

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Daniela Lichtler Cassel**

**OPERAÇÃO DE TRÁFEGO URBANO: ANÁLISE DO  
IMPACTO DA REDUÇÃO DO LIMITE DE VELOCIDADE  
COMO MEDIDA DE SEGURANÇA VIÁRIA**

Porto Alegre  
novembro 2015

**DANIELA LICHTLER CASSEL**

**OPERAÇÃO DE TRÁFEGO URBANO: ANÁLISE DO  
IMPACTO DA REDUÇÃO DO LIMITE DE VELOCIDADE  
COMO MEDIDA DE SEGURANÇA VIÁRIA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Helena Beatriz Bettella Cybis**  
**Coorientador: Felipe Caleffi**

Porto Alegre  
novembro 2015

**DANIELA LICHTLER CASSEL**

**OPERAÇÃO DE TRÁFEGO URBANO: ANÁLISE DO  
IMPACTO DA REDUÇÃO DO LIMITE DE VELOCIDADE  
COMO MEDIDA DE SEGURANÇA VIÁRIA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pelos Coordenadores da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, novembro de 2015

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis  
Doutora pela University of Leeds  
Orientadora

Prof. Felipe Caleffi  
Mestre pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul  
Coorientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis**  
(UFRGS)  
Doutora pela University of Leeds

**Prof. Felipe Caleffi**  
(UFRGS)  
Mestre pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul

**Profa. Christine Tessele Nodari**  
(UFRGS)  
Doutora pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Marcos e Nara, que me apoiaram em todos os sentidos e sempre estiveram ao meu lado durante todo meu período de graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis, orientadora deste trabalho, e ao Felipe Caleffi, coorientador, pelo grande suporte que deram ao longo do desenvolvimento do trabalho e pelo conhecimento a mim repassado.

Ao Prof. Luis Antonio Lindau e à Marta Obelheiro que doaram parte do seu tempo, especialmente no início do desenvolvimento deste trabalho, para esclarecer dúvidas e pelas sugestões de melhoria.

Ao Douglas Zechin e à Laísa Kappler pela ajuda e companhia durante o período em que produzi o trabalho no laboratório e na coleta de dados em campo.

À professora Carin Maria Schmitt pela ajuda com a formatação do trabalho.

Ao Celso Fritsch pelo suporte técnico que viabilizou o uso do software utilizado na pesquisa.

Ao Marcos Henrique Cassel, pela ajuda na revisão do trabalho.

A todos os amigos e familiares que me deram força durante esta fase final da minha graduação, sempre torcendo por mim, e que compreenderam minha ausência nos momentos que dediquei meu tempo aos estudos.

Aos meus pais que sempre estiveram presentes, dando apoio e incentivo em todos os momentos da vida, e pelo amor incondicional. Amo vocês!

É impossível um homem aprender  
aquilo que ele acha que sabe.

*Epictetus*

## RESUMO

A redução da velocidade limite em zonas urbanas tem se mostrado uma medida adotada cada vez mais por países na tentativa de reduzir o número de mortes por acidentes de trânsito. Atualmente parte do ranking das dez maiores causas de mortes no mundo, os acidentes viários representam um grande prejuízo para os governos e população, a níveis econômicos e sociais, o que nas últimas décadas passou a sensibilizar governantes sobre a importância do tratamento deste problema. Desde então, a aplicação dessa medida divide opiniões sobre a eficiência da mesma na segurança no tráfego urbano e seu impacto negativo sobre a operação do tráfego – a população geralmente vê na redução das velocidades limites uma ameaça de diminuição de capacidade ou aumento de tempos de viagem e congestionamentos, impressão que, apesar de compreensível, não é comprovada e não pode ser tomada como verdade. Este trabalho busca verificar os efeitos gerados pela redução da velocidade limite em zonas urbanas, tanto no mérito da segurança, quanto no mérito da operação viária. Para isto, inicialmente fez-se uma pesquisa de estudos já feitos na área, sobre ambos os tópicos. Buscou-se compreender aspectos gerais de segurança viária e a relação deste assunto com as velocidades veiculares, entender o processo de definição dos limites de velocidade e as tendências na adoção dos limites que atualmente vêm sendo feitas ao redor do mundo. Também buscou-se reunir conhecimentos básicos sobre o processo de simulação de tráfego para ter-se uma base que possibilitasse uma análise através de simulação computacional. A proposta desta análise foi, através da simulação de uma via arterial utilizando o software VISSIM, encontrar a relação entre a redução da velocidade limite com a operação da via, averiguando as variáveis de tempo de viagem, tempo de atraso, tempo parado e número de paradas para diferentes fluxos. Dado que em ambientes urbanos a sinalização semafórica influencia fortemente a operação do tráfego, a sua aplicação também foi considerada nos cenários para verificação do respectivo impacto. As pesquisas e análises mostraram que o impacto sobre a segurança é muito eficaz e o impacto sobre a operação do tráfego é bastante baixo, em alguns casos imperceptível. Um dos benefícios mais claros encontrados através da simulação foi a redução da variabilidade das variáveis analisadas. Verificou-se também que a magnitude do fluxo e a coordenação semafórica podem interferir significativamente nos resultados.

Palavras-chave: Limite de velocidade. Segurança viária. Simulação de tráfego.

## **ABSTRACT**

The reduction of the speed limit in urban areas has proven to be a measure adopted by several countries in an increasing way in an attempt to reduce the number of fatalities due to crashes. Currently part of the top ten causes of death worldwide, road accidents represent a great loss for governments and population, in economic and social levels, what in recent decades started to sensitize governments about the importance of treating this problem. Since then, the adoption of this measure divides opinions about its efficiency on urban traffic safety and about its negative impact on the operation of traffic – people usually see the reduction of speed limits as a threat of reduction of capacity or increase in travel times and congestion, an impression which, although understandable, is not proved and cannot be taken as a fact. This study aims to verify the effects generated by speed limit reduction in urban areas, both on the matter of safety, as on the matter of road operation. Thus, firstly a research was made on studies already covering these topics. It was sought to understand general aspects of road safety and the relationship of this subject with vehicular speeds, understand the process of setting speed limits and current trends in the adoption of limits around the world. It was also sought to gather basic knowledge about traffic simulation processes to base an analysis by computer simulation. The purpose of this analysis was, by simulating an arterial road using the software VISSIM, to find the relationship between the reduction of the speed limit with the road operation, investigating travel time, delay time, stopped time and number of stops for different flows. Once in urban areas traffic lights strongly influence the traffic operation, these elements were also considered in the scenarios to verify their impacts. The older studies and the analysis of this work showed that the impact on safety is very effective and the impact on traffic operation is quite low, in some cases imperceptible. One of the clearest benefit found through the simulation was the reduction in the variability of the analyzed variables. It was also found that flow magnitude and coordination of signaling can significantly impact the results.

Palavras-chave: Speed limit. Road safety. Traffic simulation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema das etapas da pesquisa.....	17
Figura 2 – Taxas (por 100 mil habitantes) de óbitos em acidentes de trânsito no Brasil, 1996/2010*.....	21
Figura 3 – Mortes por bilhão de quilômetros percorridos.....	23
Figura 4 – Fatores que contribuem para acidentes de trânsito e sua inter-relação.....	27
Figura 5 – Risco de morte em função da velocidade e do tipo de acidente.....	37
Figura 6 – Taxa de mortes no trânsito das principais metrópoles mundiais.....	44
Figura 7 – Av. Vieira Souto, RJ.....	45
Figura 8 – Av. das Américas, RJ.....	45
Figura 9 – Exemplo de um diagrama espaço-tempo.....	65
Figura 10 – Trecho analisado.....	68

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resultados de estudos acerca do impacto da variação da velocidade de fluxo sobre a incidência de acidentes.....	35
Quadro 2 – Estudos sobre o impacto da variação da velocidade limite legal sobre a velocidade real dos veículos.....	47
Quadro 3 – Estudos sobre o impacto da variação da velocidade limite legal sobre a segurança viária e operação da via.....	49
Quadro 4 – Vantagens e desvantagens de modelos macro, meso e (sub)microscópicos..	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Melhor estimativa dos expoentes para o <i>Power Model</i> revisado.....	34
Tabela 2 – Recomendações de limites de velocidade máximos segundo o Sistema Seguro.....	42
Tabela 3 – Recomendações de limites de velocidade máximos segundo o Código de Trânsito Brasileiro.....	43
Tabela 4 – Cenários simulados.....	73
Tabela 5 – Resultados das simulações: tempo total de viagem por veículo (em segundos).....	75
Tabela 6 – Variação das estatísticas do tempo total de viagem por veículo para os casos de redução de velocidade.....	76
Tabela 7 – Resultados das simulações: tempo de atraso por veículo (em segundos).....	77
Tabela 8 – Variação das estatísticas do tempo de atraso para os casos de redução de velocidade.....	77
Tabela 9 – Resultados das simulações: tempo parado por veículo (em segundos).....	79
Tabela 10 – Variação das estatísticas do tempo parado por veículo para os casos de redução de velocidade.....	79
Tabela 11 – Resultados das simulações: número de paradas por veículo.....	80
Tabela 12 – Variação das estatísticas do número de paradas por veículo para os casos de redução de velocidade.....	81

## **LISTA DE SIGLAS**

ABRAMET – Associação Brasileira de Medicina de Tráfego

BRT – Bus Rapid Transit

Denatran – Departamento Nacional de Trânsito

EPTC – Empresa Pública de Transporte e Circulação

IMBQ – Índice de mortes por bilhão de quilômetro

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPVA – Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores

LASTRAN – Laboratório de Sistema de Transportes

OECD – Organization for Economic Co-Operation and Development

OMS – Organização Mundial da Saúde

PIB – Produto Interno Bruto

TRL – Transport Research Laboratory

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UTI – Unidades de Tratamento Intensivo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA .....</b>	<b>15</b>
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	15
2.2.1 Objetivo principal.....	15
2.2.2 Objetivos secundários.....	15
2.3 PRESSUPOSTO.....	16
2.4 PREMISA .....	16
2.5 DELIMITAÇÕES.....	16
2.6 LIMITAÇÕES.....	16
2.7 DELINEAMENTO.....	17
<b>3 SEGURANÇA VIÁRIA.....</b>	<b>19</b>
3.1 BREVE HISTÓRICO.....	19
3.2 IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA VIÁRIA.....	21
3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA NO BRASIL.....	22
3.4 CONCEITOS, DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS.....	25
<b>3.4.1 Acidentes de trânsito.....</b>	<b>25</b>
<b>3.4.2 Fatores contribuintes.....</b>	<b>26</b>
3.4.2.1 Fatores humanos.....	28
3.4.2.2 Fatores viário-ambientais.....	29
3.4.2.3 Fatores veiculares.....	29
<b>3.4.3 Medidas de segurança viária.....</b>	<b>29</b>
<b>4 A VELOCIDADE E A SEGURANÇA VIÁRIA.....</b>	<b>32</b>
4.1 IMPACTO DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE NA FREQUÊNCIA DE ACIDENTES.....	33
4.2 IMPACTO DA VELOCIDADE SOBRE AS CHANCES DE SOBREVIVÊNCIA..	36
4.3 GESTÃO DE VELOCIDADE.....	38
4.4 LIMITE DE VELOCIDADE LEGAL.....	38
<b>4.4.1 Definição do limite de velocidade.....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.2 Hierarquização de vias.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4.3 Limites de velocidade indicados.....</b>	<b>42</b>
<b>4.4.4 Limites de velocidade máxima urbana no Brasil e no mundo.....</b>	<b>44</b>
<b>5 REDUÇÃO DO LIMITE MÁXIMO DE VELOCIDADE.....</b>	<b>46</b>

5.1 EFEITO DA REDUÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE SOBRE A VELOCIDADE DOS VEÍCULOS.....	46
5.2 IMPACTOS DA REDUÇÃO DO LIMITE DE VELOCIDADE NA SEGURANÇA E OPERAÇÃO DO TRÁFEGO.....	48
<b>5.2.1 Justificativas para o baixo impacto na operação em ambiente urbano.....</b>	<b>54</b>
<b>5.2.2 Outras vantagens da redução de velocidades limite.....</b>	<b>54</b>
5.3 RESISTÊNCIA PARA ADOÇÃO DA MEDIDA.....	55
5.4 CASOS DE REDUÇÃO DO LIMITE LEGAL NO MUNDO E NO BRASIL.....	56
<b>6 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.....</b>	<b>58</b>
6.1 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS.....	59
6.2 VISSIM.....	62
6.3 ETAPAS DA SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.....	63
6.4 SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA.....	64
<b>7 ANÁLISE DA REDUÇÃO DE VELOCIDADE EM UMA VIA ARTERIAL.....</b>	<b>67</b>
7.1 ETAPAS DA SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.....	67
<b>7.1.1 Concepção dos cenários avaliados.....</b>	<b>67</b>
7.1.1.1 Definição do software.....	67
7.1.1.2 Definição do objeto de análise.....	68
<b>7.1.2 Levantamento e codificação de dados.....</b>	<b>69</b>
<b>7.1.3 Calibração do modelo.....</b>	<b>70</b>
<b>7.1.4 Modelagem dos cenários avaliados.....</b>	<b>72</b>
<b>7.1.5 Análise de resultados.....</b>	<b>74</b>
7.1.5.1 Impactos no tempo de viagem.....	75
7.1.5.2 Impactos no tempo de atraso.....	76
7.1.5.3 Impactos no tempo parado.....	78
7.1.5.4 Impactos no número de paradas.....	80
7.1.5.5 Análises gerais e observações.....	81
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>83</b>
REFERÊNCIAS .....	86

## 1 INTRODUÇÃO

A importância da segurança viária ganha grande dimensão quando se olha para alguns fatos e estatísticas relacionados. A Organização Mundial da Saúde coloca os acidentes de trânsito como a oitava maior causa de mortes no mundo (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2013). No ano de 2010, morreram 1.254.896 pessoas no mundo em decorrência de acidentes de trânsito, dos quais 43.869 ocorreram no Brasil – número que atribui ao país a 34ª posição dos países com maior taxa de mortes no trânsito por habitante (WORLD HEALTH ORGANIZATION, [2014?a]). Não bastasse o custo humano e social (sofrimento, sequelas, perda de qualidade de vida, desestruturação de famílias, etc.), acidentes de trânsito também geram um custo econômico muito elevado. Em 2012, o custo relativo aos acidentes de trânsito, considerando todos os países do mundo, foi estimado como sendo da ordem de US\$ 800 bilhões (FERRAZ et al., 2012, p. 23). Incluídos neste valor estão o custo com hospitais, pensões por invalidez, recuperação de danos, processos, etc. Além disso, a morte de cidadãos representa o desperdício de todo o dinheiro já investido em educação que foi usufruída pelos mesmos, além da perda de recurso humano e intelectual.

Mesmo com os altos números citados acima, a segurança viária tem sua importância frequentemente subestimada, sendo comumente deixada em segundo plano em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. Atualmente, o interesse sobre este tema passou a ganhar maior destaque que nas últimas décadas: pode-se verificar o aumento de interesse mundial com relação à segurança viária observando, por exemplo, a criação e implementação dos vários programas e planos por parte de diversos países e organizações que visam combater os acidentes de trânsito e suas consequências. Entre eles, pode-se citar o programa *Vision Zero* (SWEDEN, [1994?]), posto em prática na Suécia, o programa australiano *Towards Zero* (WESTERN AUSTRALIA, 2014), a *Decade of Action for Road Safety 2011-2020* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011), lançada pela Organização das Nações Unidas, entre outros. Internacionalmente, a preocupação com o tema iniciou mais cedo do que no Brasil e dados indicam que os frutos das políticas de segurança adotadas já podem ser percebidos (CHAGAS, 2011, p. 26). O Brasil ainda está dando seus primeiros passos nesse quesito. Segundo Chagas (2011, p. 19), “Desde 1997, o Código de Trânsito Brasileiro

(BRASIL<sup>1</sup>, 2008) procurou suprir o país com uma legislação mais rigorosa em busca da redução de acidentes. No entanto, ainda há um longo caminho a percorrer neste sentido.”.

Um grande problema de segurança viária no Brasil são os altos limites de velocidade em vias urbanas, as quais não raramente possuem diversas travessias de pedestres em nível (tanto travessias sinalizadas como as feitas pelos pedestres fora das faixas de segurança). O Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 2008), por exemplo, recomenda velocidades de até 80 km/h para estas áreas. A velocidade influencia diretamente a frequência e a gravidade dos acidentes, especialmente nos casos envolvendo pedestres, e por esse motivo diversos países desenvolvidos (que não por coincidência possuem baixas taxas de mortes) adotam limites de velocidade mais seguros. No Brasil, a redução dos limites de velocidade não é vista com bons olhos por parte das autoridades responsáveis pela gestão do sistema viário e pela própria população, uma vez que passa a impressão de que a capacidade da via diminuirá ou que os tempos de viagem e o congestionamento aumentarão. Esta impressão, apesar de compreensível, não é comprovada e, portanto, não pode ser tomada como verdade.

Somado a esta ideia preconcebida de perda de agilidade no trânsito, a sensação de que as vias já são seguras – pois acidentes são eventos raros (PROCTOR; BELCHER, [1994?], p. 1) –, reforça o fato de que o desejo das pessoas por mobilidade e rapidez prevalece sobre o desejo de segurança. Em decorrência disso, ainda é baixa a aceitação da medida de redução da velocidade por parte dos tomadores de decisão e da sociedade.

Tendo em vista a importância de se ter vias mais seguras, e considerando, mais especificamente, este impasse sobre limite máximo de velocidade e a recorrente dificuldade de aceitação de redução do mesmo, este trabalho pretende verificar o impacto que esta medida de segurança viária tem sobre a operação de tráfego urbano. Os resultados dessa pesquisa poderão auxiliar no processo de justificação da adoção de menores limites de velocidade, analisando a magnitude do impacto na segurança e operação do tráfego, além de explorar opções de ações a serem aplicadas conjuntamente buscando mitigar os impactos negativos.

---

<sup>1</sup> BRASIL. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. **Código de Trânsito Brasileiro e Legislação Complementar em Vigor**. Brasília: Denatran, 2008.



## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o impacto que a redução do limite de velocidade tem sobre a segurança viária e sobre a operação de tráfego em uma via urbana?

### 2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### 2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação do impacto da redução do limite de velocidade na segurança viária e na operação de tráfego urbano através da investigação de estudos já feitos nesta matéria e da simulação de uma via arterial utilizando software específico de simulação de tráfego.

#### 2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) identificação de estudos e pesquisas já feitos a respeito de redução de limites de velocidade;
- b) descrição da metodologia utilizada para a simulação de tráfego urbano analisado;
- c) identificação do impacto da redução do limite de velocidade em vias arteriais:
  - no tempo total de viagem dos veículos;
  - no tempo total de atraso dos veículos;

- no tempo de atraso devido ao tempo parado dos veículos;
  - no número de paradas dos veículos.
- d) identificação da influência da coordenação semafórica e da intensidade do fluxo nos impactos citados no item “c”.

### 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que a rede modelada no simulador utilizado para os testes e a sua calibração, mesmo que não caracterizada totalmente para o comportamento de motoristas brasileiros, são realistas e coerentes, de modo que os resultados obtidos são válidos.

### 2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa o fato de que diversas cidades brasileiras possuem vias urbanas com elevados limites de velocidades e existe grande resistência para diminuí-los para valores mais seguros, com o argumento de que isso possa comprometer o desempenho veicular. Em contrapartida, diversas cidades ao redor do mundo vêm reduzindo os limites de velocidade das áreas urbanas, sugerindo que esta medida possui um balanço geral de efeitos positivo.

### 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à pesquisa de estudos relacionados à redução da velocidade limite legal em vias urbanas e ao estudo de um trecho de via arterial, com o auxílio de um software de análise de tráfego, atentando para quatro aspectos específicos da operação de tráfego urbano:

- a) tempo de viagem;
- b) tempo de atraso;
- c) tempo de atraso devido ao tempo parado;
- d) número de paradas.

### 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a análise de uma via arterial baseada em dados de uma via brasileira, dada a dificuldade de ter acesso a contagens volumétricas completas para ambientes urbanos brasileiros que possibilitariam o estudo de uma via real;
- b) dadas as limitações de tempo e recursos, não foi feita a calibração do software com dados brasileiros de comportamento de tráfego. O uso do simulador foi feito com a configuração padrão do mesmo, a qual foi calibrada considerando as características comportamentais de motoristas europeus.

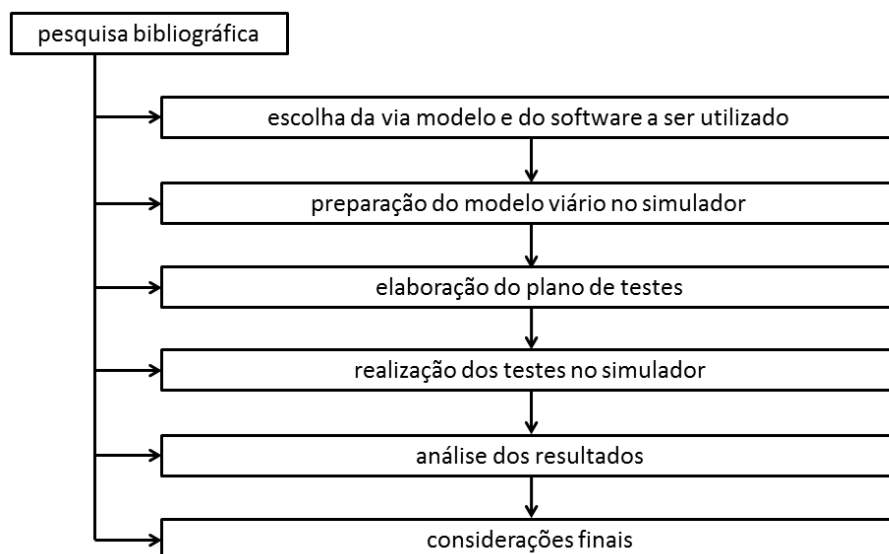
## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) escolha da via modelo e do software a ser utilizado;
- c) preparação do modelo viário no simulador;
- d) elaboração do plano de testes;
- e) realização dos testes no simulador;
- f) análise dos resultados;
- g) considerações finais.

Cada uma destas etapas e suas devidas relações estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos.

Figura 1 – Esquema das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

Como etapa inicial do trabalho, a **pesquisa bibliográfica** buscou um aprofundamento no tema a ser estudado, de modo a acumular conhecimento suficiente sobre o assunto para justificar as tomadas de decisão e posteriormente fazer considerações finais com base nos resultados. Entre as várias fontes consultadas, pode-se citar livros sobre temas relacionados, publicações de organizações internacionais, artigos acadêmicos, manuais, entre outros. Este esforço, apesar de ser a etapa inicial do trabalho, perdurou ao longo de toda a duração do mesmo, contribuindo com as etapas seguintes.

