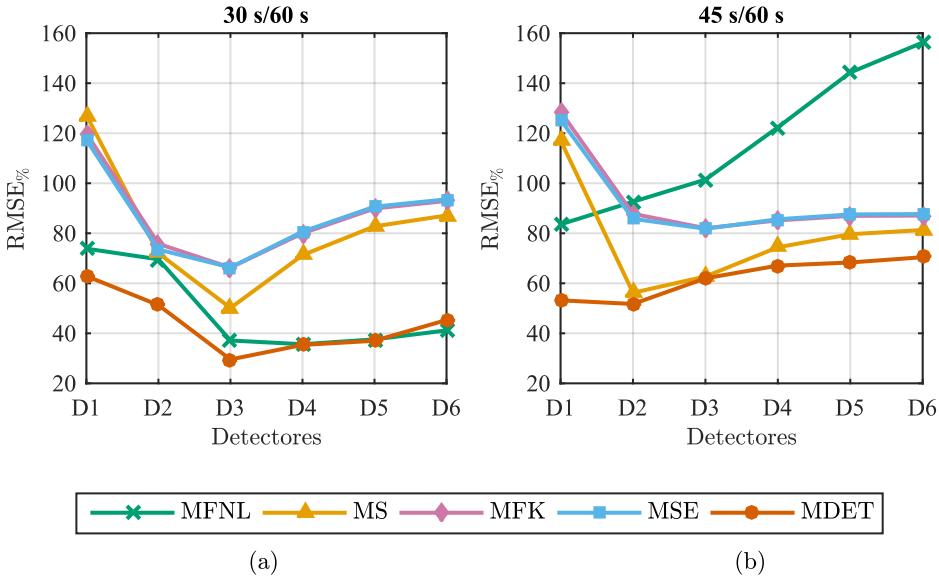


Figura 8: Erro Quadrático Médio Relativo para a configuração (a) 30 s/60 s (b) 45 s/60 s

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Métodos de estimação da fila baseados em apenas um laço detector propostos anteriormente não levaram em consideração alguns aspectos que poderiam influenciar na estimação. A velocidade exerce pouca influência na estimação. Já o comprimento da via apresentou uma pequena variação

na estimação. Percebeu-se também que o tempo de ciclo não importa, mas sim a proporção tempo de verde/ciclo. Assim, foi possível fazer uma normalização que levasse em consideração a proporção verde/ciclo.

A nova proposta baseada em um diagrama espaço-tempo típico foi desenvolvida e os testes realizados revelaram, inicialmente, que o modelo proposto supre algumas limitações dos métodos já existentes, já que leva em consideração diversos parâmetros que não foram incluídos nos métodos abordados, como proporção verde/ciclo, velocidade, dentre outros.

Percebeu-se ainda que o MDET fornece bons resultados para diferentes proporções verde/ciclo sem a necessidade de várias calibrações, comparada com técnicas já existentes, além de ser função de parâmetros que são conhecidos ou facilmente determinados. Foi realizada uma análise de sensibilidade, que por limitação de espaço não é apresentada, revelando que o método é pouco sensível a variações paramétricas. Contudo o método não foi projetado para condições saturadas e com a presença de filas residuais.

Como trabalhos futuros, pretende-se expandir o modelo proposto para o caso com fila residual e também validá-lo com dados de campo.

Agradecimentos
Os autores agradecem o apoio da CAPES e do CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENATRAN (2014) Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito - Volume V - Sinalização Semafórica, p. 301.

Diakaki, C. (1999) Integrated Control of Traffic Flow in Corridor Networks *Ph. D. Thesis, Technical University of Crete, Department of Production Engineering and Management, Chania, Greece*, p. 203.

Dinopoulou, V.; C. Diakaki e M. Papageorgiou (2006) Applications of the Urban Traffic Control Strategy TUC. *European Journal of Operational Research*. v. 175, n. 3, p. 1652–1665.

Klein, L. A.; M. K. Mills e D. R. P. Gibson (2006) Traffic Detector Handbook: Third Edition – Volume I. *Federal Highway Administration (FHWA)*, Department of Transportation, FHWA-HRT-06-108, p. 291.

Kraus Jr., W.; F. A. de Souza; E. B. Kosmatopoulos; E. Camponogara; R. C. Carlson; M. Papageorgiou e L. D. Dantas (2011) Cost Effective Real-Time Traffic Signal Control Using the TUC Strategy. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, v. 2, n. 4, p. 6–17.

Lee, S.; S. C. Wong e Y. C. Li (2015) Real-time Estimation of Lane-based Queue Lengths at Isolated Signalized Junctions. *Transportation Research Part C*, v. 56, p. 1–17.

Liu, H. X.; X. Wu; W. Ma e H. Hu (2009) Real-time Queue Length Estimation for Congested Signalized Intersections. *Transportation research part C: emerging technologies*, v. 17, n. 4, p. 412–427.

Papageorgiou, M. e G. Vigos (2008) Relating Time-occupancy Measurements to Space-occupancy and Link Vehicle-count. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 16, n. 1, p. 1–17.

Salem, H. H.; J. Chrisoulakis; M. Papageorgiou; N. Elloumi e P. Papadakos (1994) The use of METACOR Tool for Integrated Urban and Interurban Traffic Control: Evaluation in Corridor Periphérique, Paris. *Vehicle Navigation and Information Systems Conference*, p. 645–650.

TSS (2015) Manual do Usuário do Simulador AIMSUN. *Transport Simulation Systems, Barcelona, Espanha*.

Vigos, G. e M. Papageorgiou (2010) A Simplified Estimation Scheme for the Number of Vehicles in Signalized Links. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 11, n. 2, p. 312–321.

Vigos, G.; M. Papageorgiou e Y. Wang (2008) Real-time Estimation of Vehicle-Count Within Signalized Links. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 16, n. 1, p. 18–35.

Wu, A. e X. Yang (2013) Real-time Queue Length Estimation of Signalized Intersections Based on RFID Data. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 96, p. 1477–1484.

Zanin, M.; S. Messelodi e C. M. Modena (2003) An Efficient Vehicle Queue Detection System Based on Image Processing. *12th International Conference on Image Analysis and Processing*, p. 232–237.

CALIBRAÇÃO DO MODELO DE ACEITAÇÃO DE *HEADWAYS* EM INTERSEÇÕES URBANAS COM O MICROSSIMULADOR DE TRÁFEGO VISSIM

Alessandro Macêdo de Araújo
Manoel Mendonça de Castro Neto
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Este artigo tem como objetivo principal propor um método para a modelagem do processo de aceitação de *headways* em interseções urbanas perpendiculares não semaforizadas com o uso do microssimulador VISSIM. O método proposto de calibração e validação tem como medida-alvo o tempo que o motorista leva no processo de avaliação dos *headways*, ou seja, o tempo de espera enquanto está na primeira posição da fila. O método foi aplicado em uma interseção da cidade de Fortaleza. Os resultados indicaram valores do parâmetro *minimum gap time* de 3,8 e 3,3 segundos para os movimentos seguir em frente e conversão à direita, respectivamente. O segundo objetivo deste trabalho foi comparar o método proposto com o método de calibração mais convencional, no qual a medida-alvo é uma medida de desempenho do tráfego, como o tamanho médio da fila. O método proposto neste trabalho apresentou melhores resultados.

ABSTRACT
The main objective of this paper is to propose a method to model headway acceptance in urban two-way stop controlled intersections using VISSIM microscopic simulator. The proposed method of calibration and validation is based on the time that the driver takes in the process of headway acceptance, that is, on the time that it stays in the first position of the queue. The proposed method was applied to an intersection in the city of Fortaleza. The results indicated minimum gap time values of 3.8 and 3.3 seconds for the through and right turn movements, respectively. The second objective of this paper is to compare the proposed calibration procedure with the conventional one, in which the calibration target is a traffic measure of effectiveness, such as the average queue length. The proposed method yielded the better results.

1. INTRODUÇÃO

A modelagem do tráfego urbano tem como objetivo primordial representar a formação e a descarga das filas nas interseções. Para interseções não semaforizadas (INS), as filas nas aproximações secundárias dependem fortemente do comportamento de aceitação dos *headways* da via principal pelos motoristas da via secundária. É a partir do processo de aceitação dos *headways*, juntamente com a demanda veicular na interseção e suas características físicas, que o comportamento da fila é modelado.

O *software* de microssimulação VISSIM versão 9.0 (PTV, 2016) disponibiliza dois modelos de aceitação de *headways*: o *conflict areas*, ou áreas de conflito (AC), cuja abordagem é mais complexa, com maior quantidade de parâmetros ajustáveis; e o *priority rules*, ou regras de prioridade (RP). Independente do modelo selecionado, a sua calibração é condição essencial para a estimação adequada das medidas de desempenho do tráfego.

Comumente, a calibração de parâmetros de um modelo de microssimulação tem como medida-alvo (medida cujos erros entre os valores simulados e observados em campo são minimizados) a própria medida de desempenho do tráfego que se pretende estimar, como o tempo de viagem, o atraso veicular, o comprimento de fila ou a capacidade (Liu *et al.*, 2012; Lidbe *et al.*, 2016). A grande desvantagem deste procedimento de calibração é que estas medidas de desempenho podem ser bastante sensíveis a outras variáveis que não estão diretamente relacionadas ao processo de aceitação de *headways*, como a própria demanda na via secundária e o espaçamento entre os veículos quando estão em fila. Portanto, se estes e outros fatores não estão bem representados no simulador, os valores calibrados para os

parâmetros do modelo de aceitação de *headways* provavelmente não serão adequados, pois a calibração tentará compensar os erros de representação destes fatores por meio de valores irreais dos parâmetros.

Com base no que foi exposto, o objetivo principal deste trabalho é propor um método para modelagem do processo de aceitação de *headways* em interseções não semaforizadas urbanas perpendiculares, com o uso do microssimulador VISSIM. Um segundo objetivo deste trabalho é comparar a calibração proposta com a calibração que tenha como medida-alvo uma medida de desempenho do tráfego, como tamanho médio de fila, abordagem essa mais comum.

2. MODELAGEM DE ACEITAÇÃO DE *HEADWAYS*

A etapa inicial da representação do tráfego em uma INS consiste na modelagem do processo de aceitação de *headways*, cujos parâmetros principais são o *headway* crítico e o tempo de *follow-up*. Basicamente, existem três formas de se estimar os valores destes parâmetros. A primeira se dá por meio da coleta em campo de uma variável fortemente relacionada com o conceito de *headway* crítico. Um exemplo é o método proposto por Raff (Garber e Hoel, 1996), que define o *headway* crítico como sendo o valor de *headway* tal que a quantidade de *headways* aceitos com duração menor que ele é igual à de *headways* rejeitados com duração maior que ele.

A segunda forma de estimação se dá por modelos empíricos como os propostos pelo HCM2010 (TRB, 2010), nos quais o valor de *headway* crítico e tempo de *folow-up* são função das características da interseção e da demanda, como geometria, tipo de conversão analisado, greide e porcentagem de veículos pesados. Uma vantagem de modelos deste tipo é que os mesmos vêm sendo calibrados e validados há bastante tempo, embora primordialmente no contexto norte-americano. Porém, uma das desvantagens, além da inexistência de esforços de validação e de adaptação para a realidade brasileira, é que esses modelos se limitam a situações padrões que podem não representar satisfatoriamente as particularidades do cruzamento em estudo (Tarko e Tian, 2003; Depiante e Galarraga, 2012), como a suposição de que os *headways* na via principal seguem a distribuição de probabilidade exponencial negativa.