A **escolha da via modelo e do software a ser utilizado** se deu de acordo com os recursos disponíveis: a facilidade de obtenção de dados de tráfego (fluxo, programação semafórica) definiu a escolha da via e o simulador utilizado foi o que a autora estava mais familiarizada e tinha acesso.

Com as escolhas citadas acima definidas, foi feita a **preparação do modelo no software de simulação** através do desenho do modelo da via (geometria, sentidos de fluxo, etc.) e abastecimento do modelo com os dados disponíveis. Em seguida, se prosseguiu com o **planejamento dos testes** a serem feitos para a análise que este trabalho se dispõe a fazer. O planejamento levou em conta informações obtidas durante a pesquisa bibliográfica e as características da via modelada e das ferramentas de medidas e verificação que o software utilizado dispunha. Após, prosseguiu-se com a **realização dos testes** para os diferentes cenários estabelecidos.

Os **resultados obtidos nos testes de simulação foram analisados** buscando verificar o impacto que os cenários de redução do limite de velocidade na via modelada causam nas variáveis de análise da operação do tráfego. Por fim, foram feitas as **considerações finais** com base nas análises apresentadas no capítulo anterior.

### 3 SEGURANÇA VIÁRIA

Este capítulo apresenta a pesquisa bibliográfica sobre o tema Segurança Viária. Nele, aborda-se inicialmente de maneira breve a história da Segurança Viária, sua importância, e sua aplicação no contexto brasileiro. Nas seções finais, incluiu-se uma revisão das principais definições relevantes para este trabalho.

#### 3.1 BREVE HISTÓRICO

O fenômeno do trânsito existe desde os primórdios da humanidade, uma vez que toda atividade humana está intimamente ligada com deslocamentos. Os primeiros problemas de trânsito começaram nos tempos do império Romano, devido às suas grandes dimensões e necessidades de deslocamento de tropas, mas a seriedade dos problemas passou a ser maior somente após a revolução industrial, com o surgimento dos veículos automotores (PONTES, 2009, p. 25-26).

A ocorrência dos primeiros acidentes desencadeou a criação de leis regulamentadoras de maneira quase imediata para evitá-los, tanto em países estrangeiros, como no Brasil. Em 1897 o primeiro carro chegou ao território brasileiro e no mesmo ano já causou o primeiro acidente em nossas terras. Segundo Pontes (2009, p. 27), “Diante do primeiro acidente registrado, o Poder Público e o Automóvel Clube do Brasil, começam a se esforçar no sentido de tornar o tráfego mais seguro, direcionando as suas ações para os pedestres e para os motoristas.”. Com os primeiros esforços, em 1906 o país passa a exigir o exame de habilitação de motoristas, e a partir daí a legislação voltada para o tráfego veicular continuou se desenvolvendo ao longo dos anos. Dentre as várias leis criadas, dá-se destaque para o primeiro Código de Trânsito do Brasil o qual surgiu em 1941 com o Decreto-Lei nº 3.671, a Lei nº 5.108 criada em 1966 e o atual Código de Trânsito Brasileiro instituído pela Lei nº 9.503 de 1997 (LOPES, 2014, p. 15).

Com a popularização dos veículos automotores, o problema da segurança viária foi ficando cada vez mais sério. O crescimento da frota mundial de veículos nas últimas décadas foi tão grande e rápido que o planejamento urbano das cidades não conseguiu acompanhar a nova

realidade, ocasionando um crescente número de acidentes viários. Até então, os esforços referentes a problemas de segurança viária eram colocados como questões secundárias em favor dos problemas de congestionamento, rapidez, entre outros aspectos de operação de tráfego. Por um bom período sequer tentou-se controlar o crescimento do número de fatalidades em decorrência de acidentes viários, o que fez com que este chegasse a números altíssimos alcançando posição entre as dez principais causas de morte da atualidade (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2014b). As estatísticas mais alarmantes das últimas décadas foram o gatilho para que diversos países começassem a tomar medidas mais eficazes de segurança viária.

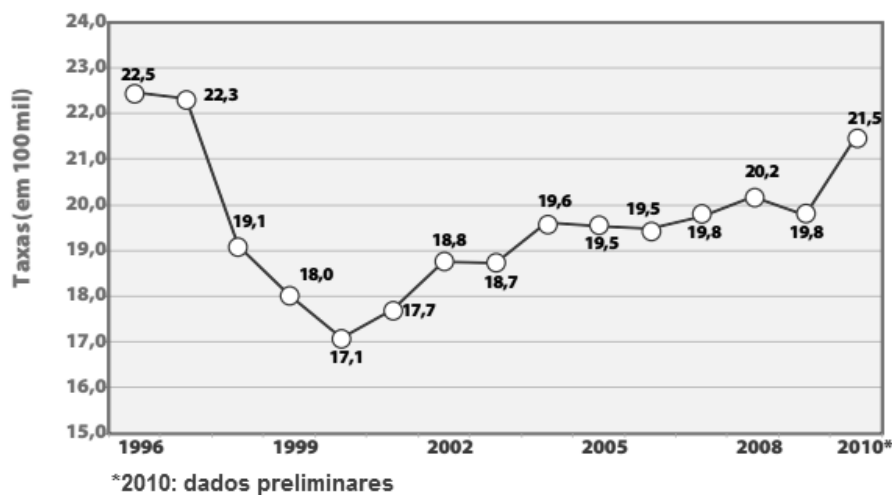
Na busca da diminuição de acidentes de trânsito, vários programas foram criados ao redor do mundo. Um entre os de maior destaque atualmente é o *Decade of Action for Road Safety 2011-2020* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011), lançado em 11 de maio de 2011 pela Organização das Nações Unidas, que busca envolver a nível mundial governos, iniciativas privadas, organizações não-governamentais e sociedade civil na busca de um objetivo principal: salvar 5 milhões de vidas. A partir de cooperações multi-setoriais, o programa proporciona suporte aos países envolvidos no que diz respeito às questões dos planos para a Década, principalmente para os países de baixa e média renda.

Os frutos das primeiras ações tomadas, hoje já são verificados e evidentes. Segundo dados do *Road Safety Annual Report 2014* (INTERNATIONAL TRAFFIC SAFETY DATA ANALYSIS GROUP, 2014, p. 10), por exemplo, entre os anos de 2000 e 2012, a redução de mortes em acidente nos países participantes do *International Road Traffic and Accident Database* variou de 10 a 70% dependendo do país. No Brasil, também pode-se observar os efeitos que o Código de Trânsito Brasileiro de 1997 gerou, com uma queda significativa na taxa de óbitos em acidentes de trânsito nos 3 anos seguintes ao início do período de vigência do código (figura 2).

Além de mostrar o efeito positivo do código de 1997, a figura 2, que mostra o gráfico publicado no Mapa da Violência 2012 – Caderno complementar 2 (WASELFSZ, 2012, p. 7), revela que desde 2000, apenas 3 anos após a criação do Código Brasileiro de Trânsito, a mortalidade no trânsito voltou a crescer. Existe grande chance de esta tendência ser decorrente da falta de um constante acompanhamento e de novas medidas após a implementação do código. De acordo com Ferraz et al. (2012, p. 19), “[...] esse cenário vai se

tornar ainda mais trágico se políticas adequadas não forem colocadas em prática, pois a previsão é que esses números irão crescer ainda mais [...]”.

Figura 2 – Taxas (por 100 mil habitantes) de óbitos em acidentes de trânsito no Brasil, 1996/2010\*



(fonte: WAISELFISZ, 2012, p. 7)

### 3.2 IMPORTÂNCIA DA SEGURANÇA VIÁRIA

O gráfico da figura 2 alerta para a necessidade de um acompanhamento contínuo dos indicadores de segurança associado a medidas mitigadoras dos problemas, quando necessário. O monitoramento das medidas de segurança envolve constantes investimentos de recursos financeiros, humanos e tecnológicos, e é compreensível que se pergunte até que ponto é válido dispendar valores nessa questão.

A alta relevância da segurança viária é percebida no fato de que sua falta afeta a sociedade em diversos aspectos e em todas as magnitudes: engloba aspectos humanos, sociais, ambientais e econômicos (FERRAZ et al., 2012, p. 23-24), da dimensão familiar até o nível de governo nacional. Os problemas são normalmente mais evidentes nos países menos desenvolvidos: de acordo com o *World Report on Road Traffic Injury Prevention* (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004, p. 33), os países em desenvolvimento representaram 90% das mortes no trânsito em 2002. Para Ferraz et al. (2012, p. 293), “A explicação para isso é que nos estados economicamente menos desenvolvidos são menores os recursos investidos em

segurança viária, compreendendo as áreas de Educação, Fiscalização, Saúde, Sistema Viário, etc.”.

Com relação a custos econômicos decorrentes de acidentes, em 2012, em todo o mundo, foi gasto um valor estimado como sendo da ordem de US\$ 800 bilhões (FERRAZ et al., 2012, p. 23). No Brasil, as estimativas para o mesmo ano são de que R\$ 52,15 bilhões foram dispendidos, R\$ 39,50 bilhões com acidentes em rodovias e R\$ 12,65 bilhões com acidentes em aglomerado urbanos. O total desses valores corresponde a 1,21% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro do respectivo ano. Pesquisas indicam que os acidentes viários podem corresponder a até 3% do PIB dos países (WORLD HEALTH ORGANIZATION, [2010?]).

Na conta do custo econômico, são considerados danos materiais de veículos, objetos e equipamentos; remoção dos veículos acidentados; custos de resgate das vítimas, médico-hospitalares, de tratamento e reabilitação das vítimas; custos de congestionamento; perdas de dia de trabalho; pensões e aposentadorias precoces; custos policiais e judiciários; funerais; perda de rendimentos futuros; etc. Sabe-se, porém, que os custos são maiores, pois existem aspectos difíceis de mensurar ou não possíveis de serem expressos em valor monetário que não são considerados, caso dos custos humanos, sociais e ambientais. Estes incluem o sofrimento das vítimas e familiares, sequelas físicas, desestruturação de famílias, etc.

Existe, portanto, não somente a necessidade, mas a conveniência de investimento na mitigação dos problemas de segurança viária. Os altos números apresentados neste trabalho mostram, inclusive, que este investimento é de caráter urgente. Especialmente para os países de baixa e média renda, Chagas (2011, p. 19) diz que é necessário “[...] mudar rapidamente para um sistema que contemple a abordagem preventiva de segurança e foco em resultados, ao invés de aceitar esses impactos como um preço inevitável do progresso econômico.”. De acordo com o Waiselfisz (2012, p. 3), “Se nada for feito, a OMS [Organização Mundial da Saúde] estima que deveremos ter 1,9 milhão de mortes no trânsito em 2020 e 2,4 milhões em 2030.”.

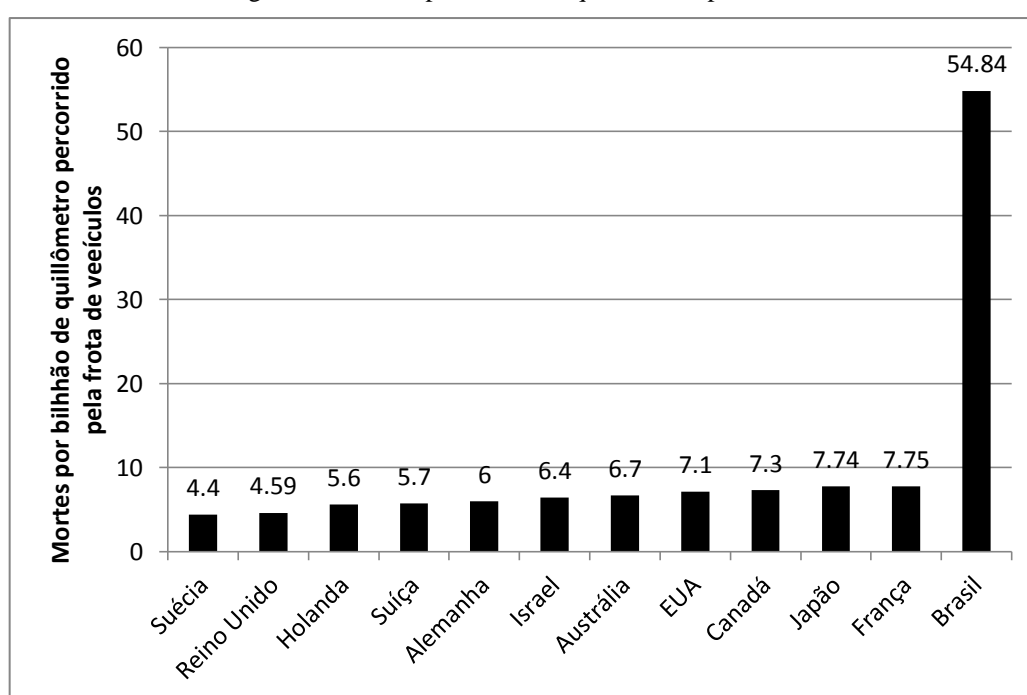
### 3.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA NO BRASIL

O Brasil ainda precisa de muito trabalho direcionado para a segurança viária. Somente em 2012, 44.812 pessoas morreram em decorrência de acidentes de transporte terrestre (BRASIL,



2014). Conforme Ferraz et al. (2012, p. 21), “[...] no Brasil, o índice de mortes por bilhão de quilômetro percorrido pela frota de veículos rodoviários (IMBQ), o parâmetro mais adequado para medir a segurança no trânsito, é 7 a 12 vezes maior em relação aos países mais desenvolvidos tomados como referência [...]”. O gráfico da figura 3 mostra a grande diferença entre o Brasil e os países desenvolvidos tomados pelo autor como comparativo. Nas palavras do autor (FERRAZ et al., 2012, p. 20), “No Brasil, a acidentalidade no trânsito constitui uma verdadeira catástrofe.”.

Figura 3 – Mortes por bilhão de quilômetros percorridos



(fonte: FERRAZ et al., 2012, p. 21)

Além de mortes, acidentes resultam também em diversas vítimas não fatais, as quais representam outro grande problema no Brasil. Segundo Ribeiro (2014), 60% dos leitos das Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs) são ocupados por vítimas de acidentes de trânsito. Esta alta incidência causa superlotação dos leitos de ortopedia e impede que pacientes com doenças crônicas tenham acesso ao atendimento adequado. Isso significa que o problema da segurança viária no Brasil tornou-se também um grande problema de saúde pública.

Hoje, já existe certa consciência no Brasil da importância da segurança viária e da necessidade de ações e investimentos na área. Uma grande dificuldade nesta prevenção e mitigação de acidentes presente nas cidades, porém, é encontrada na cultura e no perfil

comportamental dos brasileiros. A população, em geral, não tem a percepção da real gravidade do problema. Uma vez que acidentes de trânsito são eventos raros (PROCTOR; BELCHER, [1994?], p. 1), as chances de um indivíduo se envolver em um acidente são pequenas, e, portanto, cria-se uma falsa percepção de que as vias já são seguras. Com essa errônea ideia em mente, a valorização da mobilidade e rapidez prevalece sobre o desejo de segurança, e surge uma maior dificuldade de aceitação das medidas de segurança viária, dado que estas geralmente afetam a operação do tráfego negativamente.

Outro fato que demonstra a despreocupação com segurança viária por parte da população é o resultado de uma pesquisa feita pelo IPEA (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2006, p. 65). Através de entrevistas com pessoas diretamente envolvidas em acidentes, avaliou-se a disposição das mesmas a pagar, através de um acréscimo nas taxas do Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores (IPVA), um valor que seria destinado a evitar envolvimento em um novo acidente. De todas as pessoas entrevistadas, 75% não estariam dispostas a contribuir com nenhum valor.

Outros problemas no contexto brasileiro que podem ser mencionados são a pouca tradição em estudos de acidentes (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES<sup>2</sup>, 2002 apud CHAGAS, 2011), a falta de recursos financeiros, de especialistas e de um órgão governamental específico para tratar da segurança viária. Segundo Ferraz et al. (2012, p. 301):

Não existe um órgão gestor no governo federal com força institucional e recursos (técnicos e administrativos) para cuidar da segurança viária no país, [...].

Esse tipo de órgão existe em todos os países desenvolvidos e a sua criação é considerada essencial pelos organismos internacionais envolvidos com segurança no trânsito.

O Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), órgão do Ministério das Cidades, não tem força institucional para fazer de maneira adequada a gestão da segurança no trânsito no país, planejando e coordenando ações e viabilizando recursos, pois trata-se de uma simples divisão dentro de um ministério cujas prioridades são outras que não a segurança viária. Ademais, o Denatran exerce outras atividades de grande relevância na área do trânsito e não conta com estrutura administrativa e técnica para cuidar da segurança viária.

---

<sup>2</sup> ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. **Atividades prioritárias em pesquisa e desenvolvimento no CTTRANSPPO**, [S. l.: s. n.], 2002.

Dessa forma, o cenário brasileiro é bastante desafiador para as autoridades responsáveis e técnicos da área no sentido de combater a acidentalidade, convencendo a população da importância das medidas apropriadas e implementando-as.

A distribuição dos acidentes com vítimas por área no Brasil, de acordo com os dados que constam em um artigo da ABRAMET (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MEDICINA DE TRÁFEGO, 2008), é da ordem de 70% em área urbana, 17% em área rural e em 13% dos casos a informação foi considerada ignorada. Esses dados mostram a importância da necessidade de ações preventivas e mitigadoras de acidentes principalmente nas áreas urbanas, onde a grande maioria dos eventos acontece.

### 3.4 CONCEITOS, DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS

O tema da segurança viária engloba diversos assuntos. Nesta seção, pretende-se explorar alguns dos conceitos básicos considerados mais relevantes para a pesquisa em desenvolvimento.

#### 3.4.1 Acidentes de trânsito

Existem diversas definições para acidentes de trânsito, cada uma delas diferindo levemente uma da outra. A norma NBR10697 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989) define acidentes de trânsito como:

Todo evento não premeditado que resulte dano em veículo ou na sua 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. Pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública.

Além dessa definição, é válido citar ainda diversas características dos acidentes de trânsito. É consenso entre diversos autores que acidentes são eventos raros – uma interseção típica apresenta menos de um acidente por milhão de veículos que passam pela mesma (CHAGAS, 2011, p. 28). Um ponto de divergência, porém, é a percepção da eventualidade dos mesmos: alguns autores consideram que a percepção dos acidentes por parte dos usuários da via é de que estes sejam, de fato, eventos raros, dada pequena probabilidade do envolvimento em acidentes (FERRAZ et al., 2012, p. 30) – condição que diminui a importância dada à

segurança. Por outro lado, Chagas (2011, p. 28) defende que acidentes parecem frequentes do ponto de vista social.

Acidentes tendem a ser imprevisíveis com relação à hora e local. Geralmente ocorrem em decorrência de uma série de acontecimentos sequenciais somada à “[...] inabilidade dos condutores e pedestres em reconhecerem as situações de risco.” (BRANDÃO, 2006, p. [2]). Estes acontecimentos, frequentemente chamados de fatores contribuintes, são normalmente classificados em diferentes categorias e serão tratados mais especificamente na seção 3.4.2.

Geralmente, para cada um dos fatores contribuintes, pode ser recomendada pelo menos uma medida de mitigação ou prevenção. Essas recomendações variam de acordo com as características da via, como por exemplo, se a via se encontra em área urbana ou rural. Na seção 3.4.3 serão mencionadas algumas das principais medidas que podem ser tomadas.

Por causa do caráter multifatorial dos acidentes, França Júnior<sup>3</sup> (2003 apud CHAGAS, 2011) conclui que a eliminação de qualquer um dos fatores pode reduzir a probabilidade de ocorrer o acidente. Isso significa que independentemente do foco da ação, toda e qualquer medida mitigatória é válida para a diminuição do número de acidentes viários.

### 3.4.2 Fatores contribuintes

De acordo com Chagas (2011, p. 30) “Os fatores contribuintes de um acidente viário são as principais ações, falhas ou condições que levaram diretamente ao acidente. Eles mostram quais circunstâncias dão origem ao acidente e dão pistas de como este acidente poderia ter sido evitado.”. Os fatores são geralmente classificados como sendo de 3 tipos: humanos, viários-ambientais e veiculares (NAING et al., 2007, p. 10). Cada um desses tipos será abordado com maior detalhe nas seções seguintes, mostrando os principais exemplos de cada um deles, baseado na pesquisa de Chagas (2011), que reuniu os principais aspectos considerados ao redor do mundo.

Sant’Anna (2005) ainda inclui mais algumas classificações como fatores institucionais e sócio-culturais, que consideram regulamentação, fiscalização, presença da polícia,

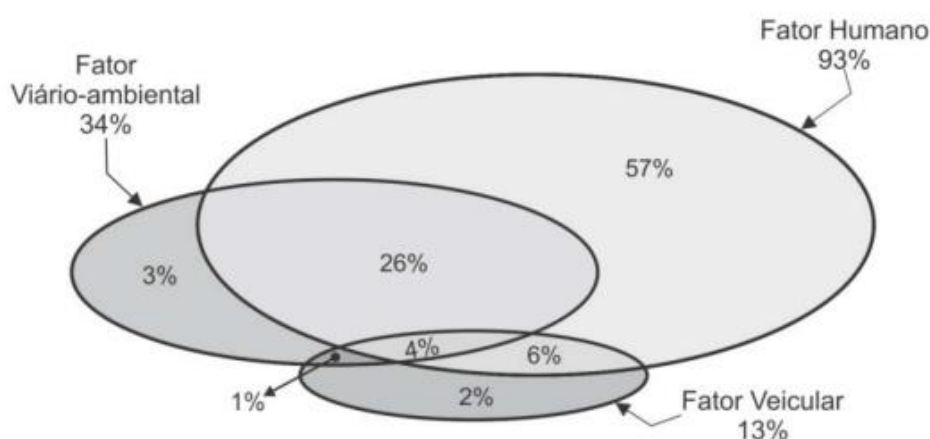
---

<sup>3</sup> FRANÇA JÚNIOR, R. T. Por que os acidentes ocorrem? Na visão da Engenharia de Tráfego. In: SEMINÁRIO CATARINENSE PELA PRESERVAÇÃO DA VIDA NO TRÂNSITO, 2003, Florianópolis. Demais informações não foram disponibilizadas.

sinalização, investimento em transporte e segurança, entre outros. Apesar disso, o comum na literatura são somente os três tipos de fatores citados no parágrafo anterior.

Cada um dos grupos de fatores não necessariamente atua sozinho sobre o tráfego e a ocorrência dos acidentes. A *World Road Association* (2007, p. 6) estimou a ação conjunta das 3 principais causas (humanas, viárias-ambientais e veiculares) sobre o sistema de segurança viária, a qual é apresentada na figura 4.

Figura 4 – Fatores que contribuem para acidentes de trânsito e sua inter-relação



(fonte: adaptada de WORLD ROAD ASSOCIATION, 2007, p. 6)

Como se pode observar, o fator humano está presente em 93% das causas de acidentes, sendo 57% das vezes o único fator contribuinte. O fator viário-ambiental aparece em segundo lugar com 34%, seguido pelo fator veicular, com 13%. Para Ferraz et al. (2012, p. 67):

[...] mesmo que o fator humano seja o principal fator de risco associado à ocorrência de acidentes, isso não deve ser usado para transferir a responsabilidade do acidente exclusivamente para a própria vítima. Como falhas humanas são inevitáveis, devem ser empregadas estratégias apropriadas que contribuam para a redução da probabilidade da ocorrência das mesmas; [...]

Nos 26% dos eventos em que as causas foram humanas e viário-ambientais, caso a via não tivesse apresentado os problemas que atuaram como causa dos acidentes, existe grande possibilidade de o acidente ter sido evitado. O problema da via pode ter sido o principal agente que oportunizou a chance para o erro humano.

Os fatores viário-ambientais são mais fáceis de serem tratados do que os fatores humanos e veiculares. Diminuir a incidência de fatores humanos implica em ter que lidar com a cultura, tradição e modo de pensar da sociedade, aspectos que muitas vezes estão enrustidos na população e, portanto, são muito mais complicados de serem mudados por requererem, além de recursos financeiros, um grande engajamento da sociedade, das autoridades políticas, dos órgãos de fiscalização, de entidades educacionais, etc. – talvez esse seja, inclusive, o motivo pelo qual a porcentagem referente aos erros humanos se mantenha sempre alta. Já o tratamento dos fatores veiculares é prejudicado pelo fato de cada veículo ser de responsabilidade de um indivíduo diferente, e, portanto, é difícil encontrar uma ação que alcance a totalidade da frota veicular problemática.

Além disso, fatores viários são mais fáceis de serem localizados: como os problemas nas vias são fixos, a identificação do problema é logo verificada pela ocorrência de acidentes similares sempre no mesmo ponto geográfico, o que não acontece no caso dos fatores veiculares e humanos.

#### **3.4.2.1 Fatores humanos**

Os fatores humanos geralmente estão relacionados aos condutores dos veículos ou ao pedestre envolvido. As decisões e/ou reações de cada usuário da via variam grandemente dependendo da situação de cada usuário.

Como alguns exemplos dos fatores humanos, pode-se citar (CHAGAS, 2011, p. 47-48): imprudência (velocidade muito elevada/insegura, distanciamento entre veículos muito pequeno), erros de decisão (falha ao dar preferência, parar ou fazer conversão, recuar de forma imprópria), falhas na condução do veículo (falha ao sinalizar, farol alto utilizado erroneamente, uso improprio do freio ou da via), infrações (desobedecer a sinalização, manobras ilegais), erros de desempenho ou reação (falha ao sinalizar, ao olhar, ao julgar, movimentos bruscos, perda de controle do veículo), debilidade ou distração (desatenção, cansaço, uso de drogas ou álcool), comportamento ou inexperiência (dirigir com agressividade, descuido ou pressa, fatores emocionais), visão prejudicada e até casos especiais como veículos roubados ou de emergência.

### 3.4.2.2 Fatores viário-ambientais

Como alguns exemplos de fatores viário-ambientais, pode-se citar (CHAGAS, 2011, p. 47): circunstâncias do ambiente (animais, vegetação, reflexo), climáticas (neblina, fumaça, chuva, neve, vento), de iluminação (falta de iluminação, ofuscamento), da via em si (obras, desvios, obstrução, sinalização inadequada) e da superfície (molhada, com óleo, areia, gelo).

### 3.4.2.3 Fatores veiculares

Fatores veiculares são os fatores relacionados principalmente a falhas nos sistemas dos veículos (sistema de freios, marchas, acelerador, volante, entre outros). Alguns aspectos secundários, como por exemplo, problemas no velocímetro, para-brisa e ajuste do banco, também podem ser considerados.

Como alguns exemplos de fatores veiculares, pode-se citar as falhas, desgastes e quebras no motor, pneus, freios, luzes, espelhos, carroceria, entre outros elementos do veículo (CHAGAS, 2011, p. 47).

Segundo Naing et al. (2007, p. 13), quando o gatilho do acidente é uma falha veicular, esta situação resultará em uma falha de caráter humano. Assim, os fatores veiculares normalmente precisam ser investigados concomitantemente com os fatores humanos para uma melhor compreensão do processo do acidente como um todo. O mesmo acontece para alguns casos quando o principal fator contribuinte é o viário-ambiental.

### 3.4.3 Medidas de segurança viária

Segundo Ferraz et al. (2012, p. 201), são diversas as ações que colaboram para uma melhor segurança viária, as quais podem estar nos âmbitos político-administrativo, esforço legal, educação, veículos/equipamentos de segurança e sistema viário. Todas elas têm uma política em comum que visa reduzir:

- a) a exposição ao risco;
- b) a quantidade de acidentes;
- c) a severidade dos acidentes;
- d) os danos às vítimas.

Medidas político administrativo envolvem reestruturação de órgãos governamentais, legislação, esforços para conseguir investimentos e um bom registro de dados, campanhas, planos e a promoção do engajamento social. Medidas de esforço legal englobam o aprimoramento das leis e normas, da fiscalização e dos processos de punição de infratores. No caráter educativo, pode-se citar o aprimoramento do ensino de trânsito em escolas e na formação de novos motoristas, bem como campanhas sociais educativas. O aprimoramento dos veículos e sua manutenção entram nas ações de âmbito veicular e no âmbito de sistema viário inclui-se o projeto das vias e sua sinalização, auditorias de segurança viária, barreiras para pedestres e/ou animais, etc.

As medidas relacionadas ao sistema viário são comumente chamadas de medidas de engenharia de segurança viária e tendem a induzir uma mudança no comportamento dos usuários da via através da adequação do ambiente viário a condições mais seguras, diminuindo assim a possibilidade de erros humanos e, conseqüentemente, a frequência e/ou gravidade dos acidentes.

Dentro desse contexto de medidas de engenharia de segurança viária, surgiu, por volta da década de 70 na Alemanha e na Holanda o termo *traffic calming*. O termo, de acordo com o Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego – *Traffic Calming* (EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE, [1999?], p. 22), “[...] designa a aplicação através da Engenharia de Tráfego, de regulamentação e de medidas físicas, desenvolvidas para controlar a velocidade e induzir os motoristas a um modo de dirigir mais apropriado à segurança e ao meio ambiente.”.

As medidas podem atuar de diversas formas, como dificultando o tráfego em velocidades elevadas através da remodelação de vias com deflexões verticais ou horizontais, alertando as situações de risco através de sonorizadores, impedindo movimentos específicos com o fechamento de ruas, impedindo o acesso de veículos específicos, implantação de rotatórias, etc.

Desde a criação do conceito, as medidas de *traffic calming* vêm sendo intensamente aplicadas em diversas áreas urbanas na Europa, tornando-se muito comuns em várias cidades do continente. No Brasil, apesar de tímidas, algumas ações também vêm sendo implementadas,



podendo-se citar como exemplo as cidades de Belo Horizonte e São Paulo com os projetos das áreas ambientais e bolsões residenciais.

É importante ressaltar que o método é indicado para áreas com alto fluxo de pedestres e ciclistas ou áreas residenciais, uma vez que pode não trazer os resultados esperados em outros casos. Ainda, os melhores resultados são alcançados quando um conjunto de medidas de *traffic calming* são aplicadas em sequencia e combinadas (EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE, [1999?])

## 4 A VELOCIDADE E A SEGURANÇA VIÁRIA

De todos os fatores contribuintes citados no capítulo 3.4.2 a velocidade incompatível com o ambiente viário aparece entre os principais e mais frequentes para diversos autores da literatura. Whitelegg e Haq (2006), por exemplo, defendem que a velocidade veicular é o fator que mais influencia a segurança viária. Segundo Ferraz et al. (2012, p. 69), “A velocidade alta é o principal fator associado aos acidentes com vítimas graves e/ou fatais.”, afirmação com a qual o manual *Speed Management* da OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008) também concorda. Não é por qualquer motivo que as medidas de *traffic calming*, medidas cujo principal objetivo é tornar as vias mais seguras, têm como principal consequência a redução das velocidades que ocorrem na área em que são aplicadas. A adoção de limites de velocidade mais baixos em diversas cidades nos últimos anos, como descrito na seção 5.4, também aponta para este fato.

Velocidades altas não são um bom atributo do ponto de vista de segurança viária por diversos motivos. Qualquer irregularidade na pista, problema com o veículo ou breve distração por parte de algum usuário da via (seja motorista, ciclista ou pedestre) pode levar à perda de controle do veículo e, estando este em alta velocidade, o tempo disponível para uma reação que possa reverter o quadro é menor, aumentando as chances de acidente. Além disso, é necessária uma distância de frenagem maior nessa situação de alta velocidade. A partir das leis físicas de conservação de energia, pode-se presumir também que, quanto maior for a velocidade do veículo, maior será a gravidade do acidente e menor a chance de vida.

Para citar um exemplo prático, Preston<sup>4</sup> (1990 apud HAWORTH et al., 2001) verificou que em países europeus e da América do Norte com velocidades limites urbanas de até 50 km/h a taxa média de mortes de pedestres entre 25 e 64 anos era 30% mais baixa do que a taxa dos países com um limite de velocidade urbano de 60 km/h. Admitindo que a velocidade dos veículos é mais baixa para limites de velocidades mais baixos, este estudo mostra claramente a influência da velocidade do tráfego sobre a segurança viária.

---

<sup>4</sup> PRESTON, B. The safety of walking and cycling in different countries. In: TOLLEY, R. (Ed.). **The greening of urban transport: Planning for cycling and walking in Western cities.** London: Bellhaven Press, 1990. p. 47-63.

É importante ressaltar que, em essência, não é a velocidade alta em si que determina a gravidade de um acidente e os níveis de mortalidade: o verdadeiro problema está na diferença de velocidades (CAVALCANTI, 2014). Assim, em estradas rurais, em que a ocorrência de pedestres no entorno é muito baixa, é aceitável que maiores ordens de velocidade sejam adotadas (principalmente se a interface entre a infraestrutura da via e o veículo for bem projetada para proteger contra colisões). Já nos casos de vias urbanas, em que existe alta interação entre automóveis, ciclistas, pedestres, residentes e comerciantes do entorno – elementos cujas velocidades máximas atingíveis variam muito de acordo com o tipo do usuário – é inconcebível que o tráfego dos veículos seja com altas velocidades. A maior dificuldade está em chegar-se a um consenso sobre qual é a máxima velocidade que se pode trafegar em uma via de modo a manter o ambiente seguro.

#### 4.1 IMPACTO DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE NA FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

Dadas as evidências da grande influência da velocidade de tráfego sobre a segurança viária, diversos estudos se propuseram a mensurar o impacto da variação da velocidade dos veículos em uma via. Dentre os estudos, alguns limitam-se à análise dos dados brutos, obtidos através de medições feitas em campo, trazendo estimativas dos impactos na segurança e em outras áreas (como impactos na operação, economia, saúde pública). Finch et al.<sup>5</sup> (1994 apud WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004), Kloeden et al. (1997) e Taylor et al. (2000) são alguns dos autores que se enquadram neste grupo. Outros estudos seguem um pouco mais além e criam modelos matemáticos empíricos para possibilitar a previsão dos impactos.

Dentre as pesquisas que desenvolveram modelos matemáticos, “o *Power Model* recebe destaque pela parcimônia e simplicidade” (ELVIK, 2009, tradução nossa). O modelo, baseado em dados empíricos de diversas pesquisas de diferentes países, foi criado em 2004 por Nilsson<sup>6</sup> e revisado e aperfeiçoado por Elvik (2009), e fornece uma boa descrição da relação entre velocidade e segurança viária, discriminando os casos de acordo com a severidade do acidente e tipo de via. A fórmula geral do *Power Model* é apresentada abaixo.

---

<sup>5</sup> FINCH, D. J.; KOMPNER, P.; LOCKWOOD, C. R.; MAYCOCK, G. **Speed, speed limits and accidents**. Crowthorne: Transport Research Laboratory, 1994. TRL Project Report PR 58.

<sup>6</sup> NILSSON, G. **Traffic safety dimensions and the Power Model to describe the effect of speed on safety**. Lund: Lund Institute of Technology and Society, 2004. Bulletin 221.

$$\frac{\text{Acidentes depois}}{\text{Acidentes antes}} = \left( \frac{\text{Velocidade depois}}{\text{Velocidade antes}} \right)^{\text{Expoente}} \quad (\text{fórmula 1})$$

O expoente da fórmula, segundo a versão mais atual revisada por Elvik (2009), depende do que se deseja analisar (número de acidentes ou vítimas), do tipo de acidente que se deseja analisar (fatal, grave ou leve) e do tipo de via (rural ou urbana). A tabela 1 apresenta o resumo dos expoentes.

Tabela 1 – Melhor estimativa dos expoentes para o *Power Model* revisado

<b>Tipo de acidente/ severidade</b>	<b>Vias rurais/ freeways</b>	<b>Vias urbanas/ residenciais</b>	<b>Todas as vias</b>
Acidentes fatais	4,1	2,6	3,5
Fatalidades	4,6	3,0	4,3
Acidentes com feridos graves	2,6	1,5	2,0
Feridos graves	3,5	2,0	3,0
Acidentes com feridos leves	1,1	1,0	1,0
Feridos leves	1,4	1,1	1,3
Acidentes com feridos (todos)	1,6	1,2	1,5
Feridos (todos)	2,2	1,4	2,0
Acidentes sem feridos	1,5	0,8	1,0

(fonte: baseada em ELVIK, 2009, p. III)

Segundo a fórmula 1, uma redução da velocidade na via gera necessariamente uma redução no número de acidentes, independentemente do caso analisado. O as versões do *Power Model* já foram utilizadas por diversas pesquisas para estimar parte dos benefícios que a diminuição da velocidade dos veículos na via gera. Entre eles, pode-se citar o relatório *Speed Management* (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2006), ou o relatório do projeto DaCoTa (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT, 2012).

O quadro 1 reúne os resultados de diversas pesquisas feitas acerca do impacto da variação da velocidade de fluxo, tanto as estimativas baseadas em dados brutos, como as estimadas pelo *Power Model*.

Quadro 1 – Resultados de estudos acerca do impacto da variação da velocidade de fluxo sobre a incidência de acidentes

<b>Fonte</b>	<b>Embasamento do estudo</b>	<b>Achados</b>
<b>Estimativas empíricas</b>		
Finch et al. <sup>7</sup> (1994 apud WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004)	Evidências empíricas de estudos em diversos países	Um aumento de 1 km/h na velocidade média do tráfego resulta tipicamente em um aumento de 3% na incidência de acidentes com vítimas e de 4 a 5% na incidência de acidentes fatais. A redução em 1 km/h traz as mesmas magnitudes em decréscimo
Kloeden et al. (1997)	Análise de 151 veículos com passageiros envolvidos em acidentes na região metropolitana de Adelaide, AU	Acima de 60 km/h, o risco de envolvimento em um acidente dobra a cada incremento de 5 km/h na velocidade de trajeto
Taylor et al. (2000)	Baseado em diversas pesquisas publicadas no TRL (Transport Research Laboratory) em 1994	Uma redução de 1 milha/h (aproximadamente 1,6 km/h) na velocidade média do tráfego gera uma redução de acidentes em vias urbanas de em torno de 6% para vias com velocidade baixa, 4% para vias com velocidade média e de 3% para vias de velocidade alta
<b>Estimativas através do <i>Power Model</i></b>		
European Commission Directorate General for Mobility and Transport (2012)	Baseado nas pesquisas empíricas do <i>Power Model</i>	Uma mudança de 1 km/h resulta em uma mudança nos acidentes com vítimas graves de 2% para uma via de 120 km/h e de 3% para uma via de 50 km/h
Organization for Economic Co-Operation and Development (2006)	Baseado nas pesquisas empíricas do <i>Power Model</i>	Reduzir a velocidade média em 5% traria uma redução de 10% em acidentes com vítimas e de 20% em acidentes fatais

(fonte: elaborado pela autora)

O potencial que o gerenciamento das velocidades tem na prevenção de acidentes e vítimas no trânsito é muito grande, como observado pelas pesquisas feitas neste campo mostradas no

<sup>7</sup> FINCH, D. J.; KOMPFFNER, P.; LOCKWOOD, C. R.; MAYCOCK, G. **Speed, speed limits and accidents**. Crowthorne: Transport Research Laboratory, 1994. TRL Project Report PR 58.

quadro 1. Para cada 1 km/h a redução de acidentes tende a reduzir de 3 a 5%, e o efeito é mais forte para vias de baixa velocidade e na prevenção de acidentes fatais. Archer et al. ([2007?]) verificou adicionalmente que diversas pesquisas indicam que mesmo reduções de velocidade modestas podem prevenir a ocorrência de colisões, principalmente as que envolvem usuários vulneráveis da via (como pedestres e ciclistas), que são mais predominantes no ambiente urbano.

## 4.2 IMPACTO DA VELOCIDADE SOBRE AS CHANCES DE SOBREVIVÊNCIA

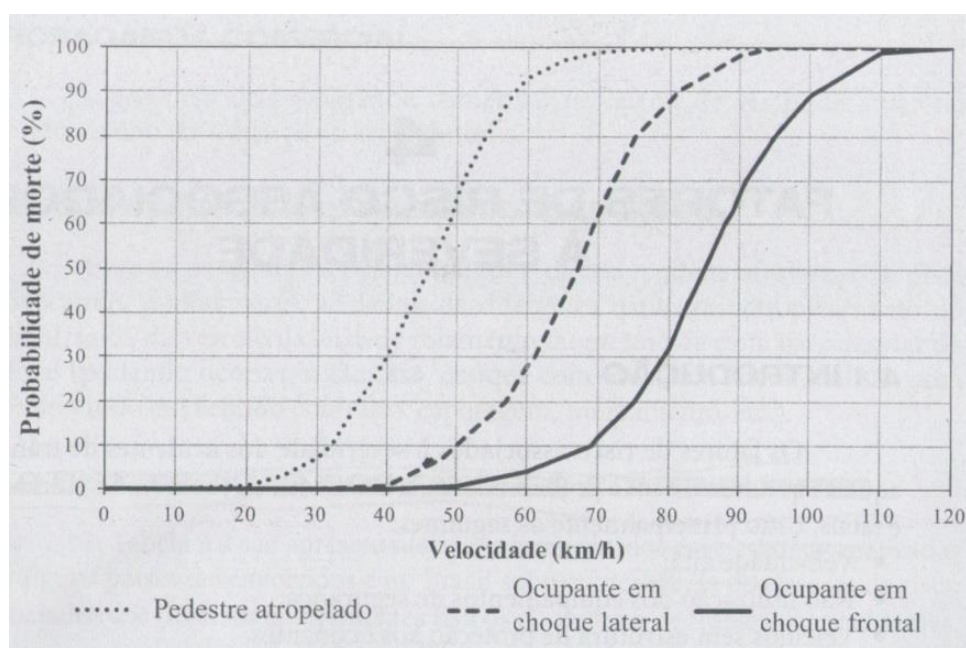
Além de pesquisas a respeito do impacto da variação das velocidades de fluxo sobre a incidência de acidentes, existe uma gama de estudos que buscaram verificar a relação da velocidade de fluxo com as chances de sobrevivência em acidentes. Estas estimativas são tão importantes quanto as estimativas sobre incidência de acidentes, uma vez que o maior problema dos acidentes são as vítimas por eles geradas. Nesta seção, buscou-se reunir alguns dos resultados de diversas pesquisas a este respeito.

Fortes et al.<sup>8</sup> (2005 apud FERRAZ et al., 2012) ilustra, através da figura 5, como a probabilidade de uma lesão fatal em acidente varia de acordo com a velocidade no momento do impacto para pedestres e ocupantes de veículo (no caso de choques frontais e laterais). Analisando o gráfico, nos casos de atropelamento percebe-se que a partir de aproximadamente 45 km/h, o desfecho mais provável é o que o pedestre não sobrevive. Com um impacto a uma velocidade de 60 km/h as chances de morte dos mesmos são pouco menores que 95%. A vulnerabilidade dos pedestres é evidenciada no gráfico, uma vez que os valores da velocidade de impacto para uma mesma probabilidade de morte são menores para estes usuários do que para os ocupantes de veículos.

---

<sup>8</sup> FORTES, F. Q.; BOSCHIERO, M. A. F.; BIASIOLI, P. R. F.; FERRAZ, A. C. P. Interseções Rodoviárias no Brasil: Passado Presente e Futuro. In: CONGRESSO CHILENO DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE, 12., 2005, Valparaíso. *Actas...* Valparaíso: [s. n.], 2005. v.1. p. 319-331..

Figura 5 – Risco de morte em função da velocidade e do tipo de acidente



(fonte: FORTES<sup>9</sup>, 2005 apud FERRAZ et al., 2012, p. 70)

Em uma pesquisa semelhante, o manual *Speed Management* da OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008) afirma que, baseado nos dados de Tingvall e Haworth<sup>10</sup> (2005), a resistência humana a uma lesão provocada por um veículo motorizado é ultrapassada se este estiver transitando a mais de 30 km/h e que um pedestre tem cerca de 80% de chances de ser morto em uma colisão com um veículo a 50 km/h. Afirma-se ainda que para os ocupantes de um veículo, usar cinto de segurança e conduzir um veículo bem projetados pode lhes oferecer proteção até um máximo de 70 km/h em impactos frontais e de 50 km/h na maioria dos impactos laterais.

Conforme Pasanen<sup>11</sup> (1996 apud ELVIK et al., 2009) existe um aumento considerável nas chances de morte de um pedestre quando a velocidade de impacto é maior que 30 km/h. O autor afirma ainda que, em atropelamentos, a probabilidade de morte diminui

<sup>9</sup> FORTES, F. Q.; BOSCHIERO, M. A. F.; BIASSIOLI, P. R. F.; FERRAZ, A. C. P. Interseções Rodoviárias no Brasil: Passado Presente e Futuro. In: CONGRESSO CHILENO DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE, 12., 2005, Valparaíso. *Actas...* Valparaíso: [s. n.], 2005. v.1. p. 319-331.