A terceira maneira se dá por microssimulação, na qual o *headway* crítico é estimado por tentativa e erro, tendo como objetivo a minimização dos erros de estimação de uma medida-alvo. Como mencionado anteriormente, sugere-se neste trabalho utilizar medidas-alvo que isolem o efeito de fatores externos. Para o caso em questão, deve-se selecionar uma medida que dependa fortemente dos valores do *headway* crítico e que não dependa de outros fatores. Uma busca deste tipo de calibração foi apresentada por Viti *et al.* (2013), que utilizaram como medida-alvo para calibrar um parâmetro de *headway* crítico no VISSIM (*min_gap_time*) o tempo de viagem necessário para os veículos da aproximação secundária se inserirem no fluxo principal, cronometrado a partir do local onde o veículo se posiciona para esperar por um *headway* aceitável até uma seção a jusante localizada longe o suficiente para os veículos completarem sua fase de aceleração. Porém, vale ressaltar que, apesar desta medida-alvo não depender fortemente da demanda da via secundária, ela possui a desvantagem de depender dos perfis de aceleração dos veículos.

Como dito anteriormente, o VISSIM oferece dois modelos de aceitação de *headways*: o *regras de prioridade* (RP), que considera basicamente um parâmetro relacionado ao *headway*

crítico; e o *áreas de conflito* (AC), que utiliza nove parâmetros para simular a antecipação dos condutores no processo de aceitação dos *headways*. No modelo AC, é incorporado também o nível de colaboração dos motoristas da via principal na não obstrução da interseção e na desaceleração frente aos conflitos, corroborando as conclusões obtidas por Mohan e Chandra (2016) a respeito da influência dos veículos da secundária sobre veículos do fluxo principal em cruzamentos não semaforizados.

Apesar de ser possível evitar a obstrução da interseção utilizando o RP, somente o modelo AC permite a especificação da proporção dos motoristas da via principal que buscam não bloqueá-la quando há congestionamento. Também apenas o modelo AC incorpora a questão da visibilidade na interseção, mas de tal forma que a partir de determinada posição na aproximação os condutores possuem plena visão da corrente de tráfego conflitante.

Contudo, apesar de ser mais simples, o modelo RP possui os principais elementos necessários para a modelagem do tráfego em cruzamentos urbanos não semaforizados típicos, onde a distância de visibilidade é pequena (ou seja, os veículos da aproximação secundária precisam se aproximar bastante da interseção para conseguirem observar o fluxo conflitante), anulando assim os benefícios em se utilizar o AC para este quesito. Esta talvez seja a razão pela qual na literatura são encontrados apenas trabalhos de calibração utilizando o modelo RP, com destaque para Liu *et al.* (2012) e Viti *et al.* (2013). Alguns dos atributos do modelo RP estão descritos a seguir e mostrados na Figura 1:

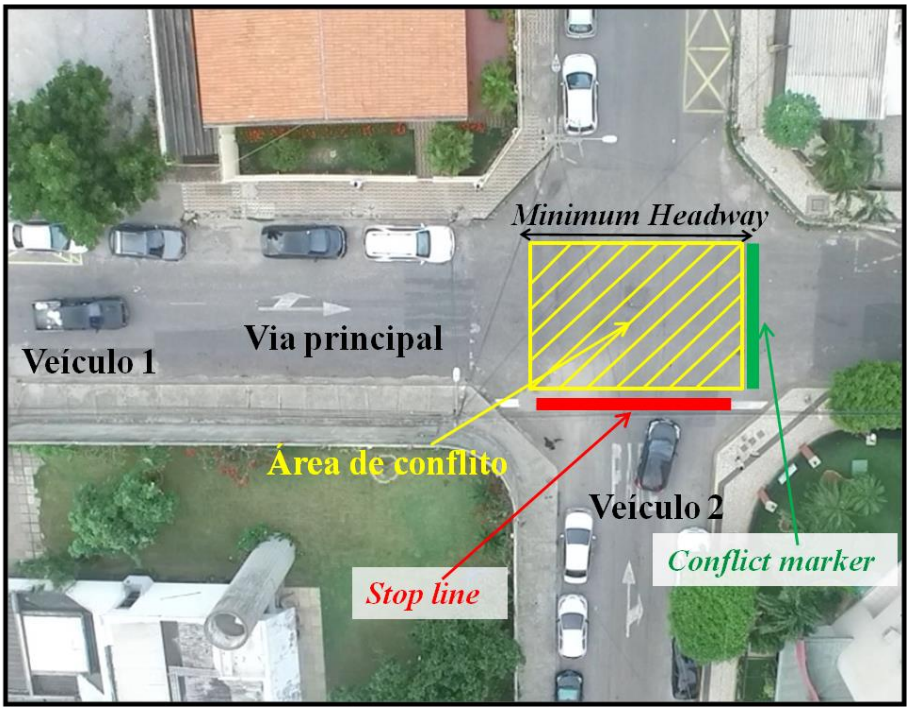


Figura 1: Interseção não semaforizada modelada com o modelo RP do VISSIM

- *Conflict marker*: é a seção de referência para determinação do *headway* disponível;
- *Stop line*: é a seção que define o local de parada dos veículos nas aproximações secundárias;
- *Min_gap_time*: é o mínimo intervalo de tempo, entre o *conflict marker* e o veículo mais próximo que está trafegando em direção a ele, para que o *headway* seja aceito;

- *Minimum headway*: é a mínima distância entre o *conflict marker* e o veículo da via principal (veículo 1) a montante para que seja permitida a passagem do veículo da aproximação secundária (veículo 2). Ou seja, esse parâmetro impede a entrada do veículo 2 na área de conflito quando ela estiver ocupada; e
- *Maximum speed*: é o limite de velocidade acima da qual os veículos da via principal não são considerados na avaliação dos *headways*. Ou seja, mesmo se o *headway* disponível não for aceitável, o veículo 2 irá atravessar a interseção caso o veículo 1 esteja trafegando a uma velocidade maior que a definida pelo parâmetro.

Como notação adotada para este trabalho, a aproximação/via principal e os veículos provenientes dela serão identificados pelo índice "1", enquanto a aproximação/via secundária e seus veículos serão representados pelo índice 2, como mostra a Figura 1.

No trabalho de Liu *et al.* (2012), o *min_gap_time* foi calibrado simultaneamente com os parâmetros velocidade média na conversão e proporção de escolha por cada faixa de destino de veículos que realizam retorno em interseções não semaforizadas, tendo como medida-alvo a capacidade do movimento, com dados de 13 interseções. Calibrações simultâneas podem resultar em valores irreais dos parâmetros, já que diferentes combinações de valores podem gerar erros de calibração baixos. No estudo de Viti *et al.* (2013), que utilizaram como medida-alvo o tempo de viagem do primeiro veículo da fila para se inserir na via principal de cruzamentos em T, foram ajustadas algumas funções que relacionam o *min_gap_time* com a demanda da via principal.

3. MÉTODO EMPREGADO

O método adotado neste trabalho é composto de três fases. A primeira consistiu na *compreensão do modelo* RP, com base em revisão bibliográfica e em simulações preliminares que incluíram análises de sensibilidade dos parâmetros.

A segunda fase do método teve como objetivo principal *estabelecer a estratégia de calibração e de validação* do modelo. Inicialmente foram escolhidos os parâmetros a serem calibrados, como também a medida-alvo de calibração que isolasse os efeitos de outros fatores e cuja coleta fosse viável. Em seguida, foram estabelecidos os critérios para avaliar a qualidade do ajuste para a calibração e validação, podendo ser uma simples medida de erro ou um teste estatístico para verificar a aderência dos dados observados em campo à distribuição de probabilidade que geraram os dados simulados.

A terceira e última fase do método foi a realização da *calibração e da validação do modelo*. O primeiro passo desta fase foi a coleta dos dados de demanda, das medidas-alvo e da infraestrutura. Antes da calibração, recomenda-se realizar a comparação entre as distribuições de frequência modelada no simulador e observada em campo dos *headways* da aproximação principal, já que a aceitação de *headways* é bastante dependente do padrão de chegada dos veículos da via principal (Kyte *et al.*, 2003; TRB, 2010; Elefteriadou, 2014). Para a comparação entre os valores simulados e observados na fase de validação, propõe-se o uso de intervalos de confiança (IC) em vez de testes de hipóteses de igualdade das médias, pois o IC além de oferecer o resultado do referido teste de hipótese – bastando verificar se o zero pertence ao intervalo –, ele também oferece uma estimativa intervalar para a diferença, ou seja, além da significância estatística, ele apresenta a significância prática. O procedimento de calibração e validação foi aplicado separadamente para cada movimento proveniente da

aproximação secundária, já que o tipo de conversão é um dos fatores que influenciam o processo de aceitação de *headways* (TRB, 2010; Elefteriadou, 2014).

Ao final, o método de calibração proposto será comparado com o método convencional, em que a medida-alvo é a medida de desempenho do tráfego que se deseja estimar, como tamanho médio de fila ou atraso. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi criada uma rotina computacional em linguagem de programação *Python*, que possui fácil acesso e manipulação aos objetos e funções do VISSIM por meio de interface *COM*.

4. APLICAÇÃO DO MÉTODO E RESULTADOS

Para melhor estimar o *headway* crítico na aproximação secundária, optou-se por aplicar o método proposto em uma interseção cujo fluxo principal chegasse à interseção de forma mais aleatória possível, pois a chegada em pelotões permitiria que os veículos da secundária se inserissem apenas após a passagem de todo o grupo e, portanto, pouco dependeria do *headway* crítico dos condutores. Na escolha da INS, tomou-se como referência o banco de dados contendo a localização dos semáforos de Fortaleza. A INS selecionada foi a do cruzamento entre as ruas Pereira Valente (via principal) e Coronel Linhares, ambas de sentido único, indicada na Figura 2 pelo sinal de "Pare". A Figura 2 também mostra os semáforos mais próximos dessa interseção.

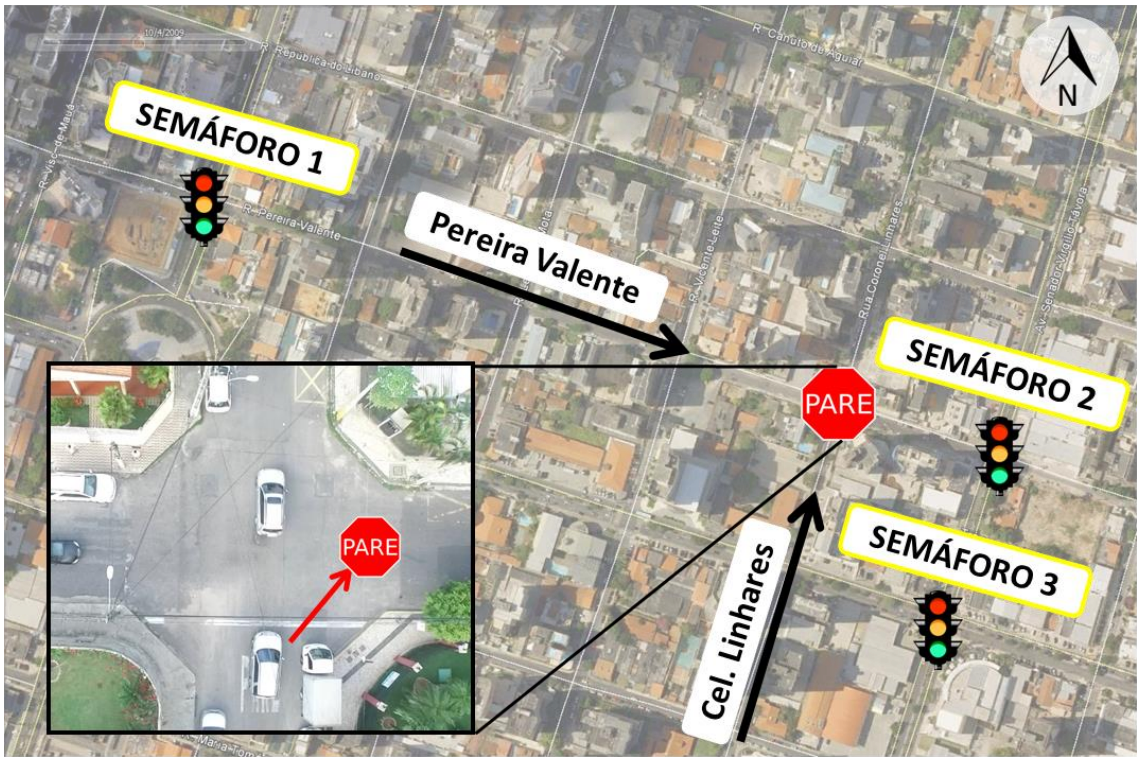


Figura 2: Interseção não semaforizada do estudo de caso

4.1 Compreensão do modelo RP

A INS escolhida e os semáforos mais próximos que influenciam na operação dela foram codificados, exceto o semáforo 1, pois foi observado que a chegada dos veículos na Rua Pereira Valente não ocorre em pelotões. Isso acontece porque ela é uma via secundária nos três cruzamentos a jusante do semáforo 1 e devido à entrada de veículos provenientes dessas três interseções, tornando a chegada dos veículos 1's com padrão mais aleatório. As

programações semafóricas foram definidas conforme os dados cedidos pelo Controle de Tráfego em Área de Fortaleza (CTAFOR).