<sup>10</sup> TINGVALL, C.; HAWORTH, N. Vision zero: an ethical approach to safety and mobility. In: INSTITUTE OF TRANSPORT ENGINEERS INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROAD SAFETY AND TRAFFIC ENFORCEMENT, 6th, 1999, Melbourn. *Proceedings...* Melbourn: Beyond 2000, 1999. Demais informações não foram disponibilizadas.

<sup>11</sup> PASANEN, E. Bicycle/car-accidents at crossings. In: CONFERENCE ROAD SAFETY IN EUROPE, 1996, Birmingham. *Proceedings...* Linköping: Swedish National Road and Transport Research Institute, 1996, v. 7A, Part 1, p. 133-143.

aproximadamente 60% quando a velocidade de impacto do carro diminui de 50 para 40 km/h, e em pelo menos 50% com uma redução de 40 para 30 km/h.

De acordo com o *Handbook of Road Safety Measures* (ELVIK et al., 2009), o risco de uma vítima fatal aumenta na quarta potência da mudança de velocidade de impacto.

### 4.3 GESTÃO DE VELOCIDADE

A visível potencialidade de melhoria da segurança viária através de mudanças na velocidade da via estimula diversos programas de nível governamental a criar planos de gestão de velocidade. O manual sobre gestão de velocidades *Speed Management*, desenvolvido pela OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008, p. 11, tradução nossa), define a gestão de velocidade como “uma série de medidas que visam equilibrar segurança e eficiência das velocidades dos veículos em uma rede viária.”.

Buscando reduzir a incidência de velocidades excessivas para as condições existentes e maximizar a observância dos limites de velocidade, a gestão da velocidade envolve o uso das medidas de segurança viária, abordadas na seção 3.4.3. Entre as medidas mais comuns de fiscalização, engenharia e educação estão o uso de radares, a implementação de elementos de *traffic calming*, implantação de limites de velocidades seguros, reforço na sinalização, esforços na divulgação para a população sobre risco e velocidades excessivas, entre outros. Essas medidas são executadas de modo a encontrar o equilíbrio certo entre benefícios e desvantagens, o que significa que a política da gestão de velocidade lida constantemente com decisões difíceis de compensações entre os objetivos de um sistema viário (DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND THE REGIONS, 2000).

### 4.4 LIMITE DE VELOCIDADE LEGAL

Das medidas de segurança viária utilizadas nos planos de gestão de velocidades, uma que merece destaque é o limite de velocidade legal, considerado a espinha dorsal do gerenciamento de velocidades em qualquer país na atualidade (EUROPEAN COMMISSION, 1999). A livre escolha de velocidade por parte dos veículos torna improvável que resultados ideais sejam alcançados em uma perspectiva socioeconômica (ELVIK, 2009), e por isso a implantação de limites de velocidade se mostra conveniente e, em muitos casos, necessária.



Apesar de existir certo grau de desrespeito (o qual varia de acordo com a localidade), limites de velocidade são, possivelmente, o fator mais significativo na determinação da escolha de velocidade dos motoristas (ARCHER et al., 2008). Segundo o relatório *Managing speeds of traffic on European roads* (EUROPEAN COMMISSION, 1999), mesmo com a parcela dos veículos que geralmente excede o limite de velocidade legal, os limites legais de velocidade ainda são muito efetivos. Os estudos analisados neste relatório mostram que a transição de vias sem limites de velocidade para vias com limites de velocidade reduziram significativamente as velocidades veiculares (além do número de acidentes). Taylor<sup>12</sup> (2000 apud ARCHER et al., [2007?]) frisa que esta eficiência ocorre principalmente em vias urbanas coletoras e arteriais, admitindo-se que as programações semaforicas estejam corretamente coordenadas com os limites legais de velocidade.

O limite de velocidade ideal é específico para cada situação. Este pode (e deve) variar de acordo com o propósito da via (hierarquia), o ambiente do entorno (rural, residencial, etc.), condições climáticas, condições e tipo de fluxo, entre outros. As variações podem ocorrer também conforme o tipo de veículo (limites diferentes para veículos diferentes) ou no tempo: o uso de limites de velocidade variáveis, informados através de painéis eletrônicos e calculados geralmente em função das condições climáticas e de fluxo, tem se difundido consideravelmente, principalmente entre os países europeus.

#### 4.4.1 Definição do limite de velocidade

Um ponto em que comumente se verifica bastante discussão, principalmente no âmbito político e governamental das cidades, é a definição da velocidade limite das vias. A necessidade de mobilidade e rapidez geralmente pede limites mais altos, enquanto a necessidade por segurança pede o oposto. A definição do limite se dá pelo valor atribuído a cada um destes aspectos – o que é diferente de indivíduo para indivíduo.

Diversos autores relatam sobre como é ou deve ser definido o limite de velocidade das vias de uma localidade. Dependendo do objetivo do órgão responsável por definir os limites legais, diferentes abordagens são tomadas para chegar-se na decisão. De acordo com Elvik e Yaa<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> TAYLOR, M. A. P. Network modelling of the traffic, environmental and energy effects of lower urban speed limits. **Road and Transport Research**, v. 9, p. 48-57, 2000. Demais informações não foram disponibilizadas.

<sup>13</sup> Elvih, R.; Yaa, T. Q. **Handbook of Road Safety Measures**. Oxford: Elsevier Science, 2004.

(2004, apud ARCHER et al., [2007?]), os limites de velocidade são geralmente definidos por três princípios centrais:

- a) adaptar o limite de velocidade aos níveis de velocidade observados na via (por exemplo, assumir a velocidade média dos veículos ou a velocidade do percentil 85 da distribuição de velocidade dos veículos – velocidade na qual, ou abaixo da qual, trafegam 85% dos veículos da via – como velocidade limite);
- b) adaptar o limite de velocidade aos padrões e infraestrutura da via (por exemplo, variar os limites de acordo com a geometria da via, com número de acessos, ou adotar a velocidade de projeto);
- c) escolher um limite de velocidade que minimize o custo generalizado para a sociedade (custos de acidentes, de operação, de manutenção, de tempos de viagem, ambientais, etc.). Este princípio é chamado por alguns autores como o princípio da Velocidade Ótima.

Geralmente, o que é usado é uma combinação destes 3 princípios.

Além destes três principais citados, existem ainda outros princípios que podem ser adotados. Um que merece destaque é o da abordagem de Sistema Seguro, adotada por diversos programas que visam prevenir acidentes e mortes no trânsito como o *Vision Zero*, na Suécia (SWEDEN, [1994?]), o *Sustainable Safety*, na Holanda (STICHTING WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK VERKEERSVEILIGHEID, 2013), e o *Towards Zero*, na Austrália (WESTERN AUSTRALIA, 2014). Na premissa de que nenhuma morte por acidente de trânsito é aceitável, o princípio baseia-se em adaptar o limite de velocidade à tolerância biomecânica humana (ELVIK et al., 2009), buscando a meta de zero mortes no ambiente viário. Dentre outras políticas adotadas, cabe ainda citar a definição dos limites baseado na experiência e análise de especialistas ou opiniões políticas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008).

Segundo o manual de gestão de velocidades da OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008, p. 13, tradução nossa), “Não existem nem erros nem acertos absolutos na escolha dos limites. É o governo que deve determinar suas prioridades, que provavelmente irão mudar à medida que a sociedade se desenvolve.”. Elvik (2009) afirma que independentemente da escolha, os limites de velocidade acabam sempre se aproximando da Velocidade Ótima – aquela que minimiza os custos para a sociedade. O autor faz apenas uma ressalva quanto ao conceito de Velocidade Ótima: deve ser analisada com cuidado pois pode possuir limitações dependendo dos efeitos que são levados em consideração no cálculo. Em

alguns casos, por exemplo, a segurança de pedestres e ciclistas – atores chave quando o assunto é de segurança viária – não é levada em consideração.

Definidos os princípios a serem considerados, o julgamento dos dados disponíveis sobre a via determinará a velocidade limite mais adequada. É conveniente levar-se em conta informações como medições de velocidade, medições do fluxo, dados sobre colisões, informações sobre infrações de excesso de velocidade, uso do solo e acesso a propriedades lindeiras, características físicas da via e do acostamento, presença de usuários vulneráveis na via, condições de visibilidade, entre outros (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008).

#### 4.4.2 Hierarquização de vias

Para facilitar a implantação dos limites de velocidade em um ambiente urbano, entre outros motivos, é muito comum definir classificações hierarquizadas para as vias e, a partir dessas classificações, definir limites de velocidade gerais. O padrão mais adotado para isto é o da divisão das vias em locais, coletoras e arteriais. O Código de trânsito brasileiro define a classificação da seguinte maneira (BRASIL, 2008, p. 57):

VIA DE TRÂNSITO RÁPIDO - aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível.

VIA ARTERIAL - aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade.

VIA COLETORA - aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.

VIA LOCAL - aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

Apesar de a classificação apresentada acima ser a mais comum ao redor do mundo, outras classificações podem ser utilizadas. Neste caso, a definição da hierarquia deve levar em conta a densidade populacional, a densidade de usuários na via, o trânsito na via e o de acesso a ela, o fluxo relativo de trânsito, a diversidade de usuários e veículos, instalações lindeiras e as atividades às margens das vias (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008).

#### 4.4.3 Limites de velocidade indicados

Como citado anteriormente, não existem erros ou acertos no momento de definir o do limite de velocidade de uma via. No entanto, com o objetivo principal do limite de velocidade definido (seja segurança, rapidez, mobilidade, redução de poluição, etc.), algumas entidades possuem recomendações para cada tipo de via sobre qual deve ser o valor adotado.

A abordagem do Sistema Seguro, por exemplo, possui um conjunto de recomendações para implementação de limites de velocidade, os quais foram resumidos na tabela 2. O princípio básico das recomendações é de que nenhum sistema deve operar de modo que, caso ocorra um impacto, as forças atuantes sobre os envolvidos no acidente trarão grandes riscos de morte (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT, 2012).

Tabela 2 – Recomendações de limites de velocidade máximos segundo o Sistema Seguro

<b>Descrição da via</b>	<b>Máximo limite de velocidade indicado (km/h)</b>
Vias com alto potencial de conflitos entre veículos e usuários vulneráveis (pedestres, ciclistas)	30
Vias/interseções com potencial de impacto lateral entre veículos	50
Vias com potencial de impacto frontal entre veículos	70
Vias em que impactos laterais e frontais entre veículos são impossíveis	$\geq 100$

(fonte: WEGMAN et al.<sup>14</sup>, 2006 apud EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT, 2012 , p. 19, tradução nossa)

As recomendações da abordagem do Sistema Seguro são indicadas para os países pela OECD (*Organization for Economic Co-Operation and Development*), bem como por outras organizações internacionais (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT, 2012).

<sup>14</sup> WEGMAN, F. (Ed.); AARTS, L. (Ed.). **Advancing Sustainable Safety**: national road safety outlook for 2005-2020. Leidschendam: SWOV Institute for Road Safety Research, 2006.

Outro exemplo que pode ser citado é a recomendação da *European Conference of Ministers of Transport*<sup>15</sup> (1996 apud DRASCÓKZY; MOCSÁRI, 1997), que diz que o limite de velocidade deve existir em todas as vias e com um valor que seja compatível com os requisitos de segurança e proteção ambiental, além de ser percebido como razoável pelos usuários da via. Similar ao Sistema Seguro, a recomendação para vias de zona urbana é de que o limite de velocidade não ultrapasse 50 km/h.

No Brasil, o Código de Trânsito Brasileiro recomenda (sem impor) os valores dos limites de velocidade a serem adotados em vias urbanas de acordo com a hierarquia da via. A tabela 3 resume os limites recomendados.

Tabela 3 – Recomendações de limites de velocidade máximos segundo o Código de Trânsito Brasileiro

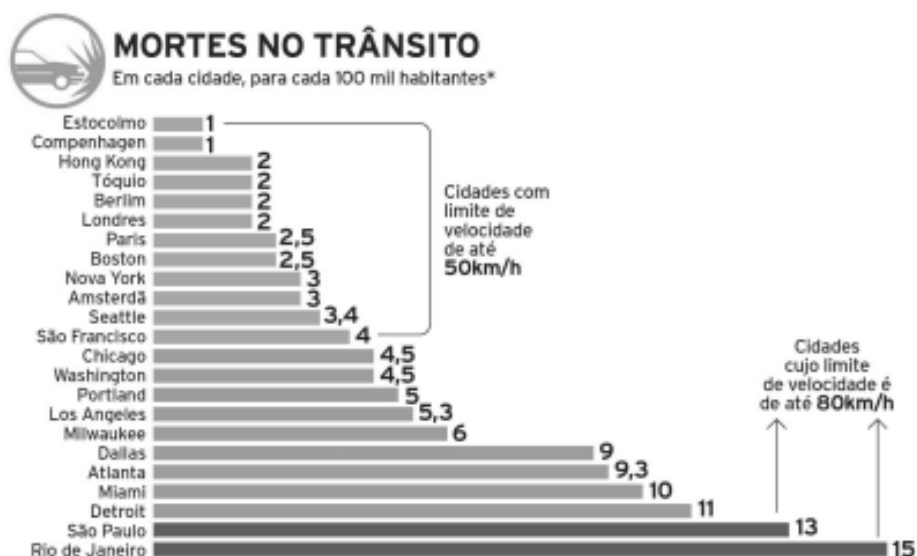
<b>Descrição da via urbana</b>	<b>Máximo limite de velocidade indicado (km/h)</b>
Vias de trânsito rápido	80
Vias arteriais	60
Vias coletoras	40
Vias locais	30

(fonte: baseado em BRASIL, 2008, p. 26)

Verifica-se que dentre as recomendações que priorizam a segurança viária, a velocidade limite para vias urbanas geralmente indicada é de no máximo 50 km/h. De fato, pesquisas recentes mostram que vias urbanas com velocidade limite de até 50 km/h apresentam menores taxas de mortalidade. Os dados apresentados pela EMBARQ Brasil na figura 6 mostram de forma bastante clara a relação entre o limite de velocidade e a mortalidade nas vias (SOUZA, 2014). Nas vias brasileiras pesquisadas (São Paulo e Rio de Janeiro), que possuem limites de até 80 km/h, a mortalidade é de 4 a 15 vezes maior do que outras grandes cidades cujo limite não ultrapassa 50 km/h.

<sup>15</sup> ECMT. **Speed Moderation**. Paris: OECD Publications Service, 1996.

Figura 6 – Taxa de mortes no trânsito das principais metrópoles mundiais



(fonte: SOUZA<sup>16</sup>, 2014, p. 11)

#### 4.4.4 Limites de velocidade máxima urbana no Brasil e no mundo

O limite de velocidade das vias urbanas ao redor do mundo varia de país para país. Os valores variam de 25 km/h (caso da ilha de Santa Lúcia e da Gâmbia) até limites de 100 km/h (caso de Omã) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2013). De acordo com Haworth et al. (2001), o limite de velocidade urbano geral na maioria dos países desenvolvidos é de 50 km/h (caso da Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlândia, França, Alemanha, Grã Bretanha, Grécia, Hong Kong, Hungria, Irlanda, Israel, Japão, Nova Zelândia, Noruega, Portugal, Espanha, Suíça, Holanda, Estados Unidos).

Nos últimos anos, percebe-se uma tendência de diversos países em adequar seus limites de velocidade para valores mais seguros, geralmente adotando a abordagem do Sistema Seguro, abordada na seção 4.4.3. Segundo manual da OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008, p. 41, tradução nossa), “[...] os países que reconhecem que seus índices de segurança são ruins, e estão empenhados em reduzir o número de mortes e lesões nas vias públicas, estão fazendo a balança pender em favor da segurança. [...] Além disso, muitos países reconhecem hoje que velocidades mais baixas trazem benefícios adicionais além da segurança, na medida em que contribuem para a economia (menor gasto de combustível), a fluidez do trânsito e ajudam a diminuir a poluição do ar e os ruídos.”.

<sup>16</sup> Gráfico baseado em informações fornecidas pela EMBARQ Brasil.

Entre os pouquíssimos países que possuem velocidades máximas para vias urbanas acima de 60 km/h está o Brasil. Em algumas vias urbanas com alta incidência de travessias de pedestre em nível, chega-se a ter valores de 70 km/h a 80 km/h, como é o caso das avenidas da orla da zona sul do Rio de Janeiro e da Avenida das Américas, também no Rio de Janeiro (figuras 7 e 8).

Figura 7 – Av. Vieira Souto, RJ



(fonte: EMBARQ BRASIL, 2014b)

Figura 8 – Av. das Américas, RJ



(fonte: material não publicado<sup>17</sup>)

O Código de Trânsito Brasileiro não impõe os valores dos limites máximos, faz apenas recomendações dos valores a serem adotadas de acordo com a hierarquia da via – valores que inclusive são mais altos do que os recomendados pelas entidades que priorizam a segurança. Uma vez que os valores são apenas sugeridos, encontra-se diversas vias no Brasil em que há grande inconsistência entre o ambiente viário e o limite de velocidade, como o exemplificado nos parágrafos acima.

---

<sup>17</sup> Imagem propriedade da EMBARQ Brasil. Ano: 2012.

## **5. REDUÇÃO DO LIMITE MÁXIMO DE VELOCIDADE**

Este capítulo explora em maior profundidade os assuntos ligados à medida de segurança viária de redução dos limites legais de velocidade numa via. Buscou-se focar a pesquisa em estudos de vias urbanas, ambiente em que esta medida é geralmente indicada, e por isso os casos abordados não abrangem estudos com limites de velocidades mais altos, utilizados em grande maioria nos ambientes rurais.

### **5.1 EFEITO DA REDUÇÃO DA VELOCIDADE LIMITE SOBRE A VELOCIDADE DOS VEÍCULOS**

Diversos países vêm reduzindo seus limites de velocidade urbana visando melhorar o cenário da segurança viária. É muito importante, porém, mencionar que o efeito desta mudança sobre a severidade e número de acidentes depende intimamente do efeito que a mesma tem sobre a velocidade de tráfego real dos veículos (ELVIK, 2009). A sinalização não garante sempre que o nível de velocidade desejada seja adotado nas vias urbanas, pois isto é em grande parte função do perfil comportamental dos usuários da via (EUROPEAN COMMISSION, 1999). O manual de gestão de velocidade da OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2008) comenta que o efeito da mudança no limite de velocidade pode ser bastante modesto neste sentido, o que já foi comprovado por diversos estudos, como mostra o quadro 2.



Quadro 2 – Estudos sobre o impacto da variação da velocidade limite legal sobre a velocidade real dos veículos

Estudo	Achados
Organization for Economic Co-Operation and Development (2006)	Diminuir o limite de velocidade em 10 km/h leva a uma diminuição na velocidade dos veículos de 3 a 4 km/h. Um efeito oposto similar pode ser esperado com o aumento do limite de velocidade
Department of the Environment, Transport and the Regions (2000)	Considerando que nenhuma outra medida tenha sido tomada em conjunto, a velocidade do fluxo sofre uma variação de apenas 25% da mudança feita nos limites legais de velocidade
Ranta e Kallberg <sup>18</sup> (1996 apud EUROPEAN COMMISSION, 1999)	A diminuição do limite de velocidade em 20 km/h traz uma redução na velocidade média de 3 a 8 km/h tanto para vias rurais como para vias urbanas
Elvik et al. (2009)	Como uma regra geral simples, a mudança de 10 km/h na velocidade limite acarreta na mudança de 2,5 km/h na velocidade real dos veículos
Haworth et al. (2001)	Durante um período de testes em New South Wales, AU, a diminuição da velocidade limite de 60 km/h para 50 km/h, diminuiu a média da velocidade dos veículos de 1,5 a 2 km/h

(fonte: WEGMAN et al.<sup>19</sup>, 2006 apud EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT, 2012, p. 19)

Pode-se observar uma clara concordância entre os estudos de que a variação na velocidade dos veículos é da ordem de aproximadamente 25% da variação da velocidade limite, com ligeiras variações entre achados. Estas variações podem ocorrer por diferenças no perfil comportamental dos motoristas considerados em cada estudo, bem como medidas de reforço tomadas em paralelo à redução do limite de velocidade. O reforço da mudança dos limites com outras medidas de segurança viária (fiscalização, medidas de *traffic calming*, programas

<sup>18</sup> RANTA, S.; KALLBERG, V. P. 1996. **Ajonopeuden turvallisuuksivaikutuksia koskevien tilastollisten tutkimusten analyysi** (Analysis of statistical studies of the effects of speed on safety.) Helsinki: Finnish National Road Administration, 1996. TIEL310 0020.

<sup>19</sup> WEGMAN, F. (Ed.); AARTS, L. (Ed.). **Advancing Sustainable Safety: national road safety outlook for 2005-2020**. Leidschendam: SWOV Institute for Road Safety Research, 2006.

educativos, entre outros) pode aumentar significativamente o efeito na velocidade dos veículos (EUROPEAN COMMISSION, 1999), e portanto é recomendado para alcançar melhores resultados.

## 5.2 IMPACTOS DA REDUÇÃO DO LIMITE DE VELOCIDADE NA SEGURANÇA E OPERAÇÃO DO TRÁFEGO

A redução do limite de velocidade impacta diversos aspectos relacionados à rede viária. Os principais e mais lembrados são a segurança viária (onde o impacto é geralmente positivo) e a operação do tráfego (onde o impacto é geralmente negativo). Por causa desta característica de dualidade com relação aos impactos (positivos e negativos), é muito importante entender a magnitude de cada um deles, uma vez que o balanço final entre os benefícios e prejuízos é que determinará se a medida será de fato implementada e em qual magnitude deverá ser feita a redução.

O quadro 3 reúne alguns dos diversos estudos feito ao redor do mundo que tentaram identificar quantitativamente o impacto da redução do limite de velocidade sobre a segurança viária e/ou operação do tráfego. As análises dos estudos têm diferentes focos, incluindo estudos a nível nacional e a nível local e para diferentes períodos de análise. Alguns avaliaram apenas a operação, outros somente a segurança e outros ambos. As pesquisas reunidas no quadro trazem estatísticas baseadas em dados medidos em uma localidade específica ou baseadas em dados de outros estudos relacionados ou ainda baseadas em simulações computacionais, e utilizam diferentes variáveis para as avaliações.