Com base na definição dos parâmetros apresentada no manual da PTV (2016), o parâmetro *min_gap_time* é o único do modelo RP a influenciar a operação de interseções não semaforizadas onde não há congestionamento na via principal, como é o caso da interseção em estudo. Tal fato foi confirmado com uma análise de sensibilidade dos dois outros parâmetros, *minimum headway* e *maximum speed*, da qual se pôde concluir que não houve efeito dos mesmos no atraso, no comprimento de fila nem na capacidade da aproximação secundária, enquanto o impacto do *min_gap_time* foi, como esperado, bastante acentuado.

4.2. Desenvolvimento do método de calibração e validação

A partir do que foi compreendido com base na revisão bibliográfica e no entendimento da aplicabilidade do modelo RP para a interseção em estudo, iniciou-se o desenvolvimento do método de calibração do parâmetro *min_gap_time*.

A medida-alvo proposta neste trabalho para se calibrar o *min_gap_time* é o tempo de espera do veículo enquanto avalia os *headways* da principal, ou seja, é o tempo de espera enquanto o veículo está na primeira posição da fila – doravante denominada apenas como "tempo de espera". Esta medida-alvo difere da utilizada por Viti *et al.* (2013) porque o instante inicial do intervalo de tempo é definido pela passagem da frente do veículo 2 por uma seção de controle localizada na aproximação secundária e o instante final é determinado pela passagem da traseira dele pela mesma seção. Neste trabalho aqui apresentado, a utilização do tempo de espera como medida-alvo diminui significativamente a influência da aceleração dos veículos na estimativa do *min_gap_time*, fazendo com que a medida-alvo escolhida seja afetada basicamente apenas pelo parâmetro a ser calibrado, o que é desejável.

A seção da faixa de retenção foi tomada como referência para as medições do tempo de espera em campo, pois a sua marcação no pavimento facilita a identificação dos instantes que definem o intervalo a ser registrado. No caso dos veículos que pararam antes dela, a seção de controle considerada foi aproximadamente aquela na qual se atingiu a velocidade nula.

Na simulação, a localização da seção de referência para obtenção dos dados do tempo de espera (*data collection points*) foi escolhida de forma que os veículos da via secundária, ao parar para avaliar *headways*, parem sobre ela. Tal seção não poderia coincidir com a faixa de retenção (*stop line*) do modelo porque a maioria dos veículos param a montante dela. Em contrapartida, a seção não poderia ser posta muito antes porque o tempo de espera começaria a ser contabilizado precocemente.

As observações do tempo de espera obtidas no simulador foram ajustadas, a fim de descontar parte do tempo de desaceleração dos veículos 2's contabilizado nos dados modelados. O valor desse ajuste foi estimado de tal forma que, ao subtraí-lo das observações simuladas, a diferença absoluta entre as médias da medida-alvo obtida em campo e no modelo fosse mínima, considerando apenas os veículos que pararam momentaneamente e aceitaram o primeiro *headway* disponível, representando assim uma situação que depende exclusivamente de fatores externos ao processo de aceitação de *headways*. O intuito desta correção é tornar as observações simuladas equiparáveis às obtidas em campo, evitando a superestimação causada pelo tempo excessivo de desaceleração dos veículos 2's computado em forma de tempo de

espera modelado. O ajuste necessário nos tempos de espera simulados foi de 2,5 s para o movimento seguir em frente e 3,0 s para a conversão à direita.

Tanto para a verificação dos *headways* na via principal quanto na calibração e na validação do modelo, as distribuições observada em campo e simulada da variável em questão (*headway* ou tempo de espera) foram comparadas por meio da estatística χ^2, com nível de significância de 5%.

Cabe ressaltar um importante contraponto ao que é comumente encontrado na literatura, onde as frequências da distribuição dos dados observados em campo são consideradas como as frequências esperadas (Jie *et al.*, 2013) no cômputo da estatística χ^2. Neste artigo sugere-se utilizar as frequências segundo as classes da distribuição dos dados simulados como as frequências esperadas, pois o teste de aderência deve avaliar se os dados observados em campo podem ser considerados uma amostra da distribuição de probabilidade da variável gerada pelo modelo de simulação. O mesmo acontece quando se testa se uma variável pode ser bem representada por uma distribuição de probabilidade: tomam-se as frequências segundo o modelo de probabilidade como as frequências esperadas, e não o contrário. Além disto, tratar a distribuição simulada como frequências esperadas possibilita a obtenção de quantas observações forem desejadas, obtendo-se assim frequências esperadas mais representativas da população definida pelo modelo.

Para a calibração e validação, estimou-se a diferença entre as médias dos valores simulados e observados da variável tempo de espera, sendo a validação apoiada pela estimação intervalar dessa diferença, com grau de confiança de 95%.

4.3. Calibração e validação do modelo de aceitação de *headways*

Conforme o método de calibração e validação estabelecido, foram coletadas as variáveis *headways* entre os veículos da via principal, os tempos de espera e os volumes nas duas aproximações. O tráfego na interseção foi filmado por meio de um *drone* do modelo Phantom 3 com estabilizador triaxial, em dois dias, totalizando uma hora de vídeo, e por meio de câmeras, em um terceiro dia, durante aproximadamente 1h – porém apenas os 30 minutos com intensidade de tráfego semelhante foram utilizados –, sendo metade destinada à calibração e a outra metade à validação do modelo. As filmagens ocorreram nos dias 18 de janeiro e 01 de março de 2016 e 25 de maio de 2017 (segunda, terça e quinta-feira, respectivamente), entre 16h e 17h. Para os dados de demanda foram coletados os fluxos direcionais e classificatórios nas duas aproximações.

Os valores dos parâmetros comportamentais do VISSIM *desired speed* e dos parâmetros *ax*, *bx_add* e *bx_mult* do modelo de *car-following* foram obtidos dos estudos de Lacerda e Castro-Neto (2014) e Lacerda (2016), que foram calibrados para vias de Fortaleza localizadas relativamente próximas ao local de estudo.

Como mencionado anteriormente, a verificação do padrão de chegada dos veículos do fluxo principal é fundamental devido à sua grande influência no processo de aceitação de *headways*. A comparação entre as distribuições simulada e observada dos *headways* foi feita pelo teste χ^2 com nível de significância de 5%, com nove classes. O χ^2 obtido (12,2) foi inferior ao valor crítico de 15,5, portanto a hipótese de que a amostra coletada em campo possui a mesma

distribuição de probabilidade gerada pelo modelo não foi rejeitada, o que permitiu prosseguir com a calibração do modelo de aceitação de *headways*.

Para cada valor de *min_ gap_time* foram executadas 300 replicações com duração de 30 minutos cada, mais dois minutos de período de *warm-up*. Iniciou-se a calibração a partir de cenários com o valor de *min_gap_time* múltiplo de 0,5 s, incluindo o *default* de 3,0 s. Com base nos melhores desses cenários iniciais, ou seja, aqueles com menor valor de χ^2 e menor diferença absoluta entre as médias amostrais, foram testados outros casos considerando variações de 0,1 s no parâmetro, refinando assim a busca pelo valor ótimo.

As curvas obtidas para a estatística χ^2 e para as diferenças entre as médias amostrais da medida-alvo de campo e simulada correspondentes ao movimento seguir em frente são mostradas na Figura 3 – por motivo de espaço, a figura para o movimento de conversão foi suprimida. No cálculo dessas médias, foram desconsiderados os veículos que pararam apenas momentaneamente, tanto porque são menos influenciados pelo valor do parâmetro e representam, no caso dessa INS, uma grande parcela das observações, quanto porque as médias dessa classe já foram compatibilizadas devido ao ajuste nos tempos de espera.

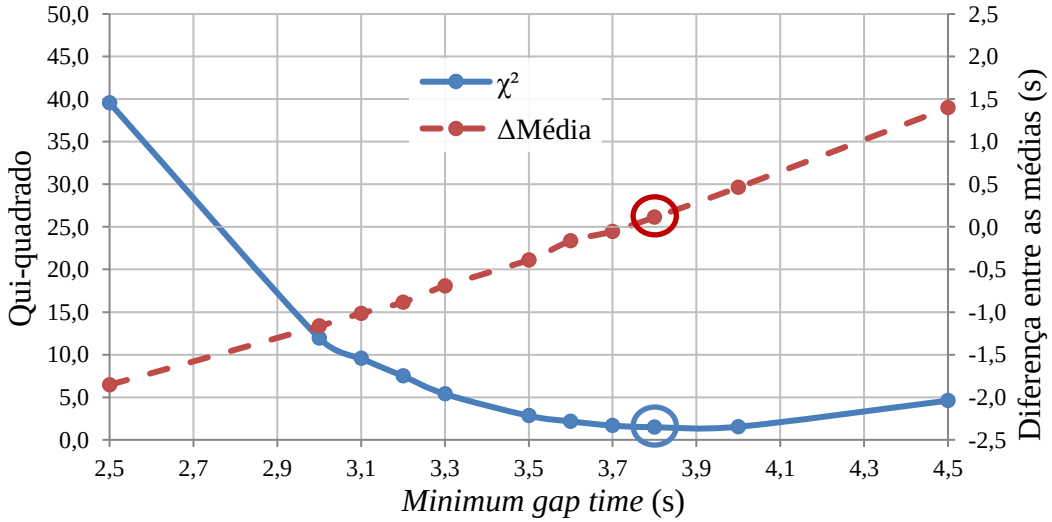


Figura 3: Calibração – movimento seguir em frente

Dentre os valores testados para o *min_gap_time*, apenas o de 2,5 s correspondeu a um χ^2 superior ao crítico, que neste caso é igual a 12,6 (α = 5% e gl = 6), o que ocorreu porque χ^2 parcial da última classe foi superestimado devido à baixa frequência modelada. Além disto, esse cenário correspondeu a uma diferença absoluta entre as médias do tempo de espera elevada. Para valores de *min_gap_time* entre 3,6 e 4,0 s percebem-se variações desprezíveis na estatística χ^2, porém não insignificantes para a diferença entre as médias. Assim, com base em ambos os critérios, adotou-se o valor de 3,8 s para o parâmetro (em destaque na figura), correspondendo ao menor χ^2 e a uma pequena diferença entre as médias amostrais simulada e observada.

De forma análoga, realizou-se a calibração do parâmetro para a conversão à direita. Dentre os cenários avaliados para esse movimento, apenas os valores de 2,5 e 4,5 s corresponderam a um χ^2 superior ao crítico (igual a 11,1), além de terem apresentado as maiores diferenças

absolutas entre as médias da medida-alvo. Os menores valores de χ^2 foram obtidos com *min_gap_time* entre 3,1 e 3,8 s, sendo o valor de 3,3 s o que resultou no menor χ^2 e a segunda menor diferença absoluta entre as médias amostrais. Atribuindo-se maior peso à comparação entre as distribuições e considerando que 0,05 s de diferença absoluta entre as médias é irrelevante, adotou-se 3,3 s como o valor calibrado para o parâmetro. O valor ótimo neste caso foi inferior ao obtido para o movimento de seguir em frente, em acordo com o esperado (TRB, 2010). Isto ocorre porque a área de conflito nesse caso é menor, ocorrendo principalmente na faixa de tráfego mais próxima.

Para a validação do modelo foram obtidas as três distribuições dos tempos de espera do primeiro veículo da fila mostradas na Figura 4 (N = 171 observações): coletada em campo, obtida pelo modelo com o *min_gap_time* calibrado (3,8 s) e a com o parâmetro com valor *default*, para o movimento seguir em frente.

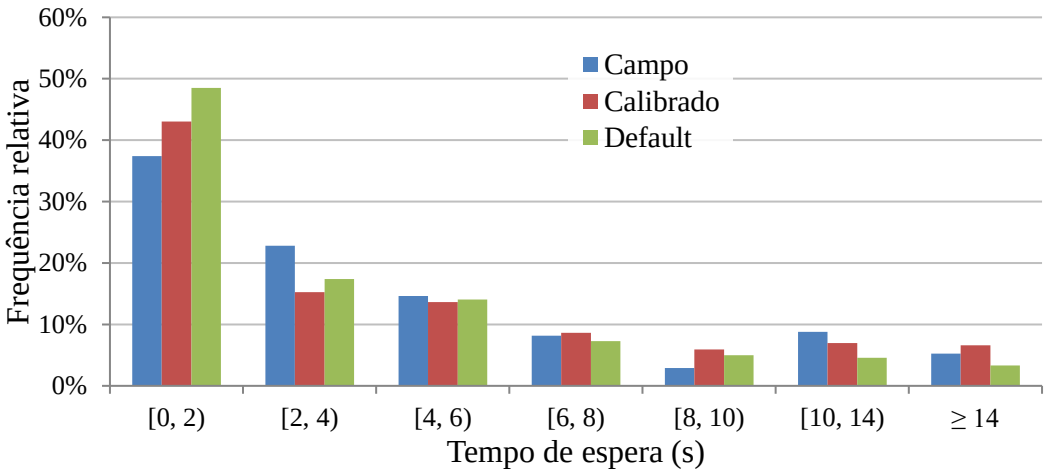


Figura 4: Validação – movimento seguir em frente

Como é possível perceber, a aderência entre a distribuição de campo e a com o parâmetro calibrado foi satisfatória, correspondendo a uma estatística χ^2 de validação igual a 11,7, resultando na não rejeição da hipótese nula de que a amostra observada pode ser bem representada pelo modelo de simulação; já a distribuição com valor *default* se distanciou mais, principalmente nas classes das extremidades, cuja hipótese nula foi rejeitada com χ^2 de 17,6. A média dos tempos de espera simulados pelo modelo calibrado foi de 7,7 s, enquanto a média obtida em campo foi de 6,7 s, com um intervalo de confiança de 95% para a diferença entre as médias igual a [-1,9 s; -0,1 s]. Portanto, embora o zero não esteja contido no intervalo, seus limites indicam que a média dos tempos de espera modelados e observados sejam similares.

As distribuições da medida-alvo obtidas para a conversão à direita são apresentadas na Figura 5 (N = 87 observações). Nesse caso, a aderência entre as distribuições observada em campo e simulada com parâmetro calibrado foi melhor do que para o movimento de seguir em frente, com χ^2 de validação de apenas 5,7, enquanto a aderência da distribuição com valor *default* foi menos satisfatória porém também sem rejeição da hipótese nula, já que esse valor (3,0 s) é próximo ao calibrado (3,3 s). Ambas as médias das amostras obtida em campo e simulada foram iguais a 6,6 s, com um IC de 95% para a diferença entre as médias igual a [-1,1 s; 1,0 s]. Portanto, há indícios para se acreditar que as médias populacionais do tempo de espera simulado e observado são muito similares.

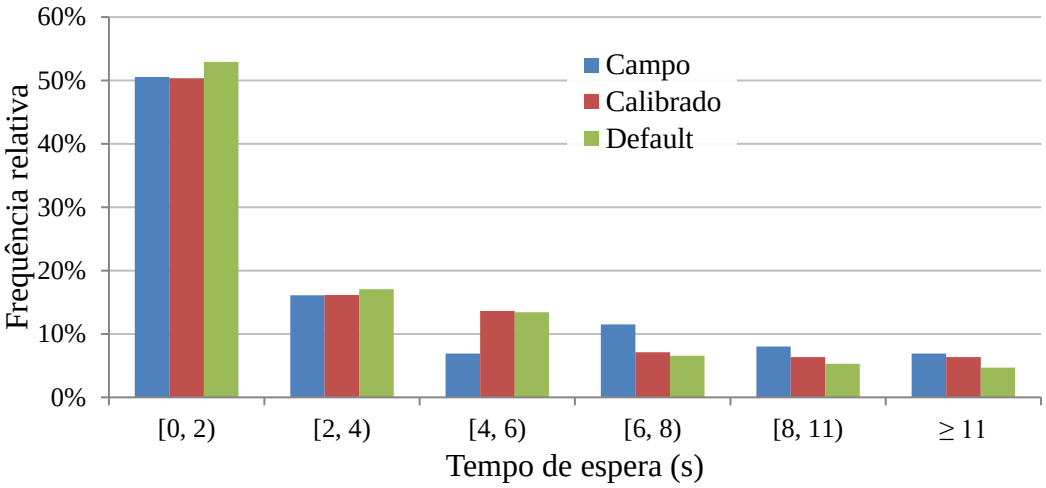


Figura 5: Validação – movimento conversão à direita

5. COMPARAÇÃO COM CALIBRAÇÃO SIMULTÂNEA

A fim de se comparar o método de calibração proposto com um dos métodos convencionais, realizou-se também a calibração do *min_gap_time* tendo como medida-alvo uma medida de desempenho do tráfego que se deseja estimar. No caso, como exemplo, a medida-alvo considerada foi o tamanho médio da fila, obtidos a partir de observações a cada 15 s.

Fixando-se o mesmo valor para ambos os movimentos, obteve-se um *min_gap_time* de 3,1 s, correspondendo a uma fila média igual à observada em campo, de 1,6 veículos. As distribuições dos tempos de espera obtidas em campo, no modelo calibrado pelo método proposto e no modelo calibrado pelo método convencional para o movimento seguir em frente são apresentadas na Figura 6, onde pode ser observada uma aderência menos satisfatória da distribuição referente à calibração do parâmetro pelo tamanho médio de fila, principalmente nas classes mais extremas, com χ^2 de 9,6, enquanto o valor pelo método proposto foi de apenas 1,4. Em relação à média dos tempos de espera, o valor obtido pelo método convencional foi de 6,5 s, enquanto pelo modelo proposto foi de 7,7 s e o de campo 7,5 s.

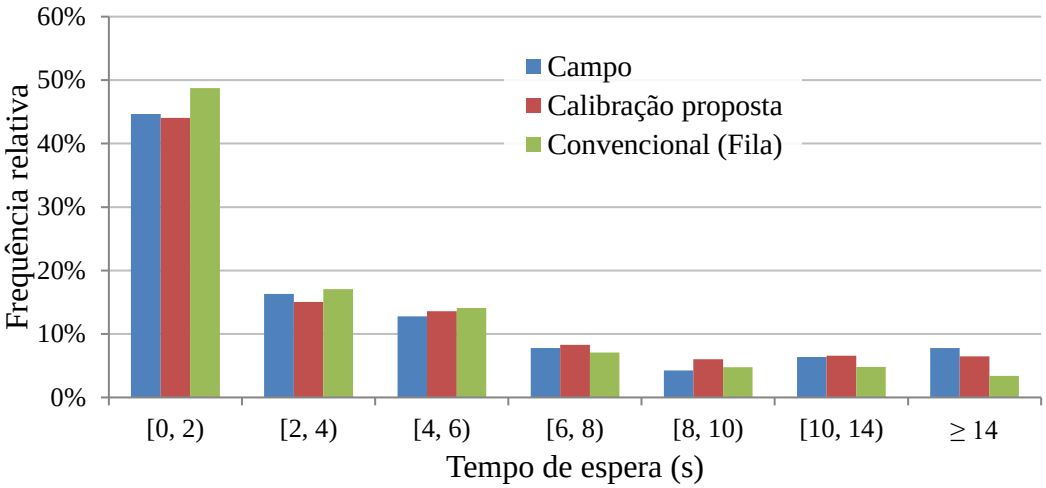


Figura 6: Comparação dos métodos de calibração – movimento seguir em frente

Como a medida-alvo proposta é impactada basicamente pelo processo de aceitação de *headways*, nota-se que o método com base no tamanho médio de fila pode gerar resultados menos precisos devido a fatores externos como padrão de chegada dos veículos na via secundária, espaçamento entre eles (mesmo tendo sido utilizado o valor calibrado para outra via da região) e seus perfis de aceleração, com uma modelagem menos representativa da realidade. Os resultados referentes à conversão à direita foram menos destoantes, já que os valores ajustados para o parâmetro em ambos os métodos de calibração são próximos. No caso de interseções onde a fila da aproximação secundária é maior e mais variável, há uma maior sensibilidade do *min_gap_time* sobre essa medida de desempenho, o que pode acarretar em diferenças maiores nos valores calibrados pelos diferentes métodos.

6. CONCLUSÕES

Embora a literatura apresente diversos trabalhos publicados sobre aceitação de *headways* em interseções não semaforizadas, relativamente pouca atenção tem sido dada à modelagem por meio da microssimulação. Este trabalho propõe um método de calibração e de validação do modelo RP do VISSIM que tem como medida-alvo o tempo de espera do veículo que aguarda por um *headway*. Embora tenha se utilizado o VISSIM, o método proposto pode ser aplicado diretamente em outros simuladores cujos modelos de aceitação de *headways* também são baseados em parâmetros de *headway* crítico, como o TransModeler e o Aimsun.

Dentre os dois modelos de aceitação de *headways* disponíveis no VISSIM, considerou-se o modelo RP devido à sua melhor adequação ao tipo de interseção em estudo. A complexidade trazida pelo modelo AC não se justifica para a modelagem de cruzamentos perpendiculares não semaforizados comumente encontrados em vias urbanas, que oferecem baixa distância de visibilidade da via principal aos veículos da via secundária localizados em posições a montante da faixa de retenção. Em interseções deste tipo, o parâmetro de *headway* crítico domina o processo de aceitação de *headways*.

Uma modificação realizada neste trabalho foi a consideração das frequências dos dados simulados como valores esperados para o teste de aderência χ^2, diferentemente do que é comumente encontrado na literatura. A razão é que o teste de aderência deve inferir se a amostra observada em campo pôde ter sido gerada pela população representada pelo modelo de simulação, e não o contrário.

Os resultados provenientes da verificação da chegada dos veículos na via principal indicaram que não houve indícios para se rejeitar a hipótese de que sua distribuição de probabilidade dos *headways* de campo seja igual ao dos simulados, condição que deve ser atendida para a calibração de qualquer modelo de aceitação de *headways*.

Foi possível notar a importância da comparação entre as médias das amostras coletadas e modeladas do tempo de espera na calibração do *min_gap_time*, já que as diferenças na estatística χ^2 foram desprezíveis para uma faixa de valores do parâmetro. Para uma segmentação do tempo de espera em classes mais estreitas e uma maior sensibilidade da estatística χ^2, pode-se coletar mais observações em campo. Destaca-se também a importância de estabelecer um critério que combine ambas as medidas de ajuste a fim de tornar a calibração mais objetiva.