Quadro 3 – Estudos sobre o impacto da variação da velocidade limite legal sobre a segurança viária e operação da via

Local (fonte)	Variação do limite de velocidade (km/h)	Segurança		Operação	
		Variável	Variação	Variável	Variação
São Paulo, BR (1)	80 para 70	-	-	capacidade	sem alteração, após 6 meses decorridos
Austrália do Sul, AU (2)	redução de todas as vias para 40	-	-	tempo de viagem	variação em um grau muito pequeno
Diversos estudos (3)	diversas	-	-	tempo de viagem	variações no tempo de viagem desprezíveis
Austrália (4)	60 para 50	acidentes fatais	redução de 2900 a 7380 acidentes em cada ano	tempo de viagem	aumento de 9 a 25 s por pessoa por viagem***
Melbourne, AU (5)	redução de 10 km/h em todas as vias	acidentes	redução de 13.5%*	tempo de viagem (curto prazo)**	aumento de até 5%
				tempo de viagem (longo prazo)**	aumento de 1%
	redução de 10 km/h em todas as vias, exceto <i>freeways</i>	acidentes	redução de 10.3%*	tempo de viagem (curto prazo)**	aumento de 3%
				tempo de viagem (longo prazo)**	aumento de 0,6%
Noruega (6)	60 para 50	acidentes fatais	redução de 45%*	velocidade média	redução de 3,5 a 4 km/h
Via simulada (7)	60 para 50	acidentes fatais	redução de 3000 a 8000 acidentes por ano	tempo de viagem médio por viagem	aumento de 10 a 26s por viagem
Reino Unido (8)	48 para 32	acidentes com vítima	redução média de 70%*		

(continua)

(continuação)

Local (fonte)	Variação do limite de velocidade (km/h)	Segurança		Operação	
		Variável	Variação	Variável	Variação
Dinamarca (9)	60 para 50	acidentes	redução de 9%*		
		mortes	redução de 24%*		
		vítimas graves	redução de 7%*		
		vítimas leves	redução de 11%*		
Zurique, CH (10)	60 para 50	atropelamentos	redução de 20%*	-	-
		mortes de pedestres	redução de 25%*		
		colisões entre veículos	sem alteração		
França (11)	60 para 50	acidentes fatais	580 mortes prevenidas nos 2 primeiros anos	-	-
		acidentes com vítima	14 500 acidentes prevenidos nos 2 primeiros anos		
New South Wales, AU (período de testes) (12)	60 para 50	acidentes fatais e mortes	redução de 7% em 3 meses	-	-
New South Wales, AU (13)	60 para 50	acidentes (total)	redução de 21% (262 mortes prevenidas em 21 meses)		
		acidentes (zonas urbanas)	redução de 34% nos 2 primeiros anos		

(continua)

(continuação)

Local (fonte)	Variação do limite de velocidade (km/h)	Segurança		Operação	
		Variável	Variação	Variável	Variação
Victoria, AU (14)	60 para 50	acidentes fatais	redução de 7 a 15% *	-	-
		acidentes de apenas danos materiais	redução de 16% *		
Queensland, AU (15)	60 para 50	acidentes fatais	redução de 15% (19 acidentes prevenidos por ano)	-	-
Baseado em diversos estudos (16)	60 para 40 ou 50 para 30	acidentes com vítimas	redução esperada de 67% *	-	-
	70 para 60 ou 60 para 50	acidentes fatais	redução esperada de 23% *		
		acidentes com vítimas	redução esperada de 9% *		
		acidentes (total)	redução esperada de 9% *		
	90 para 70 ou 80 para 60	acidentes com vítimas	redução esperada de 24% *		
	100 para 80	acidentes com vítimas	redução esperada de 12% *		
	110 para 90	acidentes com vítimas	redução esperada de 9% *		
	120 para 90	acidentes com vítimas	redução esperada de 11% *		
Baseado em diversos estudos (17)	redução de, em média, 11 km/h	acidentes	redução de 13% *	-	-

(continua)

(continuação)

- \* Período da variação não especificado.  
 \*\* Curto prazo e longo prazo não foram especificados.  
 \*\*\* Autos diz que o tempo de viagem provavelmente superestimado.
- (1) Santos e Vilanova (2012)
  - (2) Dyson et al.<sup>20</sup> (2001 apud ARCHER et al., 2008)
  - (3) Cairney e Donald (1996)
  - (4) Haworth et al. (2001)
  - (5) SMEC Australia et al.<sup>21</sup> (1999 apud ARCHER et al., 2008)
  - (6) Jorgensen<sup>22</sup> (1994 apud HAWORTH et al., 2001)
  - (7) TRB<sup>23</sup> (1998 apud pud ARCHER et al., 2008)
  - (8) Jorgensen<sup>24</sup> (1994 apud CAIRNEY E DONALD, 1996)
  - (9) Engel and Thomsen<sup>25</sup> (1991 apud CAIRNEY E DONALD, 1996)
  - (10) Walz et al.<sup>26</sup> (1983 apud HAWORTH et al., 2001)
  - (11) Page<sup>27</sup> (1993 apud HAWORTH et al., 2001)
  - (12) Walsh<sup>28</sup> (1999 apud HAWORTH et al., 2001)
  - (13) RTA<sup>29</sup> (2000 apud HAWORTH et al., 2001)
  - (14) Haworth et al. (2001)
  - (15) Meers e Roth (2001)
  - (16) baseado em ELVIK et al. (2004<sup>30</sup>, 2009<sup>31</sup> apud FERRAZ et al, 2012)
  - (17) Elvik e Yaa<sup>32</sup> (2004)

(fonte: elaborado pela autora)

- 
- <sup>20</sup> DYSON, C.; TAYLOT, M.; WOOLLEY, J.; ZITO, R. Lower urban speed limits: trading off safety, mobility and environmental impact. In: AUSTRALIAN TRANSPORT RESEARCH FORUM, 24th, 2001, Hobart. Demais informações não foram disponibilizadas.
- <sup>21</sup> SMEC AUSTRALIA et al. **Effects of urban speed management on travel time**: simulation of the effects of maximum cruise speed changes in Melbourne. [s. l.]: Federal Office of Road Safety, 1999.
- <sup>22</sup> JORGENSEN, E. **The effects of changed urban speed limits**. [s. l.]: Permanent International Association of Road Congresses Technical Committee C13 – Road Safety, 1994.
- <sup>23</sup> TRB. **Managjng Speed**: Review of Current Practice for Setting and Enfortcing Speed Limits. Washington DC: Transportation Research Board, 1998. Special Report 254.
- <sup>24</sup> JORGENSEN, E. **The effects of changed urban speed limits**. [s. l.]: Permanent International Association of Road Congresses Technical Committee C13 – Road Safety, 1994.
- <sup>25</sup> ENGEL, U.; THOMSEN, L. Safety effects of speed reducing measures in Danish residential areas. **Accident analisys and prevention**. [s. l], n. 24, p 17-28, 1992. Demais informações não foram disponibilizadas.
- <sup>26</sup> WALZ, F. H.; HOEFLINGER, M.; FEHLMANN, W. Speed limit reduction from 60 to 50 km/h and pedestrian injuries. In: STAFF CAR ACCIDENT CONFERENCE with INTERNATIONAL RESEARCH COMMITTEE ON BIOKINETICS OF IMPACTS (IRCOBI), 27th, San Diego. **Proceedings...** San Diego: Society of Automobile Engineers, 1983. p. 311-318.
- <sup>27</sup> PAGE, Y. **The implementation of 50 km/h in towns and its effects on road safety**. [s. l.]: Transport Safety Research, 1993. No 4.
- <sup>28</sup> WALSH, D. The 50 km/h speed limit in New South Wales: a joint partnership between councils, their communities and the NSW Roads and Traffic Authority. In: Research, Policing, Education Road Safety Conference, 1999. p. 695-707. Demais informações não foram disponibilizadas.
- <sup>29</sup> RTA. **50 km/h urban speed limit evaluation**: summary report. Sydney: Roads and Traffic Authority, 2000.
- <sup>30</sup> ELVIK, R.;VAA, T. **The Handbook of Road Safety Measures**. [S. l.]: Elsevier, 2004.
- <sup>31</sup> ELVIK, R. et al. **The Handbook of Road Safety Measures**. 2nd ed. Bingley: Emerald, 2009.
- <sup>32</sup> Elvih, R.; Yaa, T. Q. **Handbook of Road Safety Measures**. Oxford: Elsevier Science, 2004.

Avaliando os dados apresentados no quadro 3, verifica-se que a redução de velocidade limite, seja ela de qualquer magnitude, sempre resulta em um resultado positivo no âmbito da segurança viária. A redução mais estudada é a de 60 km/h para 50 km/h, muito provavelmente por esta ser a prática mais comum quando governos decidem utilizar-se de métodos de gestão de velocidade. Para esta redução, em geral, as pesquisas estimaram uma redução da ordem de até mais de 7000 acidentes fatais por ano a nível de país. Em termos de porcentagem, os acidentes fatais reduzem geralmente entre 7 e 23%, com um caso extremo na Noruega que alcançou 45% de redução. Já a redução de acidentes total varia de 8 a 40%.

Com relação à operação do tráfego, percebe-se que em todos os casos apresentados no quadro 3 o impacto é negativo, porém de baixíssima magnitude. Os tempos de viagem aumentam no máximo em 5% (o que em uma hora, por exemplo, são apenas 3 minutos) e, por isso, são geralmente imperceptíveis. Além disso, verifica-se que a longo prazo os impactos tendem a reduzir em uma ordem de aproximadamente 80%. O impacto em outras variáveis, como velocidade média e capacidade, também é consideravelmente baixo.

Pode-se dizer, então, que a redução da velocidade limite se mostra uma boa opção para mitigar muitos dos problemas de segurança viária em vias urbanas em que a velocidade é exagerada, visto que tem grande capacidade na redução de mortes e acidentes no trânsito e baixo impacto na operação. É válido citar ainda que, uma vez implementadas medidas que reduzem o número de acidentes e mortes, a prevenção e seus consequentes benefícios à saúde da população terão seus efeitos acumulados ao longo das décadas futuras (HAWORTH et al., 2001), o que de certa forma pode não ter sido considerado na estimação dos impactos de alguns dos estudos do quadro 3.

### 5.2.1 Justificativas para o baixo impacto na operação em ambiente urbano

O impacto da redução do limite de velocidade na operação do tráfego é, segundo diversos autores, mínimo e, em alguns casos, imperceptível. Uma das explicações mais recorrentes para isto é de que em um ambiente urbano existem diversos inconvenientes que acabam impedindo que a velocidade de fluxo livre seja atingida (CAIRNEY; DONALD, 1996) e que geram uma grande variância na distribuição das velocidades dos veículos mesmo durante horários fora do pico (ARCHER, [2007?]). Como exemplo destes inconvenientes, pode-se citar paradas ou reduções da velocidade em interseções que possuem sinais de “pare”, “dê a

preferência” ou semáforos), travessias de pedestres em nível, lombadas, áreas de velocidade reduzida (como em frente a escolas, hospitais ou shoppings). A ocorrência de congestionamentos também força uma redução de velocidade independente da regulação de velocidade máxima.

Dessa forma, a redução dos limites de velocidade tem seu maior impacto negativo nos momentos em que esses fatores não estão (ou estão menos) presentes e os motoristas efetivamente conseguiriam atingir velocidades iguais ou acima da máxima permitida. Nestes horários a situação do tráfego de veículos não é crítica – portanto os prejuízos serão menos graves – e existem menos usuários que sofrerão e perceberão os prejuízos da medida. Cairney e Donald (1996) ainda afirmam que, pelo fato de em via urbanas as viagens serem relativamente curtas (tempos de viagem e distâncias pequenos) as desvantagens de diminuir os limites de velocidade serão, também, relativamente pequenos. Assim o impacto na operação é baixo.

Outro ponto a se mencionar é que o fluxo de veículos mais regular ajuda a minimizar, por exemplo, as perdas nos tempos de viagem (ARCHER, 2007?). Taylor<sup>33</sup> (2000 apud ARCHER, [2007?]) inclusive encontrou casos em que o atraso dos veículos diminuiu com a redução das velocidades da via. Este ganho no tempo de viagem pode ocorrer por um ganho de capacidade da via, proveniente do menor espaçamento entre os veículos devido às velocidades mais baixas. Segundo Blumenfeld (2015), maior capacidade diminui a incidência de congestionamento (que ocorrem quando a capacidade da via é excedida) o que consequentemente aumenta a velocidade média dos veículos.

### 5.2.2 Outras vantagens da redução de velocidades limite

Dentre as diversas medidas que se pode adotar para melhorar o panorama da segurança viária, a redução dos limites de velocidade é bastante interessante não somente pela significativa melhoria da segurança e baixo impacto na operação de tráfego. Além dos benefícios até agora já abordados, a população usufrui também de menores níveis de emissão de gases poluentes, menor poluição sonora e fluxo de veículos mais regular com a implementação da medida.

---

<sup>33</sup> TAYLOR, M. A. P. Network modelling of the traffic, environmental and energy effects of lower urban speed limits. **Road and Transport Research**, v. 9, p. 48-57, 2000. Demais informações não foram disponibilizadas.



Ademais, reduzir as velocidades limites é um meio consideravelmente simples e barato para reduzir o número de vítimas no trânsito, quando comparada com outras modificações que podem ser feitas, principalmente com as cujo viés é estrutural. A redução do limite de velocidade pode limitar-se apenas à substituição da sinalização vertical e horizontal (opção mais econômica) ou pode vir acompanhada de medidas de desenho urbano mais seguro, fiscalização, *traffic calming*, entre outras, que, apesar somar valor ao custo, potencializam o efeito na velocidade real dos veículos.

### 5.3 RESISTÊNCIA PARA ADOÇÃO DA MEDIDA

Um dos principais pontos a ter trabalhado no processo de redução do limite de velocidade de uma via urbana é a resistência à implementação desta medida. A população, na falta de conhecimento profundo sobre o assunto, assume que esta medida pode prejudicar os níveis de congestionamento, diminuir a capacidade da via ou causar aumentos nos tempos de viagem em uma proporção similar à da redução do limite (ARCHER, [2007?]). Esta percepção dificulta a conscientização acerca da importância da segurança viária, e a questão operacional do tráfego acaba sendo muito mais valorizada do que a questão da segurança, prevalecendo o desejo de mobilidade e rapidez. Uma vez que os tomadores de decisão (geralmente autoridades governamentais) são altamente influenciados pelas opiniões da população, a tendência é que estes também não simpatizem com a medida, tornando a implementação da mesma significativamente mais difícil.

A má impressão, apesar de compreensível, não é verdadeira. Conforme mostrado nas seções 5.2 e 5.2.1, o impacto da redução dos limites de velocidade na operação do tráfego tende a ser mínimo, e, em muitos casos, imperceptível. Alguns autores sugerem que pode-se inclusive atingir melhorias na operação do tráfego de acordo com a situação.

O problema da aceitação geralmente torna-se gradualmente menor após a implementação da medida. Pesquisas de comportamento na Austrália (AUSTRALIAN TRANSPORT SAFETY BUREAU<sup>34</sup>, 1999 apud HAWORTH et al., 2001) verificaram que, em ambientes em que essa medida era justificada (de acordo com os padrões de uso do solo, etc.), o número de motoristas que se tornaram receptivos à ideia cresceu ao longo do tempo. Isto sugere que, ao

---

<sup>34</sup> RTA. **50 km/h urban speed limit evaluation**: summary report. Sydney: Roads and Traffic Authority, 2000.

perceber que o impacto da medida trouxe mais benefícios do que prejuízos, os usuários tenderam a mudar de opinião e reconhecer que esta foi uma medida sensata a ser implementada.

De qualquer maneira, como a aceitação da medida acontece geralmente após a implementação da mesma, é imprescindível ter-se bons argumentos para o convencimento das autoridades e da população de que essas medidas realmente têm uma soma positiva no balanço entre os prós e contras e que compensam ser implantadas.

#### 5.4 CASOS DE REDUÇÃO DO LIMITE LEGAL NO MUNDO E NO BRASIL

Atualmente, com a conscientização da importância relativa aos assuntos de segurança viária, diversos países já mudaram os padrões de velocidade máxima em suas vias urbanas (ou estão em processo de mudança). Hoje, mais de 60% das cidades ao redor do mundo possuem um limite de velocidade máximo para vias urbanas menor que 50 km/h (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2013), concordando com a abordagem do Sistema Seguro para vias urbanas. Além disso, diversos países (Itália, França, Bélgica, Holanda, Áustria, Reino Unido, Dinamarca, entre outros) vêm adotando para diversas áreas de seus municípios as chamadas **Zonas 30**, onde o limite de velocidade das áreas é reduzido para 30 km/h (EMBARQ BRASIL, 2014a).

É interessante citar alguns casos relativamente recentes e de grande visibilidade de readaptação do limite de velocidade das vias urbanas: o de Nova York e o de Paris. Em junho de 2014, como parte do programa batizado de *Vision Zero*, o prefeito de Nova York aprovou a lei que reduz o limite de velocidade de 30 mph (aproximadamente 50 km/h) para 25 mph (aproximadamente 40 km/h) para toda a cidade (FLEGENHEIMER, 2014). Já em Paris, mesmo já dispondo de diversas áreas de **Zona 30** espalhadas pela cidade, a prefeita preparou, em maio de 2014, um plano que pretende tornar o limite de velocidade para toda a cidade como sendo de 30 km/h, com exceção de algumas vias de maior hierarquia (BRITTON, 2014).

No Brasil, esta questão ainda precisa ser muito trabalhada, mas já existem iniciativas, ainda que bastante tímidas, que mostram que medidas já começaram a ser tomadas. Em outubro de 2014, a velocidade máxima nos corredores do BRT TransOeste, no Rio de Janeiro, foi

reduzida de 70 km/h para 60 km/h (BERTA, 2014). São Paulo começou um pouco mais cedo – em 2010 – com a implantação do Programa de Padronização de Velocidade, em que houve a diminuição de limites velocidades para 70, 60 50, 40 e até 30 km/h dependendo da área. (TROCA..., 2011). Além disso, em São Paulo existem também as **Áreas 40**, que, seguindo a mesma linha das **Zonas 30** difundidas na Europa, são zonas em que a velocidade máxima não deve passar de 40 km/h.

## 6 SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

A simulação de tráfego é uma ferramenta que busca, dentro de um nível de tolerância satisfatório, representar o comportamento dos veículos dentro de um sistema viário. Baseada em modelos matemáticos que descrevem o comportamento de um sistema de transportes, a simulação de tráfego é indicada para avaliar problemas mais complexos, quando as abordagens analíticas já não conseguem mais atender às necessidades (MAY, 1990). Desde a década de 1950, quando foram criados na Inglaterra, os simuladores de tráfego vêm sendo aperfeiçoados e têm representado cada vez mais eficientemente a realidade. Por esse motivo, o uso dessa ferramenta computacional no planejamento e operação do sistema de transportes cresce cada vez mais, já que análises mais robustas de sistemas com grande complexidade se fazem possível através dela (HOURDAKIS et al.<sup>35</sup>, 2003 apud MEDEIROS, 2012).

Os simuladores podem ser utilizados em diferentes ocasiões. Como exemplo, pode-se citar (MEDEIROS, 2012):

- a) na avaliação de alternativas no gerenciamento de tráfego;
- b) no planejamento, projeto e teste de novas instalações de transportes;
- c) como suporte a outras ferramentas de controle e otimização do tráfego;
- d) no treinamento e aperfeiçoamento de técnicos na área de tráfego.

Cada situação possui objetivos distintos e por isso necessita-se de ferramentas com diferentes abordagens. Para responder a esta demanda, existe uma variedade de simuladores disponíveis que utilizam diferentes teorias e tipos de modelos matemáticos para representação do tráfego. Na seção 6.1 os diferentes tipos de modelo são abordados com maior profundidade.

Segundo Medeiros (2012, p. IX) “A modelagem do tráfego veicular em grandes áreas urbanas é uma ferramenta fundamental na análise do desempenho de novas estratégias e políticas de gerência e controle de tráfego, idealizadas para potencializar a eficiência do sistema de transportes.”. Uma das maiores utilidades dos simuladores é a de que eles tornam possível a

---

<sup>35</sup> HOURDAKIS, J.; MICHALOPOULOS, P. G.; KOTTOMMANNIL, J. Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models. **Transportation Research Record**, n. 1852, p. 130-139, 2003. Demais informações não foram disponibilizadas.

previsão do impacto de uma intervenção, e assim, a avaliação de alternativas de intervenção não necessita de testes em ambiente real. Isto diminui em grande proporção os riscos, transtornos aos usuários e custos operacionais. Outras vantagens da simulação citadas por May (1990) são a possibilidade de fazer testes com situações novas ou inexistentes, ajudar a encontrar a relação entre variáveis e quais são as mais importantes, a obtenção de dados mais detalhados do que apenas valores médios e variâncias, entre outras.

Mesmo com as grandes vantagens que a simulação computacional de tráfego trás, a utilização desta técnica pode ser bastante complexa. Primeiramente, é necessária uma grande quantidade de dados que precisam ser coletados para a calibração e validação do modelo computacional. Os processos existentes para coleta de dados geralmente requerem grande investimento de tempo e dinheiro, o que nem sempre se dispõe. Ainda, o processo de calibração e validação do modelo também é bastante complexo, principalmente em zonas urbanas (diversos estudos não obtiveram êxito após tentativas de calibração (MEDEIROS, 2012)). Por fim, com o modelo validado, podem existir imprecisões e dificuldade na análise e interpretação dos resultados. Estes motivos fazem necessário um alto conhecimento das limitações do modelo e do sistema analisado (MAY, 1990), capacitação técnica que nem sempre se tem à disposição.

## 6.1 CLASSIFICAÇÃO DE MODELOS

Os simuladores de tráfego utilizam modelos matemáticos para descrever o comportamento dos sistemas de transportes, os quais podem ser classificados de acordo com diversos aspectos como escala temporal, variabilidade aleatória, nível de agregação, entre outros. Cada configuração de modelo possui suas vantagens e desvantagens e, portanto, o tipo de modelo mais adequado dependerá de cada situação.

Com relação à escala temporal, os modelos podem ser classificados em estáticos ou dinâmicos. Conforme Araújo (2003), os modelos estáticos são os que representam uma condição fixa correspondente a um instante específico ou a média dos valores das variáveis de comportamento ao longo do período analisado. Já nos modelos dinâmicos, o tempo é uma variável independente do modelo e as mudanças que o sistema sofre no decorrer do período estudado são consideradas. Dentro dos modelos dinâmicos, tem-se ainda uma subclassificação: os modelos podem ser discretos (onde as mudanças ao longo do tempo

ocorrem apenas em instantes isolados do tempo) ou contínuos (quando o estado do sistema se altera segundo a segundo).

O mesmo autor também descreve a classificação de modelos conforme a variabilidade aleatória, dividindo os modelos em determinísticos e estocásticos. Modelos determinísticos sempre produzirão (com os mesmos dados de entrada) os mesmos resultados, uma vez que desprezam a variabilidade aleatória das variáveis e parâmetros e usam sempre os valores médios e agregados. Já os modelos estocásticos conseguem representar as incertezas dos processos e expressar os parâmetros de saída na forma de distribuições estatísticas, pois os resultados são estimados através de variáveis aleatórias.