O valor calibrado de *min_gap_time* para o movimento seguir em frente foi superior ao da conversão à direita, corroborando o conhecimento prévio. Ambos os valores foram superiores ao valor *default* do VISSIM, sugerindo que os motoristas do cruzamento em análise apresentaram perfil mais cauteloso quando comparado ao perfil padrão adotado no microssimulador.

Na etapa de validação, a hipótese de que os dados observados de tempo de espera se aderem bem ao modelo não pôde ser rejeitada. Além disto, as médias dos tempos de espera modelados para ambos os movimentos foram similares às observadas em campo, com uma leve superestimação para o caso do movimento em frente.

O comparativo realizado entre os métodos de calibração considerados indicou que o ajuste feito com base em medidas de desempenho do tráfego, como tamanho médio de fila, pode gerar resultados menos precisos, já que tais medidas dependem de outras variáveis como a demanda e o espaçamento entre os veículos. O problema pode ser agravado nos casos de calibração de mais de um parâmetro, pois pode resultar em combinações de valores inadequados dos parâmetros, mesmo que as diferenças entre os valores simulados e observados em campo sejam pequenas. Dessa forma, propõe-se a calibração do *min_gap_time* com base na medida-alvo tempo de espera do primeiro veículo da fila, pois esta medida depende primordialmente do parâmetro.

Por se tratar de um método com base na distribuição de frequência de uma medida-alvo desagregada, ele é relativamente exigente quanto à quantidade de observações coletadas em campo para se obter uma amostra com maior probabilidade de ser representativa da população local de motoristas. Por fim, sugere-se que em trabalhos futuros o método aqui proposto seja aplicado para outras interseções, possibilitando comparações entre os resultados para cruzamentos não semaforizados com diferentes características físicas e operacionais. A menos que as características da interseção em análise sejam semelhantes, os valores de *min_gap_time* aqui obtidos não devem ser utilizados, porém o método proposto pode ser aplicado, com possíveis adaptações.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao CNPq o suporte financeiro por meio de bolsas e recursos de custeio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Depiante, V. S. e J. J. Galarraga (2012) Intervalos Criticos y Capacidad en Intersecciones no Semaforizadas de Tres Ramas. *Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito, Transporte y Logística*, PANAM, Santiago, Chile.

Elefteriadou, L. (2014) *An Introduction to Traffic Flow Theory*. Ed. Springer, New York.

Garber, N. J. e L. A. Hoel (1996) *Traffic and Highway Engineering*. Ed. RPK.

Jie, L.; H. V. Zuylen; Y. Chen; F. Viti e I. Wilmink (2013) Calibration of a Microscopic Simulation Model for Emission Calculation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 31, n. 0, p. 172-184.

Kyte, M.; M. Dixon e P. M. Basavaraju (2003) Why Field Measurements Differ from Model Estimates. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1852, p. 32-39.

Lacerda, V. M. e M. M. Castro-Neto (2014) Considerações sobre a Calibração do Modelo de *Car-following* do VISSIM para Vias Arteriais Urbanas. *Anais do XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Curitiba.

Lacerda, V. M. (2016) *Estimação da Velocidade Média em Vias Urbanas com Uso do Microssimulador VISSIM*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

Lidbe A. D.; A. M. Hainen e S. L. Jones Jr. (2016) Comparative Study of Simulated Annealing and Genetic Algorithm for Calibration of Microsimulation Model. *In*: Transportation Research Board 95th Annual Meeting, Washington, USA.

Liu, P.; X. Qu, H. Yu; W. Wang e B. Cao (2012) Development of a VISSIM Simulation Model for U-Turns at Unsignalized Intersections. *Journal of Transportation Engineering*, v. 138, n.11, p. 1333-1339.

Mohan M. e S. Chandra (2016) Influence of Major Stream Composition on Critical Gap at Two-Way Stop-Controlled Intersections. *In*: Transportation Research Board 95th Annual Meeting, Washington, USA.

PTV (2016) VISSIM 9.0. Manual do Usuário. Plannung Transport Verkehr AG, Karlsruhe, Germany.

Tarko, A. e Z. Tian (2003) Example Analysis and Handling of Uncertainty in the *Highway Capacity Manual* with Consideration of Traffic Diversion. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1852, p. 40-46.

TRB (2010) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, v. 3, Washington.

Viti, F.; B. Wolput; C. M. J. Tampère e P. Vandervelden (2013) Dynamic Modeling of VISSIM's Critical Gap Parameter at Unsignalized Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 2395, p. 12-20.

Alessandro Macêdo de Araújo (alessandro.araujo@det.ufc.br)
Manoel Mendonça de Castro Neto (manoel@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 703, Fortaleza, CE, Brasil

MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA O CONTROLE ATIVO DO PLANO DE TEMPORIZAÇÃO SEMAFÓRICA DE INTERSEÇÕES

Samara Soares Leal
Paulo Eduardo Maciel de Almeida
José Elievam Bessa Júnior
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional

RESUMO

Este relatório de tese apresenta uma proposta de um Modelo de Controle Ativo da Temporização Semafórica de Interseções (ACTST - *Active Control of Traffic Signal Timing*) a ser obtido por meio do modelo de otimização não-linear e combinatória (OMACTST - *Optimization model of the Active Control of Traffic Signal Timing*). Pretende-se utilizar o modelo de otimização OMACTST que consiste em duas partes: (i) o problema de otimização não linear, cujo objetivo é determinar o programa semafórico utilizando o modelo ACTST; (ii) o problema de otimização combinatória, que tem como propósito determinar a sequência ótima de fases dos semáforos. Primeiramente, propõe-se um aperfeiçoamento para o modelo ACTST, adicionado novas variáveis de decisão (tempo de ciclo e defasagem) e uma modificação nos operadores genéticos. Logo após, pretende-se discutir o problema de encontrar o sequenciamento de fases ideal para o plano semafórico das interseções em estudo.

Endereço para contato:
MSc. Samara Soares Leal (samara_bh_leal@hotmail.com)
Prof. Dr. Paulo Eduardo Maciel de Almeida (pema@lsi.cefetmg.br)
Prof. Dr. José Elievam Bessa Júnior (elievamjr@gmail.com)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional
Av. Amazonas 7.675, Nova Gameleira, Belo Horizonte, MG, 30.510-000

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SIMULADOR TRANSMODELER PARA MODELAGEM DE CORREDORES VIÁRIOS EM CIDADES DE GRANDE PORTE

José Elievam Bessa Júnior
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Departamento de Engenharia de Transportes
André Luis Medeiros
Alessandro Macêdo de Araújo
Janailson Queiroz Sousa
Transitar Engenharia Ltda.
Vinícius de Magalhães
Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte
Gerência de Estudos de Circulação e Projetos
Warley Silva de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Este artigo teve como meta comparar os resultados da calibração e validação de parâmetros de submodelos comportamentais do TransModeler para duas cidades brasileiras de grande porte. Foram obtidos dados de tempos de viagem em um corredor viário de cada cidade, a fim de aplicar um Algoritmo Genético (AG) para calibrar o modelo de simulação de tráfego. O AG foi aplicado duas vezes, para os dados coletados em cada cidade. A validação foi realizada de duas formas. Primeiro, foram testados os parâmetros calibrados para a mesma rede viária, mas para dados de tráfego obtidos em outro período. Depois, os parâmetros foram usados na rede viária de outra cidade. No primeiro processo de validação, os tempos de viagem simulados estiveram próximos dos valores obtidos em campo. No entanto, no segundo processo de validação, ocorreu o inverso. Isso pode indicar que os motoristas possuem comportamentos diferentes entre as duas cidades.

ABSTRACT
This paper aimed to compare the results of a calibration and validation of TransModeler's behavioral submodels parameters for two Brazilian large cities. Travel time data were collected in an urban corridor of each city in order to apply a Genetic Algorithm (GA) to calibrate the traffic simulation model. The GA was applied twice, for the traffic data collected in each city. The validation step was made in two ways. First, the calibrated parameters were tested for the same traffic network using traffic data obtained in another time. After that, the parameters were used on the traffic network from the other city. In the first validation procedure, the simulated travel time data were close to the field travel time data. However, in the second validation procedure, the opposite happened. This might indicate that the driver behavior between the cities are different.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos de simulação de tráfego têm sido bastante utilizados por pesquisadores e técnicos para realizar análises de desempenho de sistemas de transportes. Para realizar essa modelagem, os microssimuladores de tráfego buscam representar vários aspectos no sistema, como o desempenho veicular e o comportamento dos motoristas. No que diz respeito ao segundo aspecto, os simuladores se valem de submodelos como o de escolha de rota, o de mudança de faixas e o de *car-following* (Toledo *et al*., 2005; Zhang *et al*., 2006; Hollander e Liu, 2008). Muitos desses submodelos incluem um grande número de parâmetros que precisam ser calibrados para as condições locais onde serão aplicados (FHWA, 2004; Hollander e Liu, 2008). Isso porque os parâmetros que são fornecidos pelo simulador (*default*) representam as condições de onde os simuladores foram desenvolvidos.

O Algoritmo Genético (AG) é um método de busca e otimização baseado na teoria da evolução que usa uma população de soluções, ao contrário de outras técnicas que partem de uma única solução e buscam melhorá-la. As aplicações de AG's aumentam as chances de alcançar um ótimo global, diminuindo, portanto, as chances da melhor solução encontrada ser um ótimo local (Tomassini, 1995; Hellinga, 1998; Kim e Rilett, 2001; Ma e Abdulhai, 2002).

A técnica do AG vem sendo aplicada em várias áreas de transportes no Brasil, como em transportes público (Galvão *et al*., 2014; Prata, 2016), em Logística (Isler *et al*., 2012; Martins e Silva, 2017), em problemas de roteirização (Novaes *et al*., 2011) e no transporte aéreo (Gomes e Gualda, 2011). O AG é também um dos métodos que mais tem sido utilizados para calibrar simuladores de tráfego, um problema considerado complexo. As aplicações já são bastante disseminadas, com estudos sendo realizados no ajuste de modelos de desempenho de caminhões em rodovias (Bessa Jr. *et al*., 2008; Cunha *et al*., 2009), para microssimulação de rodovias de pista simples (Mon-Ma, 2008; Bessa Jr. e Setti, 2015; Bessa Jr. *et al*., 2017), para meio urbano (Medeiros *et al*., 2013; Magalhães *et al*., 2017) e até em macrossimulações (Santos *et al*., 2016).

No entanto, no que diz respeito às aplicações de AG para calibrar e validar simuladores de tráfego, os ajustes têm sido realizados apenas usando-se dados obtidos num mesmo local. Dessa forma, são coletados dados para calibração na mesma rede viária em que são coletados dados para a validação, mas em outro período. Caso essa validação fosse realizada para outra rede viária, seria possível afirmar que os motoristas desses dois locais possuem comportamentos semelhantes, evitando refazer o ajuste dos parâmetros do simulador e, por consequência, economizando recursos.

Dessa forma, foi traçado o objetivo geral deste trabalho, que foi calibrar e validar um microssimulador de tráfego, o TransModeler (Caliper, 2017), para corredores viários localizados em duas grandes cidades brasileiras, Belo Horizonte e Fortaleza. A seção seguinte apresenta detalhes sobre a coleta de dados e a modelagem dos corredores viários selecionados.

2. COLETA DE DADOS E MODELAGEM DOS CORREDORES VIÁRIOS

Neste trabalho, foram coletados dados de tráfego em dois corredores viários, um em Belo Horizonte e outro em Fortaleza, cidades consideradas metrópoles brasileiras e de porte semelhantes. Na Figura 1, é apresentada a Av. do Contorno, em Belo Horizonte, modelada no TransModeler. Nela, é possível observar as vias transversais, incluindo duas importantes avenidas do município, a Av. Getúlio Vargas e a Av. Afonso Pena. Na Figura 2, é apresentada a Av. Pontes Vieira, em Fortaleza, também inserida no TransModeler com vias importantes para a cidade, como a Av. Barão de Studart.



Figura 1: Av. do Contorno modelada no TransModeler



Figura 2: Av. Pontes Vieira modelada no TransModeler

Nos dois corredores viários, foram obtidas amostras de tempos de viagem dos veículos, em ambos os sentidos e em dois dias distintos. No caso de Belo Horizonte, as informações foram coletadas entre as avenidas Afonso Pena e Getúlio Vargas nos dias 5 e 19 de abril de 2017, durante o pico da manhã, entre 7:30 h e 8:30 h. Na pesquisa realizada em Fortaleza, os dados

de tráfego foram coletados no dia 19 de outubro de 2016, entre 7:00 h e 8:00 h, e no dia 26 de outubro de 2016, das 8:00 h às 9:00 h. Na Tabela 1, observa-se os valores médios dos tempos de viagem de cada corredor viário. Os corredores viários selecionados estão localizados próximos às regiões centrais de suas respectivas cidades e possuem um entorno similar, com uma ocupação que promove uma alta demanda por viagens.

Tabela 1: Valores de tempo de viagem médios obtidos nas pesquisas

Corredor viário	Sentido	Dados da calibração		Dados da validação	
		Data da coleta	Tempo de viagem (s)	Data da coleta	Tempo de viagem (s)
Av. do Contorno	Sul-Norte	05/04/2017	122	19/04/2017	132
Av. do Contorno	Norte-Sul	05/04/2017	113	19/04/2017	129
Av. Pontes Vieira	Oeste-Leste	19/10/2016	266	26/10/2016	292
Av. Pontes Vieira	Leste-Oeste	19/10/2016	260	26/10/2016	277

Para a coleta dos tempos de viagem, foi utilizado o Método das Placas, que, conforme mencionado no Manual de Estudos de Tráfego (DNIT, 2006), consiste na anotação, na entrada e saída do trecho analisado, da placa e da hora de passagem dos veículos. Posteriormente, as placas registradas nas entradas e saídas dos segmentos são comparadas, obtendo-se o tempo de viagem de cada veículo, por sentido.

O processo de calibração dos submodelos comportamentais, apresentado em seções subsequentes, foi realizado utilizando-se os dados de tempo de viagem médios apresentados. Apesar da utilização dessa medida de desempenho ser influenciada por diferentes submodelos comportamentais ao mesmo tempo, ela foi escolhida por ser uma das mais simples de ser obtidas em campo. O primeiro conjunto de dados foi usado para a calibração dos parâmetros do modelo, enquanto que o segundo foi utilizado para validação dos parâmetros obtidos na calibração de cada modelo de simulação de tráfego.

3. MÉTODO DE CALIBRAÇÃO PROPOSTO

O AG é um processo iterativo que tem como base a teoria da evolução. Inicialmente, o AG produz uma população de soluções aleatória, gerada a partir de um espaço de busca. A população inicial evolui surgindo outras gerações de indivíduos que tem, como base, a função *fitness* (objetivo), que representa o grau de qualidade da solução testada. Os indivíduos (cromossomos) mais bem adaptados permanecem na população e transferem suas características às próximas gerações, enquanto que os menos adaptados tendem a desaparecer (Goldberg, 1989).

Os operadores genéticos são essenciais na formação de novas populações, como *crossover*, *mutação* e *predação*. No *crossover*, são mescladas partes importantes de outros indivíduos considerados bem adaptados para formar os indivíduos da geração seguinte. A *mutação* introduz diversidade genética ao substituir partes dos cromossomos selecionados aleatoriamente. Por fim, a *predação* serve para eliminar os menos adaptáveis (piores soluções) e também insere diversidade genética, substituindo os indivíduos predados por novos com base no espaço de busca estabelecido pelo usuário (Goldberg, 1989; Bessa Jr *et al*., 2017).

Neste trabalho, o AG desenvolvido buscou obter valores dos parâmetros comportamentais do TransModeler de modo que a medida de desempenho escolhida, o tempo médio de viagem em

corredores viários, tivessem os valores simulados e observados bem próximos. O espaço de busca e os valores *default* dos parâmetros escolhidos para calibração – que são aqueles que mais afetaram os tempos de viagem simulados – podem ser vistos na Tabela 2. Como há pouca informação sobre os valores aceitáveis dos parâmetros de calibração na literatura, os espaços de busca dos parâmetros foram estabelecidos como mais ou menos 50% em torno do valor *default*.

Tabela 2: Valores *default* dos parâmetros de calibração

Parâmetro	**Categoria**	**Valor *default***	**Espaço de busca**	
			Mínimo	**Máximo**
Alpha (*accelerating*)	*Car-following model*	3,81	1,91	5,72
Beta (*accelerating*)		-1,67	-0,84	-2,51
Gamma (*accelerating*)		-0,89	-0,45	-1,34
Alpha (*decelerating*)		4,65	2,33	6,98
Beta (*decelerating*)		1,08	0,54	1,62
Gamma (*decelerating*)		1,65	0,83	2,48
Constant	*Lane changing - Discretionary* (*DLC*) - *Neighboring Lane Model - Lane Choice Utility Function*	-3,300	-1,6500	-4,9500
Path Influence Factor		-0,200	-0,1000	-0,3000
Minimum Speed Gain		0,0984	0,0500	0,1500
Average Speed Gain		0,1640	0,0800	0,2500
Slow Vehicle in Passing Lane		-0,7500	-0,3800	-1,1300
Lane Not Connected		-3,0000	-1,5000	-4,5000
Same Direction as Previous DLC		0,7500	0,3800	1,1300
Minimum (*Discretionary/Lead*)	*Gap acceptance model for lane changing - Target Lane Gap Acceptance model*	1,00	0,50	1,50
Minimum (*Discretionary/Lag*)		1,50	0,75	2,25
Minimum (*Mandatory/Lead*)		1,00	0,50	1,50
Minimum (*Mandatory/Lag*)		1,50	0,75	2,25

A população foi composta por 20 indivíduos e o critério de parada do algoritmo foi o número máximo de gerações igual a 50. Foi considerado um *crossover* com critério de seleção do tipo elitismo e taxas de diversidade (predação e mutação), respectivamente, iguais a 30% e 20%, sendo aplicadas a cada geração. Para a etapa de calibração, foi utilizada somente uma replicação, conforme realizado em Medeiros *et al*. (2013). Na etapa de validação, foram realizadas 30 replicações, com diferentes sementes de números aleatórios. A função *fitness* (objetivo) foi o erro normalizado absoluto médio (*MANE*) entre os tempos de viagem dos corredores, por sentido, observados e simulados, conforme mostra a equação:

$$MANE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\frac{|y_i - x_i|}{x_i} \quad (1)$$

em que:

N = total de corredores viários, por sentido;
y_i = i-ésimo tempo de viagem médio obtido na simulação; e
x_i = i-ésimo tempo de viagem médio obtido em campo.

A função objetivo *MANE* foi escolhida por indicar um erro médio em termos absolutos, sem considerar se há desvios sistemáticos, sendo constantemente aplicados em estudos de calibração de simuladores de tráfego (Hollander e Liu, 2008).

4. RESULTADOS

Os resultados da função objetivo *MANE*, com a aplicação do AG, estão resumidos na Figura 3. A partir dos dados coletados para calibração do corredor viário da Av. do Contorno (Tabela 1), e usando-se os parâmetros de calibração *default* do TransModeler (Tabela 2), foi encontrado um valor de *MANE* de 0,276 para a rede microssimulada. A aplicação da melhor solução encontrada com o AG (Tabela 3) na microssimulação de tráfego com o TransModeler proporcionou um valor de *MANE* de 0,111, ou 60% menor do que quando usado os valores *default* dos parâmetros. Para os dados coletados na Av. Pontes Vieira, usando-se os parâmetros *default* do TransModeler, o AG encontrou um *MANE* igual 0,093. Com os parâmetros obtidos com a aplicação do AG, o valor da função *fitness* caiu para 0,052, ou 44% melhor do que quando foram usados os parâmetros fornecidos com o simulador.

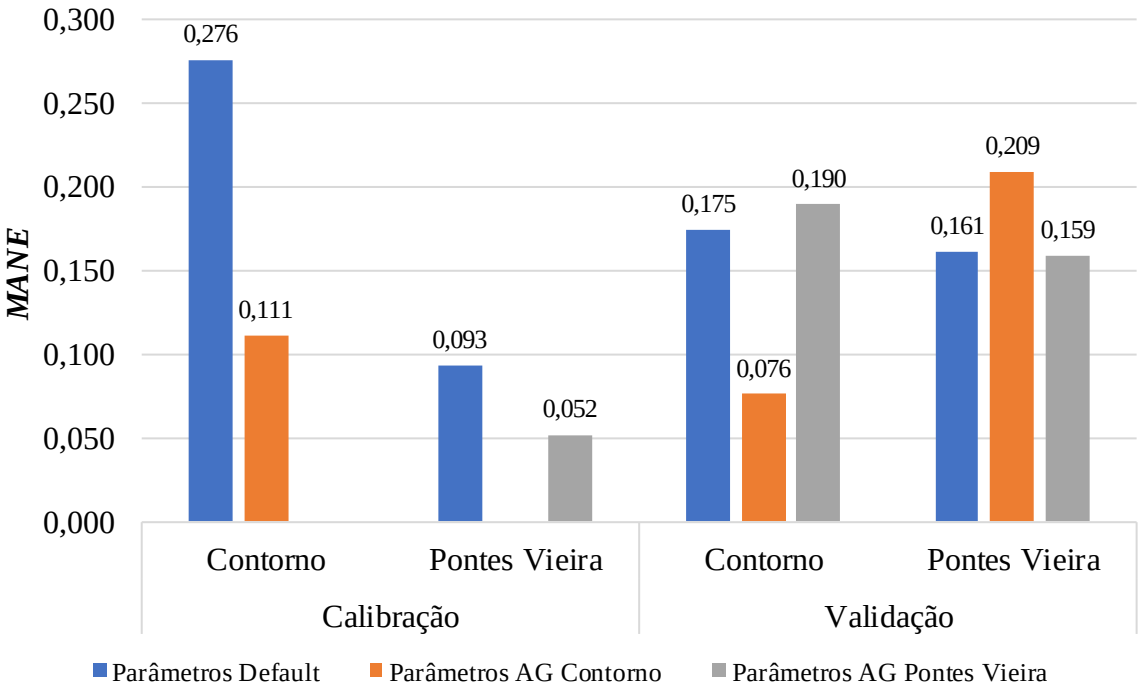


Figura 3: valores de *MANE* encontrados com a aplicação do AG e com parâmetros *default*

Os parâmetros calibrados para Fortaleza foram os que tiveram os parâmetros mais próximos dos valores *default.* Foi o caso do *Alpha*, *Beta* e *Gamma* (*accelerating*); *Constant*; *Path Influence Factor*; *Minimum Speed Gain*; e *Minimum* (*Discretionary/Lead* e *Lag*; *Mandatory/Lead*). Em alguns casos, os parâmetros encontrados para Fortaleza e Belo Horizonte seguiram a mesma tendência, ou aumentaram ou diminuíram, juntos, como ocorreu com o parâmetro *Average Speed Gain*. Situação inversa – ou seja, quando um parâmetro obtido para uma cidade foi maior do que o *default*, enquanto para outra cidade ocorreu o inverso – somente ocorreu para os seguintes parâmetros: *Alpha*, *Beta* e *Gamma* (*decelerating*) e *Lane Not Connected*. Os demais parâmetros, tanto para Fortaleza quanto para Belo Horizonte, tiveram seus valores próximos ao *default*; é o caso do *Minimum* (*Discretionary/Lead* e *Manda-*

tory/Lag). A Figura 4 ilustra melhor essas diferenças entre os parâmetros calibrados e os parâmetros *default*.