Uma das classificações mais abordadas na literatura é a referente ao nível de agregação. Segundo ela, os modelos são classificados em três tipos, de acordo com o nível de detalhamento da representação do tráfego na rede (MEDEIROS, 2012):

- a) modelos macroscópicos;
- b) modelos mesoscópicos;
- c) modelos microscópicos.

Nos modelos de abordagem macroscópica, o tráfego é considerado como um meio contínuo e fluído, e portanto a análise ocorre apenas sobre o comportamento da corrente veicular no deslocamento pelas vias da rede. Nenhum veículo é considerado na sua individualidade e as análises são feitas através de variáveis agregadas de fluxo, velocidade média e densidade. Já os modelos de abordagem microscópica são modelos mais avançados e complexos, onde o sistema de tráfego é simulado veículo a veículo pelo cálculo das trajetórias individuais dos veículos. Os modelos mesoscópicos possuem um nível intermediário de agregação das variáveis, e portanto apresentam características mistas das abordagens macro e microscópicas.

Hoogendoorn e Bovy ([2001?]) incluem ainda nesta classificação a categoria de modelos submicroscópicos. Este tipo de modelo seria similar à um modelo microscópicos ao representar as características dos veículos individualmente, mas inclui ainda características do comportamento do controle dos veículos, como trocas de marcha e o funcionamento de outras subunidades do veículo.

A decisão do tipo de abordagem a ser utilizada nas análises geralmente depende de cada situação. Modelos estáticos e determinísticos são modelos simplificados e são utilizados quando não se necessita de um nível de precisão muito alto ou quando não se dispõe de dados ou tempo suficientes para análises mais avançadas com modelos dinâmicos e estocásticos. Já o nível de agregação dos dados depende geralmente da dimensão do sistema analisado: para avaliação da rede de uma cidade inteira, por exemplo, os modelos macroscópicos são mais indicados, já para a avaliação de um trecho de via específico, um modelo microscópico tem maior capacidade para representar o trânsito em questão. O quadro 4 sumariza as principais vantagens e desvantagens de cada tipo de simulador segundo o nível de agregação.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens de modelos macro, meso e (sub)microscópicos

	<b>Modelos microscópicos/ submicroscópicos</b>	<b>Modelos mesoscópicos</b>	<b>Modelos macroscópicos</b>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilita alto detalhamento</li> <li>Possibilita modelar configurações geométricas complexas</li> <li>Analisa impactos operacionais</li> <li>Pode ser estático ou dinâmico</li> <li>Possibilita modelar condições de supersaturadas</li> <li>Possibilita modelar pontos chave de gargalo</li> <li>Boas condições de visualização de resultados (para técnicos e leigos)</li> <li>Vasta variedade de medidas de performance</li> <li>Analisa impactos locais e de todo o sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capaz de medir impactos em um corredor ou em todo o sistema</li> <li>Capacidade de roteamento dinâmico</li> <li>Possibilita análise temporal detalhada</li> <li>Captura estratégias não recorrentes e operacionais</li> <li>Mais refinado que modelos macroscópicos e menos intenso que modelos microscópicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Possibilita modelar grandes áreas geográficas</li> <li>Tempo de simulação curto</li> <li>Maior facilidade para calibração do que modelos meso e microscópicos</li> <li>Necessidade de nível mediano de competências técnicas</li> </ul>

(continua)

(continuação)

	<b>Modelos microscópicos/ submicroscópicos</b>	<b>Modelos mesoscópicos</b>	<b>Modelos macroscópicos</b>
<b>Desvantagens</b>	<p>Grande necessidade de recursos (dados, custo, competências técnicas, tempo para análise)</p> <p>Restringe-se a corredores ou pequenas áreas de estudo</p> <p>Pouco familiar para tomadores de decisão (produz medidas de performance diferentes das tradicionais)</p> <p>Necessita de “macetes” para simular certas condições da área em estudo</p> <p>Necessidade de nível alto de competências técnicas</p>	<p>Grande necessidade de recursos (dados, custo, competências técnicas, tempo para análise)</p> <p>Limita-se à análise dos impactos relacionados aos links, sem abranger os impactos relacionados às faixas</p> <p>Nem todos os modelos são capazes de representar os parâmetros de sinalização semafórica detalhadamente</p> <p>Necessidade de nível alto de competências técnicas</p>	<p>Representação da movimentação do tráfego muito simples</p> <p>Complexidade da rede modelada é limitada</p> <p>Desvios de tráfego não podem ser modelados explicitamente</p> <p>Incapacidade de avaliar precisamente estratégias operacionais</p>

(fonte: baseado em UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2015)

## 6.2 VISSIM

Para fazer a análise proposta, esta pesquisa utilizou o software VISSIM, um simulador de tráfego desenvolvido e comercializado pela empresa PTV. VISSIM é a sigla do termo alemão *Verkehr In Städten SIMulation* (simulação de tráfego em cidades) e consiste em um simulador de abordagem microscópica, dinâmico discreta e estocástica, que permite modelar o tráfego de automóveis, pedestres e transportes públicos, além de possibilitar a análise e otimização do funcionamento de interseções e redes viárias (PTV, 2014). O software utiliza algoritmos de representação do tráfego baseados nos trabalhos de Wiedemann (1974<sup>36</sup>, 1991<sup>37</sup>), combinando um modelo de percepção de motoristas com modelos de desempenho de veículos.

O funcionamento destes modelos ocorre através do cálculo das trajetórias individuais dos veículos, o qual é baseado em algoritmos de *car-following* (perseguição veicular), *lane-*

<sup>36</sup> WIEDEMANN, R. **Simulation des Straßenverkehrsflusses**. Karlsruhe: Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, 1974. Heft 8.

<sup>37</sup> WIEDEMANN, R. Modeling of RTI-Elements on multi-lane roads. In: COMMISSION OF THE EUROPEAN Community (Ed.). **Advanced Telematics in Road Transport**. Brussels, 1991, DG XIII. Demais informações não foram disponibilizadas.



*changing* (mudança de faixa) e *gap-acceptance* (aceitação de brechas). A partir destes algoritmos, é possível reproduzir o comportamento dos veículos e as interações entre eles, simulando os seus deslocamentos desde a entrada na rede simulada até a saída.

O VISSIM é amplamente utilizado em pesquisas de caráter científico em diversos países, tanto para análises de redes de transporte urbano como para a análise de rodovias e estradas de alta velocidades interestaduais. Dentre os diversos dados de saída fornecidos pelo software, pode-se citar tempos de viagem, tempos de atraso, consumo de combustível, emissões de poluentes, tamanho de filas, distâncias percorridas, número de veículos, velocidades e acelerações, números de paradas (PTV, 2014).

### 6.3 ETAPAS DA SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Segundo Araújo (2003), a simulação de tráfego compreende a comparação de cenários alternativos – um cenário de referência que representa a situação inicial e cenários alternativos que contemplam as modificações propostas. A metodologia genérica utilizada para este processo é consenso comum na literatura, e o autor sugere a seguinte discriminação de etapas, proveniente de uma compilação dos trabalhos de Lieberman e Rathi<sup>38</sup> (1997) e Lind et al.<sup>39</sup> (1999):

- a) **concepção dos cenários avaliados:** quando se estabelece as hipóteses básicas adotadas na modelagem. Nesta etapa, ocorre a definição do software a ser utilizado, da área de estudo e do período de análise;
- b) **levantamento e codificação de dados:** quando ocorre a caracterização do ambiente estudado através do fornecimento das informações necessárias para codificação, calibração e validação do modelo. Esta etapa envolve observações de campo (dados de fluxo, velocidade, programação semafórica, etc.), levantamentos de projetos e mapas (comprimento, largura e número de faixas, velocidades limite, pontos de parada, etc.), entre outros;
- c) **calibração do modelo:** quando os dados e parâmetros de entrada de um modelo são ajustados buscando a equivalência dos resultados simulados e a realidade. Os parâmetros a serem ajustados são geralmente características de

---

<sup>38</sup> LIEBERMAN, E.; RATHI, A. K. Traffic Simulation. In: GARTNER, N.; MESSER, C. M.; RATHI, A. K. (Eds.) **The revised monograph on traffic flow theory**. Washington: Federal Highway Administration, 1997. Cap. 10.

<sup>39</sup> LIND G.; SCHMIDT, K.; ANDERSON, H.; ALGERS, S.; CANEPARI, G.; DI TARANTO, C.; BERNAUER, E.; BRÉHERET, L.; GABART, J. F.; FOX, K. **Best Practice Manual**. 1999. Deliverable D8 of the SMARTEST Project.

fluxo, aspectos comportamentais dos motoristas e operações de controle de tráfego;

- d) **validação do modelo:** quando se verifica se a calibração foi, de fato, eficaz. Caso os resultados da simulação não sejam compatíveis com os referências de validação (dados representativos da realidade), repete-se a etapa de calibração até que seja atingida uma equivalência de dados satisfatória. Alguns parâmetros utilizados como validação podem ser dados de fluxo, velocidade, tempos de viagem, comprimento de filas, etc.;
- e) **modelagem dos cenários avaliados:** quando procede-se com a execução dos diversos cenários no modelo viário construído no software. Caso o software utilize uma abordagem estocástica, é necessário fazer múltiplas rodadas para cada cenário e analisar estes resultados de forma associada;
- f) **análise de resultados:** quando compara-se os resultados do cenário base com os resultados da modelagem após a mudança de um dado de entrada particular e verifica-se o impacto nos parâmetros de saída de interesse.

A ordem apresentada acima não é obrigatoriamente a que ocorre na prática, e o processo possui, muitas vezes, comportamento cíclico (nos casos em que os níveis de confiança não atingiram resultados satisfatórios e é necessário repetir-se as etapas de calibração e validação).

## 6. 4 SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

Um dos principais dados de entrada necessários para a caracterização do modelo em um software de simulação de tráfego é a sinalização semafórica. Segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (BRASIL, [2012?], p. 11),

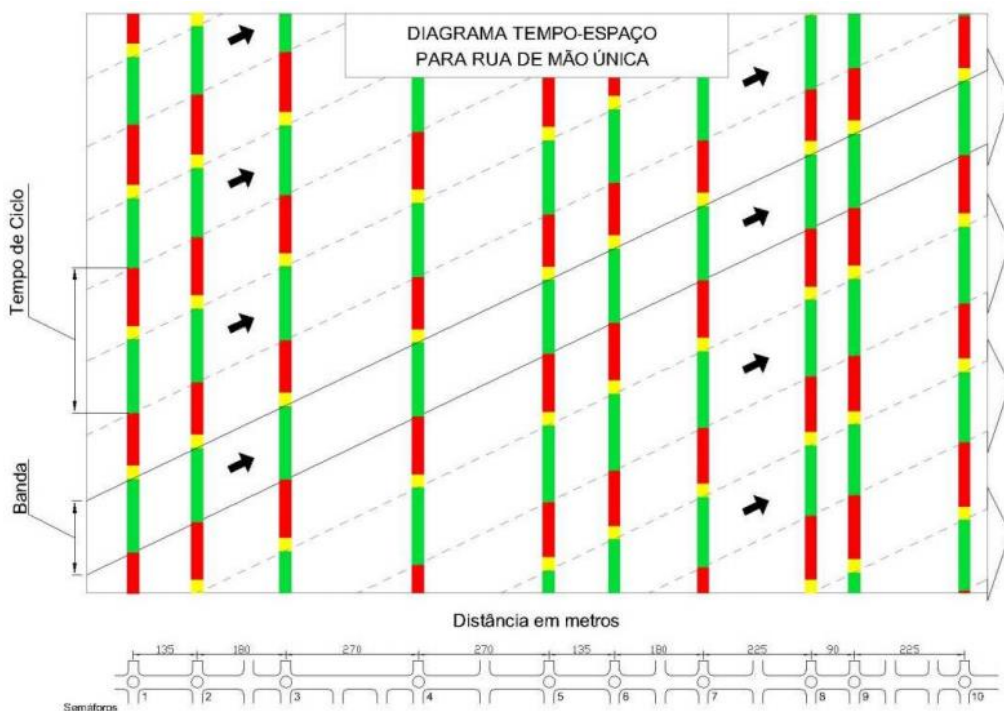
A sinalização semafórica é um subsistema da sinalização viária que se compõe de indicações luminosas acionadas alternada ou intermitentemente por meio de sistema eletromecânico ou eletrônico. Tem a finalidade de transmitir diferentes mensagens aos usuários da via pública, regulamentando o direito de passagem ou advertindo sobre situações especiais nas vias.

A sinalização semafórica é geralmente programada de acordo com um plano semafórico, o qual pode referir-se somente a uma interseção isolada ou englobar múltiplas interseções ao longo de um trecho de via. Quando cada interseção é controlada independentemente das outras (ou seja, sem coordenação), diz-se que o controle semafórico é isolado, e quando busca-se uma coordenação entre os semáforos de diferentes interseções (geralmente para aumentar o desempenho da circulação dos veículos), diz-se que o controle semafórico é em rede. A coordenação semafórica traz vantagens como o aumento de conforto dos usuários,

redução de congestionamentos e filas, redução do número de paradas dos veículos ao longo do trecho, priorização do tráfego de veículos de transporte público em determinados horários e melhor controle da velocidade do fluxo de veículos (BRASIL, [2012?]).

Para que uma programação semafórica opere em rede, é necessário encontrar a defasagem entre os tempos semafóricos das interseções consecutivas, ou seja, o intervalo de tempo decorrido entre o início dos verdes das interseções. Esta pode ser calculada manualmente, em casos mais simples, ou com o auxílio de ferramentas computacionais, para casos de procedimentos mais complexos. A figura 9 demonstra um exemplo de um dos diversos métodos que podem ser empregados para a determinação da programação semafórica: o diagrama espaço-tempo. Este é um método simplificado, que desconsidera a existência de filas nas aproximações das interseções e consiste basicamente em representar graficamente em escala as interseções de interesse no eixo horizontal e os tempos de ciclo no eixo vertical (tempos de verde, amarelo e vermelho).

Figura 9 – Exemplo de um diagrama espaço-tempo



(fonte: BRASIL, [2012?], p. 189)

A inclinação das linhas diagonais representa a velocidade de progressão do fluxo desejada – a qual idealmente é a velocidade limite da via – e o elemento identificado como banda é o que é

utilizado para definir as defasagens entre os semáforos, pois representa o tempo de verde durante o qual um grupo de veículos percorrerá o trecho sem parar nas sinalizações semaforicas.

O manual de sinalização do DENATRAN (BRASIL, [2012?]) comenta que a coordenação semaforica influi diretamente no desempenho da circulação da via e que a falta dela pode comprometer seriamente a operação em alguns casos. A defasagem da programação semaforica está intimamente relacionada com a velocidade que os veículos trafegam na via e comumente é utilizada para incentivar os veículos a circular dentro dos limites de velocidade da via. Como visto na figura 9, a inclinação da banda, é a velocidade que se espera que os veículos trafeguem. Utilizando-se disso, a criação de uma “onda verde” na programação semaforica pode ser uma alternativa bastante interessante para controlar veículos com velocidades acima da permitida: caso o veículo imprima uma velocidade acima da permitida, é improvável que este acompanhe a onda de verdes e acabe tendo que diminuir sua velocidade para parar em um sinal vermelho.

## **7. ANÁLISE DA REDUÇÃO DE VELOCIDADE EM UMA VIA ARTERIAL**

Diversos estudos feitos ao redor do mundo afirmam que o impacto na operação do tráfego em vias urbanas proveniente da variação do limite de velocidade é mínimo, podendo ser até imperceptível. Buscando confirmar mais uma vez estas afirmações e verificar a relevância destes impactos considerando diferentes fluxos e a implementação conjunta de coordenação semafórica, esta pesquisa se propôs a simular uma via urbana arterial utilizando um software de simulação de tráfego.

Este capítulo pretende apresentar o processo de simulação e a análise comparativa feita entre situações de redução de velocidade limite partindo um cenário base de uma via de 60 km/h. As variáveis analisadas foram tempo de viagem total, tempo de atraso, tempo parado e número de paradas. Ainda, verificou-se o impacto devido à coordenação semafórica e à intensidade de fluxo.

### **7.1 ETAPAS DA SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO**

Esta seção descreve as etapas seguidas para a simulação que a pesquisa se propôs a fazer. A estrutura de apresentação do processo foi dividida de forma similar às etapas descritas na seção 6.3, onde cada seção relata uma das etapas da simulação do tráfego.

#### **7.1.1 Concepção dos cenários avaliados**

A primeira etapa consistiu na escolha das ferramentas a serem utilizadas e na definição do objeto de estudo, ou seja, a definição do software e da via a nele ser modelada.

##### **7.1.1.1 Definição do software**

A proposta da pesquisa era analisar um trecho específico de via, portanto, o tipo de simulador necessário era um que utiliza a abordagem microscópica. A seleção do software VISSIM, da



A escolha deste trecho como base para o modelo a ser simulado se deu por diversos motivos:

- a) **via urbana:** a proposta da pesquisa é analisar uma via de ambiente urbano, portanto a via simulada deveria ser uma via com estas características (com interseções, semáforos, paradas de ônibus, etc.);
- b) **disponibilidade de dados:** buscou-se uma via que em que já houvessem sido feitas pesquisas de contagens de tráfego e/ou que tivesse dispositivos controladores eletrônicos que coletassem informações sobre os valores de fluxos de veículos para subsidiar a construção de um cenário base realista;
- c) **facilidade para obtenção/coleta de dados:** haja vista a dificuldade de conseguir todos os dados necessários para gerar o modelo, buscou-se uma via de fácil acesso para que fosse possível coletar dados faltantes em campo;
- d) **velocidade limite da via:** dado o grande número de estudos em vias de 60 km/h (principalmente os estudos com redução de 60 km/h para 50 km/h), achou-se plausível dar preferência para vias com limite de velocidade próximo a este para reproduzir-se no cenário base do modelo.

Reitera-se que a via modelada não pretende representar a Avenida Ipiranga fielmente. Esta avenida foi utilizada apenas como base para que a via simulada fosse realista e coerente em termos de valores de volume de tráfego, programação semaforica, geometria, localização de paradas de ônibus, etc.

Definiu-se também o período do dia em que seria feita a análise. Para isto optou-se utilizar o período considerado mais crítico para o tráfego urbano – o período de pico –, que, no caso da Avenida Ipiranga, era o compreendido entre 16h00 e 18h00, em dia útil.

### 7.1.2 Levantamento e codificação de dados

Os dados utilizados para a montagem do modelo foram buscados em diversas fontes. Primeiramente, para diminuir ao máximo o trabalho de coleta de dados em campo, buscou-se junto à Empresa Pública de Transporte e Circulação do Município de Porto Alegre (EPTC) o maior número de informações possível relacionadas à via referência (Avenida Ipiranga). A empresa dispunha de dados de fluxo de apenas algumas das vias ao longo do trecho estudado (avenidas Érico Veríssimo, Azenha, João Pessoa e ruas Ramiro Barcelos, Silva Só e João Guimarães) referente aos anos de 2007 a 2009.

O Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN) também dispunha de dados referentes ao trecho entre as avenidas Érico Veríssimo e João Pessoa. Os dados foram coletados em

pesquisa anterior, ocorrida no final de 2013, e compreendiam dados de fluxo e programação semafórica de todo o trecho entre as vias citadas.

O restante dos dados foi coletado em campo ou arbitrado de acordo com os valores já obtidos e o bom senso – flexibilidade existente pelo fato de a via modelada não ser uma representação fiel da Avenida Ipiranga. Assim, os dados coletados em campo foram a programação semafórica das interseções restantes (manteve-se as programações já coletadas anteriormente pela pesquisa feita pelo LASTRAN), tempo de parada dos ônibus para embarque e desembarque de passageiros, sentidos de fluxo, movimentos de conversão permitidos e prioridades de passagem.

As informações referentes à geometria da via, como comprimento, largura e número de faixas, localização das interseções, travessias de pedestres e paradas de ônibus, foram coletadas a partir de imagens de satélite.

Como os dados de fluxo de diferentes fontes foram coletados em períodos muito distantes um do outro (entre 4 a 6 anos de diferença), decidiu-se corrigir os valores de fluxo de 2007-2009 de forma a compatibilizá-los com os valores coletados em 2013. Para isto, aproveitou-se da existência de dados coincidentes dos anos 2007-2009 e 2013 para três das interseções do trecho em estudo (Avenidas Érico Veríssimo, Azenha e João Pessoa). A partir da análise e comparação destes dados justapostos, encontrou-se fatores de correção do fluxo, um para o período entre 16h00 e 17h00 e outro para o período entre 17h00 e 18h00, e corrigiu-se os valores mais antigos.

Os dados de fluxo foram inseridos no software conforme abordagem dinâmico discreta, ou seja, o valor do fluxo varia durante o período de simulação em instantes específicos isolados. Assim, os fluxos iniciais foram constantes até a primeira hora simulada (das 16h00 às 17h00) e durante a segunda hora simulada (das 17h00 às 18h00) adotaram outros valores, também constantes.

### 7.1.3 Calibração do modelo

As características dos fluxos de tráfego, comportamento do condutor e das operações de controle de tráfego simuladas pelos modelos microscópicos, como o VISSIM, são guiadas por



numerosos parâmetros independentes. O VISSIM oferece uma configuração com valores padrão para cada um desses parâmetros, a qual pode ser alterada pelo usuário para adequação a situações diferentes da considerada padrão pelo software. Esta calibração deve ser feita para que o simulador possa reproduzir de forma satisfatória o comportamento da via específica.

Haja vista que o VISSIM é um software alemão, os parâmetros padrão do modelo comportamental dos veículos são baseados no perfil comportamental de motoristas europeus, e, portanto, essa configuração padrão não necessariamente representa o comportamento do tráfego de vias de outras localidades. No caso de uma situação diferente da padrão, se faz necessária uma calibração específica para cada cenário (MEDEIROS, 2012).

A calibração destes parâmetros, porém, é bastante desafiadora e não é amplamente compreendida. Oliveira e Cybis (2008) comentam que a tarefa é complexa em decorrência da complexidade do fenômeno e da correlação existente entre os parâmetros. Já Hollander e Liu<sup>40</sup> (2008 apud MEDEIROS, 2012) consideram que a estimação dos parâmetros é difícil pelo fato de estes serem difíceis de medir em campo, seja pela dificuldade de isolá-los, seja pela quantidade de dados que devem ser coletados. Possivelmente, estes sejam os motivos de não existir um procedimento único consensual na literatura para calibração e validação de modelos (MEDEIROS, 2012). Segundo Lacerda et al. (2014, p. 1), “Diversas questões fundamentais acerca da calibração do modelo de *car-following* para o tráfego interrompido permanecem passíveis de investigação [...]”.

Geralmente realizada por tentativa e erro, onde o êxito depende bastante da experiência do usuário, a calibração é um processo lento e pouco eficiente (HOURDAKIS<sup>41</sup> et al., 2003 apud Medeiros, 2012), principalmente quando o número de parâmetros é grande. O VISSIM possui, no total, 30 parâmetros em que se permite a calibração e por esse motivo diversos autores acabam evitando a calibração. Segundo Medeiros (2012, p. 25), “percebe-se que apesar do grande número de parâmetros possíveis de serem calibrados no microsimulador, poucos autores realizaram a calibração de mais de quatro parâmetros.”. O autor defende que,

---

<sup>40</sup> HOLLANDER, Y.; LIU, R.. **The Principles of Calibrating Traffic Microsimulation Models**. [s. l.]: Springer, 2008. v. 35, p. 347–362.

<sup>41</sup> HOURDAKIS, J.; MICHALOPOULOS, P. G.; KOTTOMMANNIL, J. Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models. **Transportation Research Record**, n. 1852, p. 130-139, 2003. Demais informações não foram disponibilizadas.

por esse motivo, é indispensável automatizar o processo com o uso de métodos computacionais de otimização.

Medeiros (2012, p. 26) ainda diz que

Durante a revisão de pesquisas que envolvessem calibração de simuladores de tráfego foi percebido que não se tem dado atenção merecida à calibração para redes viárias urbanas semelhantes às encontradas nas grandes cidades brasileiras. Na revisão foi encontrado apenas um estudo de relevância [...].

Feitos todos estes comentários, e visto que não havia recursos suficientes para realizar um trabalho eficiente e de boa qualidade, a calibração dos parâmetros comportamentais do VISSIM para vias brasileiras não foi incluída no escopo deste trabalho, e os parâmetros utilizados foram os padrões do software. Como a análise é uma comparação entre diferentes cenários hipotéticos e não pretende avaliar a situação real da Avenida Ipiranga, a não calibração, neste caso, não invalida os resultados da pesquisa.

A calibração do modelo ocorreu apenas através da análise visual da animação gráfica gerada pelo simulador. Após inserir todos os dados de entrada no modelo (geometria de via, dados de fluxos, programação semafórica, etc.), as primeiras tentativas de execução da simulação apresentaram alguns problemas, como esperado. Para isto, analisou-se cuidadosamente cada um deles e fizeram-se os ajustes necessários para que a simulação acontecesse de forma mais próxima à operação da via analisada. O modelo foi considerado calibrado quando o sistema passou a operar de maneira realista, ou seja, sem anomalias, pontos de conflito não esperados, entre outros distúrbios.

#### 7.1.4 Modelagem dos cenários avaliados

O cenário base para avaliação consistia na via modelada com o limite de velocidade de 60 km/h. Decidiu-se avaliar situações em que a velocidade limite reduzisse em 10 km/h e 20 km/h, uma vez que estes valores se mostraram os mais usuais nos casos reais e estudos de redução de velocidade limite até o momento. Para cada uma das reduções de velocidade a ser analisada, decidiu-se verificar os resultados mantendo-se a coordenação semafórica do cenário base (programada para velocidades de 60 km/h), e também adaptando-se para as novas velocidades reduzidas (de 50 km/h e 40 km/h).

Para isto, admitiu-se inicialmente que a velocidade limite do cenário base (60 km/h) e a velocidade média de fluxo dos veículos fossem compatíveis. Como visto na seção 5.1, a variação do limite de velocidade não produz uma redução da velocidade dos veículos de mesma magnitude. Assim, para simular uma redução de velocidade limite de 10 km/h e de 20 km/h, a alteração da velocidade desejada média dos veículos configurada na simulação foi de 3 km/h e de 5 km/h, respectivamente. Estas aproximações foram feitas considerando que a magnitude da variação da velocidade média dos veículos é proporcional a 25% da variação do limite legal, baseado nos achados dos estudos expostos no quadro 2 da seção 5.1.

Para avaliar estas variações de velocidade limite propostas, simulou-se cinco cenários diferentes, os quais são apresentados na tabela 4. A primeira coluna apresenta o nome do cenário, a segunda a velocidade limite definida para o cenário, a terceira a velocidade desejada média dos veículos configurada no software e a quarta a velocidade de progressão para a qual os semáforos foram programados. A nomenclatura dos cenários seguiu a seguinte lógica (com exceção do cenário Base): os primeiros dois dígitos referem-se ao limite de velocidade definido para o cenário (50 km/h ou 40 km/h) e o terceiro dígito indica se o cenário está com (C) ou sem (S) sinalização semafórica adaptada para a sua velocidade limite. Nos cenários sem coordenação semafórica adaptada (S) manteve-se a coordenação original do cenário base.

Tabela 4 – Cenários simulados

<b>Cenário</b>	<b>Velocidade limite</b>	<b>Velocidade desejada média</b>	<b>Coordenação semafórica para velocidade de</b>
Base	60 km/h	60 km/h	60 km/h
50S	50 km/h	57 km/h	60 km/h
50C	50 km/h	57 km/h	50 km/h
40S	40 km/h	55 km/h	60 km/h
40C	40 km/h	55 km/h	40 km/h

(fonte: elaborado pela autora)

Estas 5 simulações tornaram possível avaliar quatro casos de variação de velocidade limite:

- a) **caso B50S:** redução de 60 km/h para 50 km/h, sem ajuste da coordenação semafórica (comparação do cenário Base com o cenário 50S);
- b) **caso B50C:** redução de 60 km/h para 50 km/h, com ajuste da coordenação semafórica (comparação do cenário Base com o cenário 50C);
- c) **caso B40S:** redução de 60 km/h para 40 km/h, sem ajuste da coordenação semafórica (comparação do cenário Base com o cenário 40S);
- d) **caso B40C:** redução de 60 km/h para 40 km/h, com ajuste da coordenação semafórica (comparação do cenário Base com o cenário 40C).

### 7.1.5 Análise de resultados

A simulação de cada um dos cinco cenários foi rodada três vezes, uma vez que o VISSIM foi configurado para executar um comportamento estocástico, e portanto existe necessidade de múltiplas rodadas. Para facilitar a configuração dos cenários, coleta de resultados do simulador e, principalmente, a configuração da coordenação semafórica, decidiu-se avaliar os dados apenas de uma das mãos da avenida em estudo. Selecionou-se o sentido Oeste-Leste.

As simulações geraram arquivos que documentam as informações individuais de tempo total de viagem, tempo de atraso, tempo parado e número de paradas, para cada um dos veículos que passaram pela via virtual. Para possibilitar a análise, estes valores foram agregados (considerando os resultados das três rodadas de simulação para cada cenário) na forma de medidas estatísticas, discriminados somente pelos dois períodos com diferentes dados de fluxo. As tabelas 5, 7, 9 e 11 resumem os resultados destas agregações de dados, e as tabelas 6, 8, 10 e 12 fazem uma análise comparativa entre os cenários de acordo com os casos apresentados na seção 7.1.4. Todos os dados apresentados nas tabelas consideram somente os veículos que fizeram todo o trajeto pela via principal, ou seja, que foram introduzidos no modelo do lado Oeste da via principal e terminaram sua trajetória do lado Leste da via principal.

Para avaliar também a influência da intensidade do fluxo através das tabelas, é interessante saber o fluxo de veículos na via durante os dois diferentes períodos da simulação. Como a entrada de veículos no modelo foi programada como sendo de característica estocástica, não é possível informar o valor exato do fluxo durante de cada hora. Além disso, o fluxo varia ao

longo do trecho uma vez que as vias transversais à principal também introduziam ou retiravam veículos do sistema ao longo do trajeto. Assim, consegue-se apenas informar o fluxo esperado de entrada de veículos no início do trecho principal para os dois períodos (que foi um dos dados de entrada no momento de criação do modelo): em torno de 1000 veículos por hora no período das 16h00 às 17h00 e em torno de 3200 veículos por hora no período das 17h00 às 18h00.

As próximas seções apresentam os resultados obtidos da simulação e levemente trabalhados para possibilitar as análises.

### 7.1.5.1 Impactos no tempo de viagem

O tempo de viagem por veículo foi medido entre os extremos do trecho analisado. A tabela 5 apresenta os resultados gerados pelo software agregados na forma de medidas estatísticas (média, desvio padrão e valores máximo e mínimo) para cada cenário e período de simulação, e a tabela 6 sumariza as variações decorrentes das reduções de velocidade de acordo com os casos listados na seção 7.1.4. Os valores em que representam um benefício foram destacados em verde e os que representam um prejuízo foram destacados em vermelho.

Tabela 5 – Resultados das simulações: tempo total de viagem por veículo (em segundos)

Cenário	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
Base	188.12	54.19	445.10	119.10	226.93	44.00	591.00	127.40
50S	191.39	50.82	501.40	125.70	226.69	40.12	591.00	127.40
50C	198.99	53.48	429.60	128.70	240.30	38.79	572.70	141.30
40S	196.10	50.16	441.20	127.40	226.12	41.74	539.00	135.90
40C	215.56	48.47	444.50	136.90	237.02	38.76	756.20	152.50

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 6 – Variação das estatísticas do tempo total de viagem por veículo para os casos de redução de velocidade

Caso	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
B50S	1.74%	-6.23%	12.65%	5.54%	-0.11%	-8.82%	0.00%	0.00%
B50C	4.24%	-7.44%	-0.88%	6.97%	-0.36%	-5.12 %	-8.80%	6.67%
B40S	5.78%	-1.31%	-3.48%	8.06%	5.89%	-11.85%	-3.10%	10.91%
B40C	14.58%	-10.56%	-0.13%	14.95%	4.44%	-11.90%	27.95%	19.70%

(fonte: elaborado pela autora)

A partir da tabela 6, verifica-se que os casos de redução de velocidade limite:

- no geral, apresentam aumentos no tempo de viagem médio bastante pequenos, como esperado, oscilando entre 0 e 6%, com exceção do caso B40C que atingiu uma porcentagem ligeiramente maior no período de fluxo baixo;
- em sua maioria geraram um maior **tempo de viagem médio**, como esperado, com exceção da redução para 50 km/h durante o período de alto fluxo;
- dentro do período de baixo fluxo, demonstram que a **coordenação semafórica** tomada como medida conjunta surtiu um efeito prejudicial ao tempo de viagem médio, o que não era esperado. Já dentro do período de alto fluxo, a coordenação semafórica se mostrou uma boa medida paralela;
- geraram um maior aumento no tempo de viagem médio para os casos de maior magnitude de **redução do limite**, como esperado;
- quando usada a coordenação semafórica como medida conjunta, impactaram o tempo de viagem médio em menor magnitude nas situações de altos **fluxos**. Já para os casos sem coordenação semafórica o impacto tende a ser similar para as diferentes intensidades de fluxo;
- geram sempre um **tempo mínimo de viagem** maior, como esperado;
- não apresentam padrão de comportamento para o **tempo máximo de viagem**;
- geraram sempre uma redução no **desvio padrão** dos tempos de viagem.

### 7.1.5.2 Impactos no tempo de atraso

O tempo de atraso por veículo foi medido entre os extremos do trecho analisado, e representa a diferença entre o tempo de viagem real que o veículo levou para completar o trajeto e o tempo que o mesmo levaria se não houvesse nenhuma intervenção do tráfego (paradas,

veículos mais lentos à frente, semáforos fechados, etc.). A tabela 7 apresenta os resultados gerados pelo software agregados na forma de medidas estatísticas (média, desvio padrão e valores máximo e mínimo) para cada cenário e período de simulação, e a tabela 8 sumariza as variações decorrentes das reduções de velocidade de acordo com os casos listados na seção 7.1.4. Os valores em que representam um benefício foram destacados em verde e os que representam um prejuízo foram destacados em vermelho.

Tabela 7 – Resultados das simulações: tempo de atraso por veículo (em segundos)

Cenário	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
Base	55.22	48.46	275.80	0.00	96.01	42.14	448.40	2.60
50S	51.47	45.51	332.80	0.00	92.17	38.28	448.40	2.60
50C	52.98	46.79	263.60	0.00	97.16	36.88	415.10	3.60
40S	55.94	45.10	284.70	0.00	88.11	39.69	369.90	5.50
40C	70.18	42.97	277.70	0.80	93.61	36.99	576.40	13.10

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 8 – Variação das estatísticas do tempo de atraso para os casos de redução de velocidade

Caso	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
B50S	-6.80%	-6.08%	20.67%	-	-4.00%	-9.15%	0.00%	0.00%
B50C	1.29%	-6.93%	3.23%	-	-8.23%	-5.81%	-17.51%	111.54%
B40S	-4.05%	-3.44%	-4.42%	-	1.19%	-12.48%	-7.43%	38.46%
B40C	27.08%	-11.33%	0.69%	-	-2.51%	-12.22%	28.55%	403.85%

(fonte: elaborado pela autora)

A partir da tabela 8, verifica-se que os casos de redução de velocidade limite:

- a) no geral, apresentam variações no tempo de atraso médio pouco significativas variando entre reduções de até 8% e aumentos de menos de 2%, com um caso isolado de piora de pouco mais de 25% (caso B40C no período de fluxo baixo);
- b) não possuem um padrão de comportamento claro referente ao impacto no **tempo de atraso médio**, apresentando possibilidades de aumento ou redução dentre as diferentes situações;
- c) dentro do período de baixo fluxo, demonstram que a **coordenação semafórica** tomada como medida conjunta surtiu um efeito prejudicial ao tempo de atraso médio, o que não era esperado. Já dentro do período de alto fluxo, a coordenação semafórica se mostrou uma boa medida paralela;
- d) indicaram que para maiores magnitudes de **redução do limite**, piores (ou menos benéficos) serão os impactos no tempo de atraso médio, como esperado;
- e) quando usada a coordenação semafórica como medida conjunta, impactaram o tempo de atraso médio de forma positiva nas situações de altos **fluxos**, quando comparadas com as de baixo fluxo, e que o oposto ocorre quando não se incluiu a coordenação semafórica;
- f) geram sempre um **tempo mínimo de atraso** maior, como esperado;
- g) não apresentam padrão de comportamento para o **tempo máximo de atraso**;
- h) geraram sempre uma redução **desvio padrão** dos tempos de atraso.

### 7.1.5.3 Impactos no tempo parado

O tempo parado por veículo foi medido entre os extremos do trecho analisado, e representa o somatório dos tempos decorridos enquanto o veículo estava parado (seja por causa do tempo vermelho de um semáforo, por estar parado em fila ou atrás de um ônibus em uma parada de ônibus, etc.). A tabela 9 apresenta os resultados gerados pelo software agregados na forma de medidas estatísticas (média, desvio padrão e valores máximo e mínimo) para cada cenário e período de simulação, e a tabela 10 sumariza as variações decorrentes das reduções de velocidade de acordo com os casos listados na seção 7.1.4. Os valores em que representam um benefício foram destacados em verde e os que representam um prejuízo foram destacados em vermelho.



Tabela 9 – Resultados das simulações: tempo parado por veículo (em segundos)

Cenário	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
Base	28.65	30.03	167.70	0.00	40.54	24.90	311.20	0.00
50S	28.50	29.19	195.50	0.00	39.15	22.74	311.20	0.00
50C	30.15	30.64	151.50	0.00	43.38	21.26	275.10	0.00
40S	25.55	28.37	177.20	0.00	30.26	24.63	205.60	0.00
40C	26.45	28.74	157.90	0.00	25.55	23.81	264.00	0.00

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 10 – Variação das estatísticas do tempo parado por veículo para os casos de redução de velocidade

Caso	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
B50S	-0.51%	-2.80%	16.58%	-	-3.41%	-8.69%	0.00%	-
B50C	-10.82%	-5.55%	5.66%	-	-25.36%	-1.08%	-33.93%	-
B40S	5.26%	2.02%	-9.66%	-	7.01%	-14.62%	-11.60%	-
B40C	-7.69%	-4.32%	-5.84%	-	-36.97%	-4.40%	-15.17%	-

(fonte: elaborado pela autora)

A partir da tabela 10, verifica-se que os casos de redução de velocidade limite:

- apresentam variações no tempo parado médio oscilando entre -37 e 7%;
- em sua maioria geraram um menor **tempo parado médio**, como esperado, com exceção do caso B40S;
- demonstram que a **coordenação semafórica** tomada como medida conjunta surtiu um efeito positivo no tempo parado médio, como esperado;
- geraram um impacto mais positivo no tempo parado médio nos casos de **redução do limite** de menor magnitude;
- impactaram o tempo parado médio em maior magnitude nas situações de altos **fluxos**;
- não influenciaram no **tempo parado mínimo**;

- g) para as reduções de maior magnitude, geraram uma diminuição no **tempo parado máximo**;
- h) geraram redução do **desvio padrão** dos tempos parados, com exceção do caso B40S nos casos de baixo fluxo.

#### 7.1.5.4 Impactos no número de paradas

O número de paradas por veículo foi medido entre os extremos do trecho analisado, e considera paradas por causa do tempo vermelho de um semáforo, filas, etc. A tabela 11 apresenta os resultados gerados pelo software agregados na forma de medidas estatísticas (média, desvio padrão e valores máximo e mínimo) para cada cenário e período de simulação, e a tabela 12 sumariza as variações decorrentes das reduções de velocidade de acordo com os casos listados na seção 7.1.4. Os valores em que representam um benefício foram destacados em verde e os que representam um prejuízo foram destacados em vermelho.

Tabela 11 – Resultados das simulações: número de paradas por veículo

Cenário	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
Base	1.75	1.84	15.00	0.00	2.61	1.78	15.00	0.00
50S	1.61	1.72	15.00	0.00	2.50	1.71	18.00	0.00
50C	1.74	1.81	12.00	0.00	2.81	1.79	20.00	0.00
40S	1.69	1.72	13.00	0.00	2.55	1.86	28.00	0.00
40C	2.22	1.99	19.00	0.00	2.87	1.96	19.00	0.00

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 12 – Variação das estatísticas do número de paradas por veículo para os casos de redução de velocidade

Caso	16h - 17h				17h - 18h			
	Média	Desvio	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	Máximo	Mínimo
B50S	-7.61%	-6.90%	0.00%	-	-4.32%	-3.88%	20.00%	-
B50C	-3.17%	-6.65%	-13.33%	-	-2.64%	4.24%	86.67%	-
B40S	-0.50%	-1.59%	-20.00%	-	7.28%	0.75%	33.33%	-
B40C	27.09%	8.02%	26.67%	-	9.94%	10.36%	26.67%	-

(fonte: elaborado pela autora)

A partir da tabela 12, verifica-se que os casos de redução de velocidade limite:

- a) apresentam variações de número de paradas médio em torno de 10%, para mais ou para menos, com a exceção do caso B40C para o período de baixo fluxo, que sofreu um aumento de quase 30%;
- b) geraram um menor **número de paradas médio** nos casos de redução para 50 km/h, como esperado, porém o oposto ocorreu na maioria das situações nos casos de redução para 40 km/h, o que não era esperado;
- c) demonstram que a **coordenação semafórica** tomada como medida conjunta surtiu um efeito prejudicial ao número de paradas médio, o que não era esperado;
- d) geraram um impacto mais positivo no número de paradas médio nos casos de **redução do limite** de menor magnitude;
- e) impactaram o número de paradas mais positivamente nas situações de baixo **fluxo**;
- f) não influenciaram no **número de paradas mínimo**;
- g) geraram aumentos da ordem de 20 a 30% no número máximo de paradas, nos períodos de alto fluxo, com uma ocorrência extrema de mais de 80% de aumento. No período de baixo fluxo não identificou-se nenhum padrão específico;
- h) nos períodos de baixo fluxo, tenderam a reduzir o **desvio padrão** dos números de paradas e nos de alto fluxo tenderam a aumentar o desvio.

#### 7.1.5.5 Análises gerais e observações

A partir das observações feitas nas seções 7.1.5.1 a 7.1.5.4, pode-se ainda fazer algumas observações mais gerais:

- a) os valores médios dos parâmetros em sua maioria oscilaram em impactos de até 10% de variação, com exceção de alguns casos. Estas exceções ocorreram geralmente no caso B40C, o que sugere que as disparidades sejam decorrentes de algum evento específico de algumas das simulações devido ao efeito de variabilidade estocástica;
- b) com relação à coordenação semafórica como ação conjunta à redução de velocidade limite, ocorreram casos em que a medida se mostrou benéfica (geralmente nos períodos de alto fluxo) e outros em que se mostrou prejudicial (geralmente no período de baixo fluxo). Isto provavelmente se deve ao fato de que a velocidade desejada dos veículos configurada na simulação não era compatível com a velocidade da coordenação semafórica (velocidade limite legal), pois definiu-se que os motoristas reduziriam apenas 25% da redução do limite legal em suas velocidades. Desse modo, a velocidade desejada (57 km/h ou 55 km/h) ficou mais próxima da velocidade de coordenação do cenário Base (60 km/h) do que da sugerida para o próprio cenário (50 km/h ou 40 km/h). Este efeito não é percebido no período de alta intensidade de tráfego provavelmente por causa do efeito do maior congestionamento, e por isso existe esta diferença de comportamento entre as intensidades de fluxo;
- c) os efeitos da redução da velocidade limite são geralmente mais positivos (ou menos prejudiciais) para os casos em que a redução da velocidade foi menor, o que já era esperado;
- d) o impacto da redução da velocidade limite, bem como o da aplicação da coordenação semafórica, sofre bastante influência da intensidade do fluxo que ocorre na via;
- e) a redução dos limites de velocidade em nenhum caso gerou resultado positivo referente aos valores mínimos dos parâmetros avaliados – ou resultava em maiores tempos, ou não surtiu efeito nos parâmetros. Já para os valores máximos dos parâmetros não identificou-se um comportamento padrão, ocorrendo benefícios e prejuízos em diferentes casos;
- f) a redução da velocidade limite no geral, tendeu a resultar em menores desvios padrão dos parâmetros, o que sugere que o fluxo de veículos fica possivelmente mais regular;
- g) no geral, a redução da velocidade limite para 50 km/h apresentou mudanças benéficas, o que não ocorreu com a redução para 40 km/h. Isto faz sentido visto que 40 km/h é uma velocidade consideravelmente baixa para uma via arterial e para esta categoria reduções de magnitude muito grande não são ideais.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O número de acidentes de trânsito representa hoje um grande problema da sociedade. O impacto negativo dos acidentes é generalizado e afeta a economia dos países, seus sistemas de saúde, a saúde física e mental da população e a estruturação da sociedade. A real consciência deste problema é consideravelmente recente e atualmente já se percebe que alguns países (principalmente os mais desenvolvidos) estão tomando providências para lutar contra este mal, tornando a segurança viária prioridade na concepção e reformulação de projetos de sistemas viários.