Tabela 3: Melhor conjunto de parâmetros encontrados pelo AG

Parâmetro	**Valor *default***	**Calibração**	
		Belo Horizonte	**Fortaleza**
Alpha (*accelerating*)	3,81	3,03	3,89
Beta (*accelerating*)	-1,67	-1,21	-1,61
Gamma (*accelerating*)	-0,89	-1,15	-0,84
Alpha (*decelerating*)	4,65	4,79	4,50
Beta (*decelerating*)	1,08	0,65	1,22
Gamma (*decelerating*)	1,65	2,40	1,64
Constant	-3,300	-1,8884	-3,9327
Path Influence Factor	-0,200	-0,1364	-0,2084
Minimum Speed Gain	0,0984	0,1037	0,1148
Average Speed Gain	0,1640	0,1149	0,1271
Slow Vehicle in Passing Lane	-0,7500	-0,7467	-0,9228
Lane Not Connected	-3,0000	-3,3499	-2,1381
Same Direction as Previous DLC	0,7500	0,8018	0,6300
Minimum (*Discretionary/Lead*)	1,00	1,00	1,00
Minimum (*Discretionary/Lag*)	1,50	1,79	1,40
Minimum (*Mandatory/Lead*)	1,00	0,52	1,19
Minimum (*Mandatory/Lag*)	1,50	1,39	1,51

Esses resultados sugerem que a calibração realizada em Fortaleza forneceu, de maneira geral, parâmetros próximos aos valores *default*. Sabe-se que cada parâmetro tem um impacto diferente na modelagem em relação aos demais, refletindo nos dados de saída. O quão próximo a calibração de Fortaleza está do conjunto de parâmetros *default* somente podem ser mensurados ao se analisar os tempos de viagem, o que é apresentado logo a seguir. De uma maneira geral, para aqueles parâmetros que diferem significativamente dos valores *default*, há uma tendência de ter valores mais agressivos do que os parâmetros fornecidos com o simulador.

Concluída a etapa de calibração, os parâmetros obtidos da melhor solução foram testados em duas circunstâncias. Na primeira, foram aplicados para o mesmo local de calibração, mas em períodos distintos. Na segunda, foram usados os parâmetros na simulação de outra rede viária, diferente daquela usada no processo de calibração, com o intuito de avaliar se os comportamentos dos motoristas nas duas cidades estudadas são próximos.

Usando-se os parâmetros da terceira coluna da Tabela 3, encontrados para Belo Horizonte em 05/04/2017 (conforme Tabela 1), e aplicando-os para a mesma rede viária modelada com dados de um dia diferente, obtidos em 19/04/2017, foi encontrado um valor de *MANE* de 0,076. Para esse segundo conjunto de dados e com os parâmetros *default*, o valor da função objetivo ficou em 0,175, ou 57% maior do que quando foram usados os parâmetros obtidos com o AG.

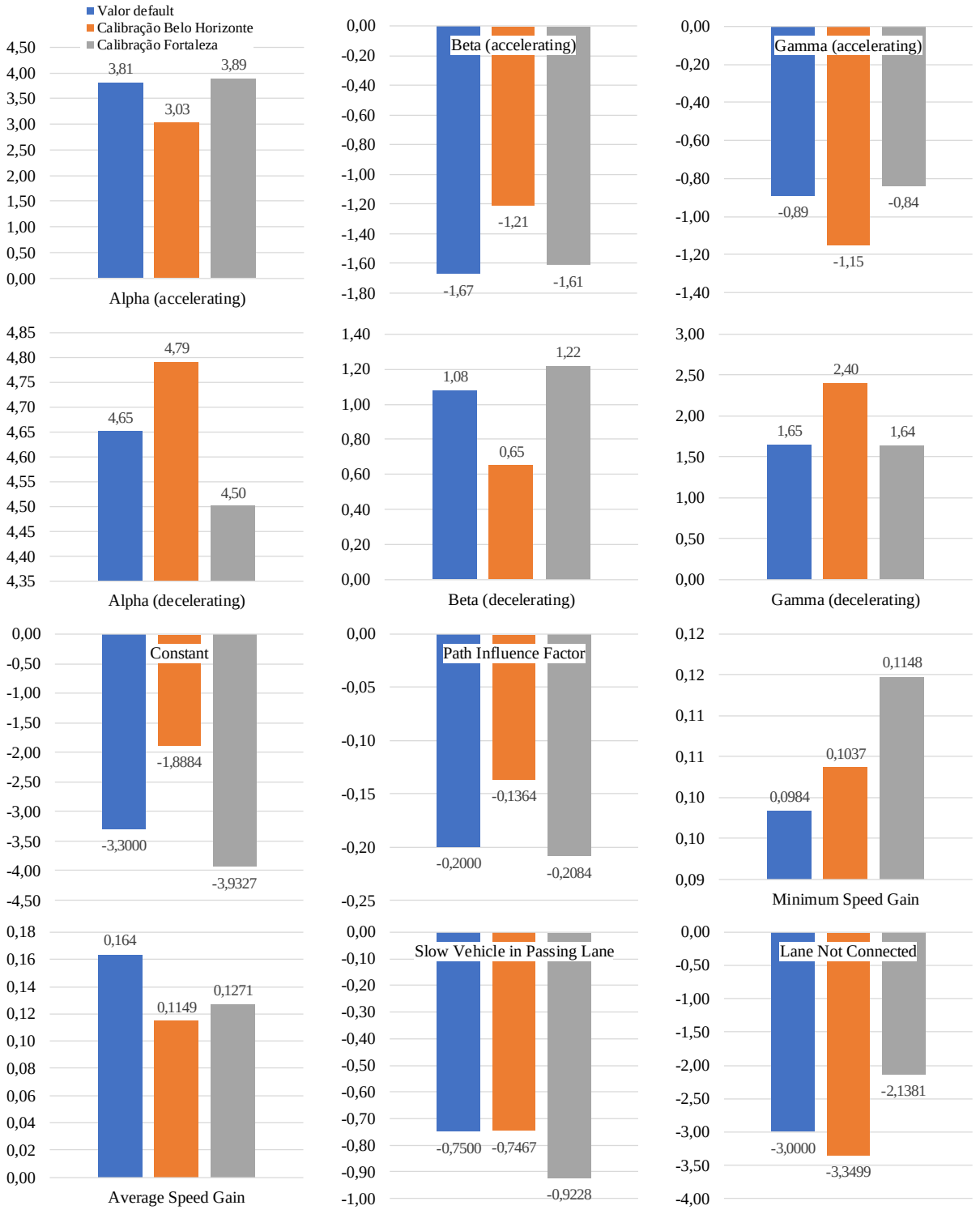


Figura 4: comparação entre os parâmetros calibrados e os parâmetros *default*

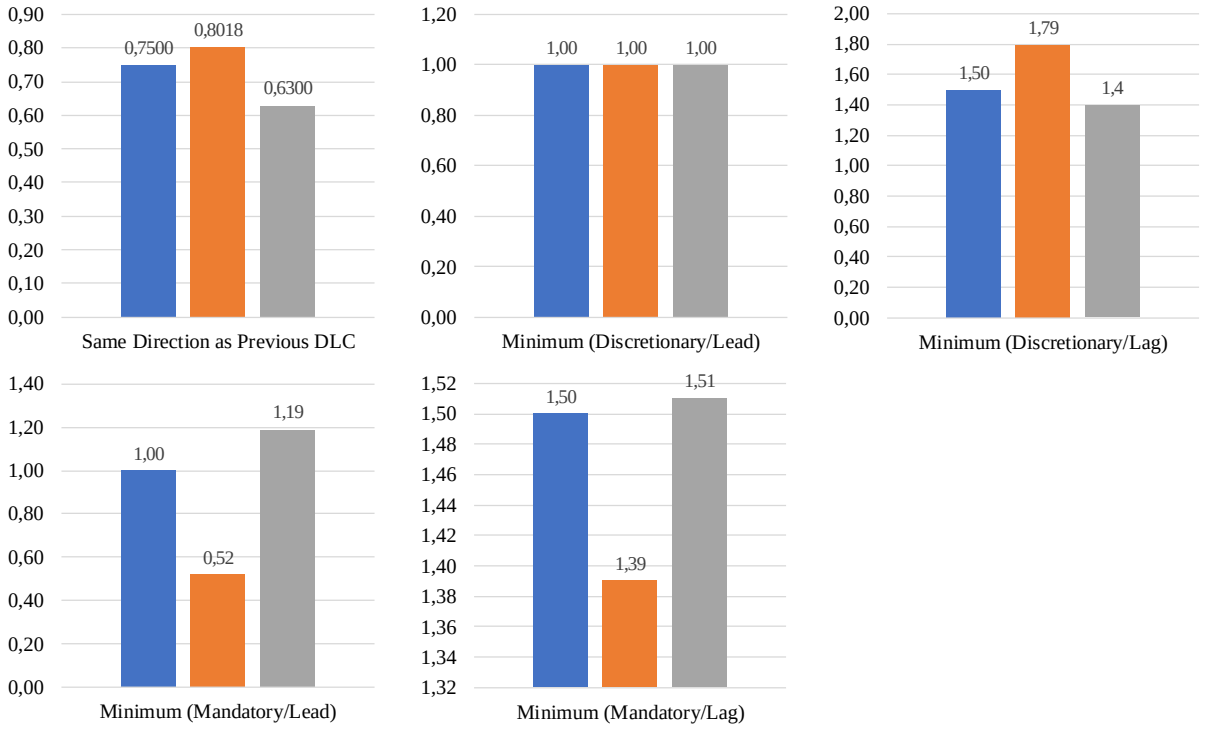


Figura 4 (cont.): comparação entre os parâmetros calibrados e os parâmetros *default*

Para o corredor da Av. Pontes Vieira, quando os parâmetros calibrados foram aplicados para outro período, foi encontrado um *MANE* de 0,159 para o segundo conjunto de dados (26/10/2016, conforme Tabela 1), quando foram usados os parâmetros obtidos com o AG no processo de calibração (com dados de 19/10/2016). Para o conjunto de dados da validação, mas usando os parâmetros *default*, o valor da função objetivo foi de 0,161, praticamente o mesmo valor encontrado com os parâmetros calibrados. Uma razão para isso pode ser o espaço de busca dos parâmetros, determinados como mais ou menos 50% em torno do valor *default*. Essa escolha pode ter sido insuficiente para determinar a diferença comportamental dos motoristas e veículos brasileiros, mas foi necessária para diminuir a chance de o AG encontrar valores irreais para alguns parâmetros. Outro motivo pode ser devido à utilização de dados referentes à hora de pico de apenas um dia para cada etapa (calibração e validação), pois a própria aleatoriedade inerente ao fenômeno pode ter causado variações no tráfego de tal forma que os parâmetros calibrados não se adequaram tão bem ao cenário de validação. O tamanho da amostra também é considerado pequeno, o que incorpora um grau de limitação elevado no ajuste dos parâmetros comportamentais.

Com os parâmetros calibrados para a Av. do Contorno aplicados para o segundo conjunto de dados da rede viária da Av. Pontes Vieira, o valor de *MANE* encontrado foi igual a 0,209. Como dito antes, usando-se parâmetros encontrados na fase de calibração da Av. Pontes Vieira, a função objetivo foi em torno de 0,159, ou 30% melhor do que usando os parâmetros obtidos a partir dos dados de Belo Horizonte.

De maneira análoga, os parâmetros encontrados a partir dos dados da Av. Pontes Vieira foram aplicados na rede viária da Av. do Contorno (segundo conjunto de dados, de 19/04/2017). O resultado foi um *MANE* de 0,190. A partir dos parâmetros *default* do simulador, o *MANE* en-

contrado foi igual a 0,175, cerca de 9% melhor do que se usando os parâmetros encontrados para a Av. Pontes Vieira.