A redução da velocidade limite legal vem sendo utilizada como uma ferramenta nesta luta contra os acidentes viários e, em geral, se mostra bastante efetiva neste esforço – a medida consegue diminuir em até 45% a frequência de incidentes. Apesar do grande benefício no âmbito da segurança, alguns efeitos negativos podem decorrer da redução do limite, principalmente no âmbito da operação viária, e encontra-se, por causa disso, certa resistência na adoção desta ação.

Dentro deste contexto, esta pesquisa reuniu diversos dados relativos aos impactos decorrentes da redução de redução de velocidades limites legais. Quanto à segurança, verificou-se que a medida tem grande potencial de redução de acidentes, o qual varia geralmente de 10 a 30% (com casos mais intensos que chegaram a 45% de redução) para reduções no limite legal de apenas 10 km/h. Já no âmbito de operação de tráfego, estudos anteriores relataram aumentos no tempo de viagem de somente até 5% para reduções do limite de mesma magnitude. As simulações feitas neste trabalho encontraram variações similares para o tempo de viagem: aumentos de até 6%, com exceção de uma situação. Ademais, os impactos negativos da operação tendem a reduzir a longo prazo.

Para entender mais profundamente os impactos na operação, esta pesquisa buscou analisar a redução do limite legal através de outros parâmetros: além do tempo de viagem, analisou-se o tempo de atraso, tempo parado e número de paradas. Buscou-se entender também como a medida interage com diferentes fluxos de veículos e com a coordenação semafórica.

Dentre os achados, as análises desta pesquisa sugerem que a redução do limite de velocidade torna o fluxo mais e regular, dado que os desvios padrão dos parâmetros avaliados sempre diminuíram com as reduções de limite – circunstância já prevista também pela literatura consultada. O tempo parado médio também parece diminuir com a medida e verificou-se que, para todos os parâmetros de análise, quanto maior a redução do limite de velocidade, piores (ou menos benéficos) serão os impactos sobre a operação.

Com relação ao impacto de diferentes fluxos e para situações com e sem coordenação semafórica, verificou-se que estas duas variáveis têm grande poder de influência sobre os resultados. Como este estudo simulou, com premissas baseadas na literatura, apenas um caso específico de comportamento (de que a redução da velocidade desejada dos veículos ocorre em apenas 25% da redução do limite de velocidade legal), considera-se que não há como fazer afirmações precisas sobre os impactos destas medidas de maneira geral. Para isto seria necessário uma pesquisa com maior foco nestes assuntos, e, por ter se mostrado um assunto bastante complexo, o ideal é que fossem utilizados softwares específicos de programação semafórica, como o TRANSIT, para definir a coordenação.

Para o caso específico estudado, porém, pode-se afirmar que a metodologia utilizada para definir a programação semafórica (de adotar a velocidade limite como a velocidade da progressão semafórica) não é a ideal do ponto de vista de melhorar a operação da via. Atribui-se este fato à disparidade entre a velocidade desejada dos veículos e a velocidade utilizada para a coordenação semafórica. Este efeito é enfrentado nas situações de baixo fluxo, porém é de certa forma eliminado quando o fluxo aumenta, dado que o nível de congestionamento cresce, diminuindo as velocidades dos veículos e tornando-as mais compatíveis com a velocidade da programação da coordenação da sinalização.

Assim, de modo geral, a redução da velocidade limite legal em vias urbanas se mostra uma opção muito interessante para a redução de acidentes de trânsito em vias urbanas. A troca de em torno de 5% de aumento no tempo de viagem por reduções de 10 a 30% no número de acidentes parece ser bastante coerente e compensadora. Ademais, pode-se ainda considerar outros benefícios secundários, como redução de poluição ambiental e sonora e fluxos veiculares mais regulares. De qualquer forma, a redução do limite legal de velocidade deve ser sempre justificada e muito bem pensada, uma vez que, apesar de baixo, o impacto na

operação do tráfego será provavelmente negativo (e quanto maior a redução, pior será o impacto, como comentado em parágrafo acima).

O Brasil possui diversas vias em que esta medida seria justificável. São comuns as vias de 60 a até 80 km/h que apresentam alta circulação de pedestres em nível. O quadro de acidentes no Brasil é considerado catastrófico por muitos autores e a situação econômica do país, em desenvolvimento e sempre com dificuldades de financiamento para projetos de alto custo, fazem da redução da velocidade limite uma boa solução, pois esta apresenta resultados eficazes na segurança e custos de implantação razoáveis.

Quanto à resistência à adoção da medida, considera-se ela algo esperável porém que não deve ser motivo para a desistência da ação. Como verificado em estudos anteriores, a aceitação tende a aumentar após a implantação da medida. A imposição de leis anteriores, como obrigatoriedade da carteira de habilitação e cinto de segurança, também não foram bem recebidas inicialmente por representar restrições novas aos usuários. Hoje, porém, a importância e eficácia que estas representam são por todos reconhecidas. Pode-se esperar que o mesmo ocorra com a redução da velocidade limite legal.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, D. R. C. de. **Comparação das simulações de tráfego dos modelos Saturn e Dracula**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- ARCHER, J.; FOTHERINGHAM, N.; SYMMONS, M.; CORBEN, B. **The impact of lowered speed limits in urban and metropolitan areas**. Victoria, AU: Monash University, [2007?]. Disponível em: <<http://casr.adelaide.edu.au/rsr/RSR2007/ArcherJ.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2015.
- \_\_\_\_\_. **The impact of lowered speed limits in urban and metropolitan areas**. Victoria, AU: Monash University, 2008. Version 5.00. Disponível em: <<http://www.monash.edu.au/miri/research/reports/muarc276.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MEDICINA DE TRÁFEGO. Acidentes de Trânsito no Brasil: Um atlas de sua Distribuição. **Revista ABRAMET**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 52-58, 2008. Disponível em: <[http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/13445/art\\_MELLO\\_JORGE\\_Acidentes\\_de\\_transito\\_no\\_Brasil\\_2008.pdf?sequence=1](http://www.producao.usp.br/bitstream/handle/BDPI/13445/art_MELLO_JORGE_Acidentes_de_transito_no_Brasil_2008.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 15 nov. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697**: pesquisa de acidentes de trânsito – terminologia. Rio de Janeiro, 1989.
- BERTA, R. BRT TransOeste tem velocidade máxima reduzida para 60km/h para aumentar segurança na via. **O Globo**, Rio de Janeiro, 8 out. 2014. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/brt-transoeste-tem-velocidade-maxima-reduzida-para-60kmh-para-aumentar-seguranca-na-via-14178259>>. Acesso em: 15 nov. 2014.
- BLUMENFELD, M. A lógica das Marginais: por que reduzir o limite de velocidade não prejudica e sim beneficia os motoristas de São Paulo. **TheCityFix Brasil**, Porto Alegre, 30 jul. 2015. Não paginado. Disponível em: <<http://thecityfixbrasil.com/2015/07/30/a-logica-das-marginais-por-que-reduzir-o-limite-de-velocidade-nao-prejudica-e-sim-beneficia-os-motoristas-de-sao-paulo/>>. Acesso em: 15 ago. 2015.
- BRANDÃO, L. M. Medidores eletrônicos de velocidade: Uma visão da engenharia para sua implantação. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 2., 2006, Ponta Grossa. **Anais eletrônicos...** Ponta Grossa: [s. n.], 2006. Não paginado. Disponível em: <[http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng\\_elet\\_automacao/41%20MEDIDORES%20ELETRONICOS%20DE%20VELOC%20UMA%20VISA0%20ENGENHA%20PARA%20IMP.pdf](http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_elet_automacao/41%20MEDIDORES%20ELETRONICOS%20DE%20VELOC%20UMA%20VISA0%20ENGENHA%20PARA%20IMP.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2014.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. **Código de Trânsito Brasileiro e Legislação Complementar em Vigor**. Brasília: Denatran, 2008. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb\\_e\\_legislacao\\_complementar.pdf](http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb_e_legislacao_complementar.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2014.



\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. **Manual brasileiro de sinalização de trânsito: sinalização semafórica**. Brasília: Denatran, [2012?]. v. 5. Versão preliminar. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes/resolucao4832014\\_anexo.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/resolucoes/resolucao4832014_anexo.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. DATASUS. **Informações de Saúde (TABNET): estatísticas vitais**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205>><sup>42</sup>. Acesso em: 08 nov. 2014.

BRITTON, E. Paris to limit speeds to 30 km/hr over entire city. **World Streets: the politics of transport in cities**, Lyon, May 2014. Disponível em: <<http://worldstreets.wordpress.com/2014/05/21/paris-to-limit-speeds-to-30-kmhr-over-entire-city/>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

CAVALCANTI, M. F. Entrevista: um esforço global para salvar vidas no trânsito. **TheCityFix Brasil**, Porto Alegre, 14 out. 2014. Disponível em: <<http://thecityfixbrasil.com/2014/10/14/entrevista-um-esforco-mundial-para-salvar-vidas-no-transito/>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

CHAGAS, D. M. **Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano**. 2011. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CAIRNEY, P.; DONALD, D. **Urban speed management in Australia**. Sydney: Austroads, 1996. Report AP 118/96.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, TRANSPORT AND THE REGIONS. **New directions in speed management: a review of policy**. London, 2000. Disponível em: <<http://www.securite-routiere.org/docacrobat/prograndebretagne2001.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2015.

DRASCÓKZY, M.; MOCSÁRI, T. **Present Speeds and speed management methods in Europe**. [s. l]: VTT Communities & Infrastructure (Coord.), 1997. Master: Deliverable D4 (Contract No RO-96-SC.202). Disponível em: <<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/master/rep211.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

ELVIK, R.; HOYE, A.; VAA, T.; SORENSEN, M. **The handbook of road safety measures**. 2nd ed. Bingley: Emerald, 2009.

ELVIK, R. **The Power Model of the relationship between speed and road safety**. Oslo: Institute of Transport Economics, 2009. Paginação irregular. Disponível em: <<https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=13206>>. Acesso em: 02 set. 2015.

<sup>42</sup> Estando em <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205>>, selecionar a opção “Óbitos por causas externas”, referente a “Mortalidade - 1996 a 2012, pela CID-10”. Em seguida selecione no menu suspenso que surgir à direita a opção “Brasil por Região e Unidade da Federação”. Em “Conteúdo”, selecione a opção “Óbitos p/Ocorrência”. Nas “Seleções Disponíveis” selecionar em “Grande Grupo CID10” a opção “V01-V99 Acidentes de transporte” e em “Grupo CID10” selecione todas as opções entre “Pedestre traumatizado em um acidente de transporte” e “Outros acidentes de transporte terrestre”. Por fim, clique em “Mostra”, no final da página.

EMBARQ BRASIL. Como evitar mais mortes no trânsito? **EMBARQ Brasil**, Porto Alegre, 9 out. 2014a. Disponível em: <<http://embarqbrasil.org/node/1328>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. Flickr EMBARQ Brasil. **EMBARQ Road Safety Training 2014**. Porto Alegre, 9 out. 2014b. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/embarqbrasil/15517911316/in/set-72157646450216753>>. Acesso em: 24 nov. 2014.

EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE. **Manual de Medidas Moderadoras do Tráfego: Traffic Calming**. Belo Horizonte, [1999?]. Disponível em: <[http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublicodl/Temas/BHTRANS/manual-traffic-calming-2013/manual\\_traffic\\_calming.pdf](http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublicodl/Temas/BHTRANS/manual-traffic-calming-2013/manual_traffic_calming.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2014.

EUROPEAN COMMISSION. **Managing speeds of traffic on European roads**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999. Master: Final Report (Contract No RO-96-SC.202)

\_\_\_\_\_. **Speed and Speed Management**. Luxembourg, 2012. Deliverable 4.8s of the EC FP7 project DaCoTA. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/erso/pdf/safety\\_issues/hazardous\\_behaviour/08-speed\\_and\\_speed\\_management\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/erso/pdf/safety_issues/hazardous_behaviour/08-speed_and_speed_management_en.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Federal Highway Administration. Office of Operations. **Traffic Analysis Toolbox: Work Zone Traffic Analysis – Applications and Decision Framework**. Washington, DC, 2015, v. XII. Não paginado. Disponível em: <<http://www.ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop12009/sec3.htm>>. Acesso em: 14 out. 2015.

FERRAZ, C.; RAIA JR., A.; BEZERRA, B.; BASTOS, T.; RODRIGUES, K. **Segurança Viária**. São Carlos: Suprema, 2012.

FLEGENHEIMER, M. Officials Plan Adjustments as New York City Slows to 25 M.P.H. **The New York Times**, New York, 20 June 2014. Disponível em: <[http://www.nytimes.com/2014/06/21/nyregion/officials-plan-adjustments-as-new-york-city-slows-to-25-mph.html?\\_r=2](http://www.nytimes.com/2014/06/21/nyregion/officials-plan-adjustments-as-new-york-city-slows-to-25-mph.html?_r=2)>. Acesso em: 15 nov. 2014.

GOOGLE MAPS. [S. l.], Google, 2015. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 20 out. 2015.

HAWORTH, N.; UNGERS, B.; VULCAN, P.; CORBEN, B. **Evaluation of a 50 km/h default urban speed limit for Australia**. Victoria, AU: National Road Transport Commission, 2001. Disponível em: <[https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/2001/pdf/evalu\\_urb\\_speed.pdf](https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/2001/pdf/evalu_urb_speed.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2015.

HOOGENDOORN, S. P.; BOVY, P. H. L. State-of-the-art of Vehicular Traffic Flow Modelling. **Journal of Systems and Control Engineering**, [s. l.], Special Issue on Road Traffic Modelling and Control, [2001?]. Não paginado. Disponível em:

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.106.9913&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 02 out. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**: acidentados lotam hospitais brasileiros. Brasília: IPEA/Denatran/ANTP, 2006. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos\\_acidentes\\_transito.pdf](http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2014.

INTERNATIONAL TRAFFIC SAFETY DATA ANALYSIS GROUP. **Road Safety Annual Report 2014**: summary. Paris, 2014. Disponível em: <<http://internationaltransportforum.org/Pub/pdf/14IrtadReport.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2014.

KLOEDEN, C. N.; MCLEAN, A. J.; MOORE, V.M.; PONTE, G. **Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement**. Adelaide: University of Adelaide, 1997. v. 1. Disponível em: <[https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/1997/pdf/speed\\_risk\\_1.pdf](https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/1997/pdf/speed_risk_1.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2015.

LACERDA, V. M.; CASTRO NETO, M. M. Considerações sobre a calibração do modelo de car-following do VISSIM para vias arteriais urbanas. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 28., 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANPET, 2014. p. 1-12. Disponível em: <<http://www.anpet.org.br/xxviiiianpet/anais/documents/AC514.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2015.

LOPES, V. R. **Trânsito e juventude**: um estudo em São Felipe d'Oeste – Rondônia. 2014. 41 f. Monografia (Pós-Graduação em Psicologia do Trânsito) – Pós-Graduação em Psicologia do Trânsito, Universidade Paulista, Maceió, 2014. Disponível em: <[http://www.netranstransito.com.br/arq\\_download/Monografia%20de%20VANDA%20FINAL.pdf](http://www.netranstransito.com.br/arq_download/Monografia%20de%20VANDA%20FINAL.pdf)>. Acesso em: 8 nov. 2014.

MAY, A. D. **Traffic Flow Fundamentals**. New Jersey: Prentice-Hall, 1990.

MEDEIROS, A. L. **Aplicabilidade de algoritmos genéticos para calibração de redes viárias urbanas microssimuladas**. 2012. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MEERS, G.; ROTH, M. Road safety and ecological sustainability working together. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE TRANSPORT RESEARCH FORUM, 24th, 2001, Hobart. **Proceedings...** [s. l.: s. n.], 2001. p. 1-16. Disponível em: <[http://atrf.info/papers/2001/2001\\_Meers\\_Roth.pdf](http://atrf.info/papers/2001/2001_Meers_Roth.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2015.

NAING, C.; BAYER, S.; VAN ELSLANDE, P.; FOUQUET, K. **Which Factors and Situations for Human Functional Failures?** Developing Grids for Accident Causation Analysis. [S. l.: s. n.], 2007. Disponível em: <<http://www.trace-project.org/publication/archives/trace-wp5-d5-2.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

OLIVEIRA, M. L de; CYBIS, H. B. B. Revisão da experiência de calibração do software VISSIM aplicado a um estudo de caso de autoestrada brasileira. In: SIMPÓSIO DE

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO SUL-AMERICANA, 8., 2008, Bento Gonçalves. **Anais...** Porto Alegre: FEEng, 2008. p. 1-12. Disponível em: <<http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2008-1/484-revisao-da-experiencia-de-calibracao-do-software-vissim-aplicado-a-um-estudo-de-caso-de-autoestrada-brasileira/file>>. Acesso em: 05 jul. 2015

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Transport Research Centre. **Speed Management**. Paris: OECD Publishing, 2006. Disponível em: <<http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/06Speed.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

PONTES, M. **O papel da polícia militar no processo de obtenção da autorização para a realização de eventos e obras em via pública**. 2009. 101 f. Monografia (Especialização em Administração de Segurança Pública) – Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Polícia Militar de Santa Catarina, Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://www.pmr.v.sc.gov.br/publicacoesETrabalhosArquivo.do?cdPublicacao=2980>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

PROCTOR, S.; BELCHER, M. **Atualização de auditoria de segurança viária na Grã-Bretanha**. Tradução de Fernando José Antunes Rodrigues. [São Paulo: CET-SP, 1994?] Nota Técnica 02/94 NT 171/94. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/20674/nt171.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2014.

PTV. **PTV VISSIM 7 User manual**. Karlsruhe, 2014.

RIBEIRO, G. Estudo mostra que 60% dos leitos das UTIs são ocupados por vítimas do trânsito. **O Dia**, Rio de Janeiro, 7 nov. 2014. Disponível em: <<http://odia.ig.com.br/noticia/rio-de-janeiro/2014-11-06/estudo-mostra-que-60-dos-leitos-das-utis-sao-ocupados-por-vitimas-do-transito.html>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

SANT'ANNA, J. A. Acidentes de trânsito: Qual a responsabilidade da administração pública? **Drops**, São Paulo, ano 06, n. 013.07, 6 dez. 2005. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/06.013/1671>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

SANTOS, W. F. dos; VILANOVA, L. M. **Análise da influência da velocidade máxima permitida sobre o valor da capacidade**. São Paulo: CET-SP, 2012. Nota Técnica n. 220. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/117894/nota%20tecnica%20220%20vila%20.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2014.

SOUZA, C. de. Alta velocidade nas vias urbanas. **Brasil Econômico**, [Rio de Janeiro?], p. 11, 13 out. 2014. Disponível em: <<http://www.clipnaweb.com.br/fetranspor/consulta/materia.asp?mat=43017>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

STICHTING WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK VERKEERSVEILIGHEID. **Sustainable Safety**: principles, misconceptions, and relations with other visions. Leidschendam, 2013. Disponível em:

<[http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS\\_Sustainable\\_Safety\\_principles.pdf](http://www.swov.nl/rapport/Factsheets/UK/FS_Sustainable_Safety_principles.pdf)>. Acesso em: 04 out. 2015.

SWEDEN. **Vision Zero**. [S. l., 1994?]. Disponível em: <<http://www.visionzeroinitiative.com/>>. Acesso em: 14 set. 2014.

TAYLOR, M. C.; LYNAM, D. A.; BARUYA, A. **The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents**. Berkshire: Transport Research Laboratory, 2000. Disponível em: <<http://www.20splentyforus.org.uk/UsefulReports/TRLREports/trl421SpeedAccidents.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2015.

TROCA de placas de velocidade faz Prefeitura de SP gastar R\$ 375 mil. **G1**, São Paulo, 31 ago. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2011/08/troca-de-placas-de-velocidade-faz-prefeitura-de-sp-gastar-r-375-mil.html>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

WAISELFISZ, J. J. **Mapa da Violência 2012**. São Paulo: Instituto Sangari, 2012. Caderno Complementar 2: acidentes de trânsito. Disponível em: <[http://mapadaviolencia.org.br/pdf2012/mapa2012\\_transito.pdf](http://mapadaviolencia.org.br/pdf2012/mapa2012_transito.pdf)>. Acesso em: 8 nov. 2014.

WESTERN AUSTRALIA. Office of Road Safety. **Towards Zero: getting there together**. Perth, 2014. Disponível em: <<http://www.ors.wa.gov.au/Towards-Zero.aspx>>. Acesso em: 14 set. 2014.

WHITELEGG, J.; HAQ, G. **Vision Zero: Adopting a Target of Zero for Road Traffic Fatalities and Serious Injuries**. Stockholm: Stockholm Environment Institute, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World report on road traffic injury prevention**. Geneva, 2004. Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241562609.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Speed management: A road safety manual for decision-makers and practitioners..** Geneva, 2008. Disponível em: <[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43915/1/9782940395040\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43915/1/9782940395040_eng.pdf)>. Acesso em: 06 ago. 2015.

\_\_\_\_\_. **Global plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020**. Geneva, [2010?]. Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241562609.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Decade of Action for Road Safety 2011 - 2020: Global Launch**. Geneva, 2011. Disponível em: <[http://www.who.int/roadsafety/publications/global\\_launch.pdf?ua=1](http://www.who.int/roadsafety/publications/global_launch.pdf?ua=1)>. Acesso em: 14 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Global Status Report On Road Safety 2013: Supporting a Decade Of Action**. Geneva, 2013. Disponível em: <[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/83789/1/WHO\\_NMH\\_VIP\\_13.01\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/83789/1/WHO_NMH_VIP_13.01_eng.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2014.

\_\_\_\_\_. Global Health Observatory Data Repository. **Road Traffic Deaths Data by Country**. Geneva, [2014?a]. Disponível em: <<http://apps.who.int/gho/data/node.main.A997?lang=en>>. Acesso em: 14 set. 2014.

\_\_\_\_\_. Media centre. **The top 10 causes of death**. Geneva, 2014b. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/>>. Acesso em: 8 nov. 2014.

WORLD ROAD ASSOCIATION. PIARC. **Road Accident Investigation Guidelines for Road Engineers**. [S. l], 2007. Disponível em: <[http://www.who.int/roadsafety/news/piarc\\_manual.pdf](http://www.who.int/roadsafety/news/piarc_manual.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2014.