O fato dos resultados de *MANE* com a calibração para a Av. Pontes Vieira estarem próximos do que quando se usam os parâmetros de calibração *default* é explicado pelos parâmetros estarem próximos, conforme visto na Tabela 3. As diferenças encontradas entre esses parâmetros parecem não ter sido grandes à ponto de fornecer resultados simulados dos tempos de viagem próximos aos observados em campo. Situação inversa ocorreu para o conjunto de parâmetros calibrados para Belo Horizonte, que apresentou bons resultados de validação quando aplicados para dados coletados na cidade, mas o mesmo não ocorreu com os parâmetros calibrados para o tráfego de Fortaleza.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como meta comparar os resultados da calibração e validação de parâmetros do microssimulador TransModeler para duas cidades de grande porte brasileiras, Belo Horizonte e Fortaleza. Foram simulados dois corredores viários, um de cada cidade: a Av. do Contorno, na região centro-sul de Belo Horizonte; e a Av. Pontes Vieira, localizada próxima a região central de Fortaleza. Para avaliar a eficiência das soluções testadas, realizadas por meio de um AG, foram obtidos tempos de viagem nos corredores viários, por sentido.

Diferentemente do que se observa, geralmente, em outros trabalhos acerca do ajuste de parâmetros de submodelos de simuladores de tráfego, a validação foi realizada tanto para a mesma rede viária, mas para dados de tráfego obtidos em outro período (mais comum), quanto para outro corredor viário (em outra cidade de porte similar). Os resultados obtidos mostraram que a calibração foi eficiente. No primeiro processo de validação, pelo menos para a calibração para a Av. do Contorno, os valores do tempo de viagem simulados estiveram mais próximos dos valores obtidos em campo, em comparação com os resultados quando foram usados os parâmetros *default*. Com a outra validação, aplicando-se para uma cidade os parâmetros obtidos da calibração no outro município, os tempos de viagem obtidos não estiveram próximos dos dados de campo, o que pode indicar que os motoristas possuem comportamentos diferentes entre as cidades.

Para trabalhos futuros, recomenda-se coleta de alguns parâmetros dos submodelos comportamentais do TransModeler em campo, fazendo com que diminuam o número de parâmetros de calibração, ocasionando num problema de otimização mais simples para o AG resolver. Outra melhoria seria a escolha de uma função *fitness* que não fosse baseada apenas no tempo de viagem, que é influenciada por mais de um submodelo comportamental ao mesmo tempo. Uma maneira de fazer isso seria a escolha de experimentos de calibração que possam isolar os submodelos comportamentais e, caso possível, os próprios parâmetros dos submodelos. O aumento do conjunto de dados poderia, ainda, ajudar na obtenção de melhores resultados de calibração e de validação.

Seria interessante, também, avaliar o espaço de busca dos parâmetros escolhidos para calibração. A escolha de um espaço de busca em torno dos valores *default* pode ter inibido uma maior melhora da calibração realizada para a Av. do Contorno, assim como pode ter contribuído para que o erro de validação da Av. Pontes Vieira fornecesse um *MANE* semelhante quando foram usados os parâmetros *default*. A alteração do espaço de busca, que pode ser feita a partir de uma revisão bibliográfica mais minuciosa, também pode influenciar bastante nos resul-

tados da validação para uma cidade diferente da que foi usada na calibração. O aumento do espaço de busca tem que ser realizado com cuidado, uma vez que o AG pode buscar valores irreais dos parâmetros na tentativa de aproximar as medidas de desempenho simuladas e calibradas que compõem a função objetivo (*MANE*).

Recomenda-se, ainda, aplicar esse método de calibração para outros corredores de Belo Horizonte e Fortaleza. Tanto os parâmetros calibrados com o AG como o próprio método de ajuste dos parâmetros podem ser testados para cidades de grande porte, objeto deste artigo, ou mesmo para municípios de pequeno e médio portes.

Agradecimentos
Os autores agradecem ao CEFET-MG pelo auxílio para participação no congresso.

REFERÊNCIAS

Bessa Jr., J. E.; F. A. A Lima; A. L. B. N. Cunha e J. R. Setti (2008) Calibração do modelo de desempenho do simulador Integration através de um algoritmo genético. XXII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, *Anais...*, Fortaleza-CE, CD-ROM.

Bessa Jr., J. E. e J. R. Setti (2015) Avaliação de medidas de desempenho para rodovias de pista simples obtidas a partir de relações fluxo-velocidade. XXIX Congresso Pesquisa e Ensino em Transportes, *Anais...*, Ouro Preto - MG.

Bessa Jr., J. E.; J. R. Setti e S. S. Washburn (2017) Evaluation of Models to Estimate Percent Time Spent Following on Two-Lane Highways. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, v. 143, p. 04017010-1-04017010-9.

Caliper (2017) *TransModeler Traffic Simulation Software - TransModeler Overview*. Disponível em: < http://www.caliper.com/transmodeler/default.htm>. Acesso em: 11/07/2017.

Cunha, A. L. B. N.; J. E. Bessa Júnior e J. R. Setti (2009) Genetic Algorithm for the Calibration of Vehicle Performance Models of Microscopic Traffic Simulators. *Fourteenth Portuguese Conference on Artificial Intelligence*. LNAI Proceedings. Heildeberg: Springer, 2009. v. 5816. p. 3-14.

DNIT (2006) *Manual de Estudos de Tráfego*. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. Publicação IPR-723.

FHWA (2004) *Traffic Analysis Toolbox Volume III: guidelines for applying traffic microsimulation modeling software*. Federal Highway Administration (FHWA), jul 2004.

Galvão, M. L.; M. V. Lamar e P. W. G. Taco (2014) Desenho automático de mapas octalineares de rede de transporte público utilizando algoritmo genético. *Transportes*, v. 22, n. 1, p. 21-30.

Goldberg, D. E. (1989) *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning***,** Addison-Wesley, Reading, Massachussets.

Gomes, W. P.; N. D. F. Gualda (2011) Modelagem integrada do problema de programação de tripulantes de aeronaves. *Transportes*, v. 19, n. 1, p. 23-32.

Hellinga, B. (1998) Requirements for the validation and calibration of traffic simulation models. *Proceedings of Canadian Society for civil engineering*, p. 211-222.

Hollander, Y. e R. Liu (2008) The principles of calibrating traffic microsimulation models. *Transportation*, Springer Science and Business Media, LLC, v. 35, p. 347-362. Published online: 15 January 2008.

Isler, C. A.; A. C. Bonassa e C. B. Cunha (2012) Algoritmo genético para resolução do problema de p-medianas capacitado associado à distribuição de peças automotivas. *Transportes*, v. 20, n. 2, p. 5-14.

Kim, K. e R. L. Rilett (2001) Genetic algorithm based approach for calibration microscopic simulation models. *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings*, Oakland, CA, USA, p. 698–704.

Ma, T. e B. Abdulhai (2002) Genetic Algorithm-based Optimization Approach and generic tool for calibration traffic microscopic simulation parameters. *Transportation Research Record 1800*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 6-15.

Magalhães, V.; W. S. Oliveira; B. C. S. Maciel; J. E. Bessa Jr.; M. E. V. Moura, e J. M. Pinto Jr. (2017) Calibração de submodelos comportamentais do simulador Aimsun para Belo Horizonte. ANTP, 21º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, São Paulo - SP.

Martins, L. C. e G. P. Silva (2017) Aplicação de um algoritmo genético ao problema de rodízio de tripulações do sistema de transporte público urbano. *Transportes*, v. 25, n. 1, p. 31-40.

Medeiros, A. L.; M. M. Castro Neto; C. F. G. Loureiro e J. E. Bessa Jr. (2013) Calibração de redes viárias urbanas microssimuladas com o uso de algoritmos genéticos. XXVII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, *Anais...*, Belém-PA, 2013.

Mon-Ma, M. L. (2008) *Adaptação do HCM-2000 para rodovias de pista simples com faixas adicionais típicas do Estado de São Paulo*. 162p. Tese (Doutorado) EESC-USP, São Carlos.

Novaes, A. G.; P. J. Burin; E. T. Bez e B. Scholz-Reiter (2011) Roteirização dinâmica de veículos usando simulação e algoritmo genético. *Transportes*, v. 24, n. 1, p. 19-30.

Prata, B. A. (2016) Um algoritmo genético multiobjetivo para a programação integrada de veículos e tripulações. *Transportes*, v. 19, n. 3, p. 85-92.

Santos, G. H. G.; J. E Bessa Jr.; H. F. Pimenta e V. Magalhães (2016) Calibração e Validação de Funções de Atraso Usadas no Simulador Aimsun por Meio de um Algoritmo Genético. XXX ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, *Anais...*, Rio de Janeiro - RJ.

Toledo, T.; C. F. Choudhury; M. E. Ben-Akiva (2005) Lane-changing model with explicit target lane choice. *Transportation Research Record 1934*, p. 157–165.

Tomassini, M. (1995) A survey of genetic algorithms. *Annual Reviews of Computational Physics 1995*, World Scientific, p. 87-118. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.55.5988> (Acesso em: 20 Nov 2008).

Zhang, M. H.; J. Ma; H. Dong (2006) Calibration of departure time and route choice parameters in microsimulation with macro measurements and genetic algorithm. *Proceedings of the 85th TRB Annual Meeting*, Washington, D.C.

Endereço para contato:
Prof. Dr. José Elievam Bessa Júnior (elievamjr@gmail.com)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Departamento de Engenharia de Transportes - DET
Av. Amazonas 5.253, Nova Suíça, Belo Horizonte, MG, 30.421-169

MSc. André Luis Medeiros (andremed_1@yahoo.com.br)
Eng. Alessandro Macêdo de Araújo (alessandro.mac.araujo@gmail.com)
MSc. Janailson Queiroz Sousa (janailsonqs@gmail.com)
Transitar Engenharia Ltda.
Av. Humberto Monte, n° 2929, sala 519s, Pici, Fortaleza, CE, 60.440-593

Eng. Vinícius de Magalhães (viniciusm@pbh.gov.br)
Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte - BHTrans, Gerência de Estudos de Circulação e Projetos – GECIP
Av. Eng. Carlos Goulart, 900, Buritis, Belo Horizonte, MG, 30.455-902

Warley Silva de Oliveira (warleyoliveira.eng@gmail.com)
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Departamento de Engenharia de Transportes - DET
Av. Amazonas 5.253, Nova Suíça, Belo Horizonte, MG, 30.421-169

COMPARAÇÃO ENTRE OS MICROSSIMULADORES DE TRÁFEGO VISSIM E TRANSMODELER PARA A MODELAGEM DO TRÁFEGO URBANO

Roberto Mateus Nunes Torquato
Manoel Mendonça de Castro Neto
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO
Devido à complexidade do comportamento do tráfego em malhas congestionadas, a simulação microscópica tem sido, nas últimas décadas, uma ferramenta importante para auxiliar os tomadores de decisão na avaliação de alternativas mitigadoras destes problemas. Apesar de seu uso cada vez mais disseminado, ainda há lacunas importantes na compreensão do funcionamento dos microssimuladores na modelagem do tráfego urbano. Com este contexto, este trabalho de dissertação de mestrado possui o objetivo geral de realizar uma análise comparativa ente simuladores TransModeler e VISSIM, com enfoque na modelagem do tráfego urbano. Espera-se que este trabalho contribua no entendimento das principais vantagens e limitações de ambos simuladores, para diferentes aplicações.

Roberto Matheus Nunes Torquato (roberto.torquato@det.ufc.br)
Manoel Mendonça de Castro Neto (manoel@det.ufc.br)
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 703, CEP 60040-554, Fortaleza, CE