



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUANA VIANA DE PAULA CABRAL

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DO
MICROSSIMULADOR VISSIM NA REPRESENTAÇÃO DA FREQUÊNCIA E
LOCALIZAÇÃO DE CONFLITOS VEICULARES LONGITUDINAIS**

FORTALEZA

2016

LUANA VIANA DE PAULA CABRAL

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DO
MICROSSIMULADOR VISSIM NA REPRESENTAÇÃO DA FREQUÊNCIA E
LOCALIZAÇÃO DE CONFLITOS VEICULARES LONGITUDINAIS

Projeto de Pesquisa submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil, em fevereiro de 2016.

Orientador: Prof. Flávio José Craveiro Cunto,
Ph.D.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- C117a Cabral, Luana Viana de Paula.
Análise de sensibilidade dos parâmetros de calibração do microssimulador vissim na representação da frequência e localização de conflitos veiculares longitudinais. / Luana Viana de Paula Cabral. – 2016.
53 f. il. color.
- Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Departamento de Engenharia de Transportes, Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Ph.D. Flávio José Craveiro Cunto

1. Trânsito urbano. 2. Engenharia de tráfego. 3. Engenharia Civil. I. Título.

CDD 620

LUANA VIANA DE PAULA CABRAL

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DO
MICROSIMULADOR VISSIM NA REPRESENTAÇÃO DA FREQUÊNCIA E
LOCALIZAÇÃO DE CONFLITOS VEICULARES LONGITUDINAIS

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial
à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: 4 / 2 / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Flávio José Craveiro Cunto, Ph.D. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Manoel Mendonça de Castro Neto, Ph.D.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Msc. Marcos José Timbó Lima Gomes

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Flávio José Craveiro Cunto, pela orientação e constante motivação.

Aos professores examinadores da Banca Manoel Mendonça de Castro Neto e Marcos José Timbó Lima Gomes, pelo tempo e pelas valiosas sugestões.

Ao Sued Lacerda Costa, pela ajuda nas coletas de dados.

Aos membros Grupo de Pesquisa em Transporte, Trânsito e Meio Ambiente (GTTEMA), pela colaboração nas pesquisas de campo.

À minha família, pelo incentivo e carinho.

Aos colegas de turma, pela companhia e momentos de descontração.

RESUMO

Este trabalho propõe uma análise de sensibilidade dos parâmetros de *car-following* do aplicativo simulador de tráfego VISSIM em relação à representação dos conflitos de tráfego em uma rede simulada. Foram estudados os parâmetros de calibração do modelo de Wiedemann- W74 e, então, estabelecidas suas amplitudes razoáveis de valores (níveis altos e baixos) para que fossem aplicadas nas simulações. Foi criada uma rede baseando-se em um corredor arterial urbano de Fortaleza, um trecho da Avenida Barão de Studart compreendido entre as avenidas Antônio Sales e João Carvalho. Os arquivos de trajetória foram extraídos do VISSIM e, com o auxílio do *software* SSAM, obteve-se o número e as coordenadas dos conflitos de tráfego registrados. Através de análises estatísticas, pôde-se avaliar a sensibilidade dos parâmetros do W74 na representação de conflitos viários.

Palavras-chave: Microsimulação. Segurança Viária. Calibração.

ABSTRACT

This paper proposes a sensitivity analysis of car-following parameters used in VISSIM, regarding the representation of traffic conflicts in a simulated network. The parameters of the Wiedemann- W74 model were studied and then established a reasonable range of values (high and low levels) to be applied in the simulations. A network was established based on an urban arterial corridor of Fortaleza, a stretch of Barão de Studart Avenue between the avenues Antônio Sales and João Carvalho. The trajectory of files were extracted from VISSIM and, with the use of the *software* SSAM, we obtained the number and the coordinates of recorded traffic conflicts. Through statistical analysis, it was possible to evaluate the sensitivity of W74 parameters in representing road conflicts.

Keywords: Microsimulation. Road Safety. Calibration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pirâmide de representação do <i>continuum</i> da segurança viária	20
Figura 2 – TTC em conflito transversal	22
Figura 3 – Medição de PET	23
Figura 4 – Ângulo para cada tipo de conflito	28
Figura 5 – Etapas para a calibração de um simulador segundo Ayala (2013)	29
Figura 6 – Disposição de conflitos dos cenários simulados por Essa e Sayed (2015).....	30
Figura 7 – Fluxograma da metodologia de pesquisa	31
Figura 8 – Esquema de planejamento para pesquisa de campo	35
Figura 9 – Arquivo de saída SSAM	36
Figura 10 – Teste ANOVA para as médias dos níveis do parâmetro <i>ax</i>	40
Figura 11 – Mapas de calor de conflitos longitudinais níveis do parâmetro <i>ax</i>	41
Figura 12 – Teste ANOVA para as médias dos níveis do parâmetro <i>bx_add</i>	43
Figura 13 – Mapas de calor níveis de conflitos longitudinais do parâmetro <i>bx_add</i>	44
Figura 14 – Teste ANOVA para as médias dos níveis do parâmetro <i>bx_mult</i>	46
Figura 15 – Mapas de calor de conflitos longitudinais níveis do parâmetro <i>bx_mult</i>	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de desaceleração de Hydén (1996)	25
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da simulação	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Graus de severidade e faixas de desaceleração de McDowell et al. (1983) ..	25
Tabela 2	– Volumes de tráfego coletados em campo	34
Tabela 3	– Resumo de valores de parâmetros <i>car-following</i> W74	36
Tabela 4	– Número de conflitos nos níveis do parâmetro <i>ax</i>	38
Tabela 5	– Valor médio de DR nos níveis do parâmetro <i>ax</i>	39
Tabela 6	– Número de conflitos nos níveis do parâmetro <i>bx_add</i>	42
Tabela 7	– Valor médio de DR nos níveis do parâmetro <i>bx_add</i>	42
Tabela 8	– Valor médio de DR nos níveis do parâmetro <i>bx_add</i>	45
Tabela 9	– Valor médio de DR nos níveis do parâmetro <i>bx_mult</i>	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DR	<i>Deceleration Rate</i>
DRAC	<i>Deceleration rate to avoid crash</i>
DSV	Desempenho da Segurança Viária
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
ITS	<i>Intelligent Technology Systems</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
PET	<i>Post-encroachment time</i>
TTC	<i>Time to collision</i>
SSAM	<i>Surrogate Safety Assessment Model</i>
SUS	Sistema Único de Saúde
SV	Segurança Viária
TACT	Técnica de Análise de Conflitos de Tráfego
TTA	<i>Time to accident</i>
VPH	Veículo por hora
W74	Wiedemann-74
W99	Wiedemann-99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA MOTIVADOR	17
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	17
1.3	OBJETIVOS DO ESTUDO	17
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>17</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>18</i>
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	ANÁLISE DO DESEMPENHO DA SEGURANÇA VIÁRIA	19
2.1.1	INDICADORES PROXY	21
2.1.1.1	<i>Indicadores baseados em tempo</i>	<i>21</i>
<i>2.1.1.1.1</i>	<i>Tempo para colisão (TTC)</i>	<i>21</i>
<i>2.1.1.1.2</i>	<i>Tempo para acidente (TTA)</i>	<i>23</i>
<i>2.1.1.1.3</i>	<i>Tempo após a invasão (PET)</i>	<i>23</i>
2.1.2.1	<i>Indicadores baseados em energia de frenagem</i>	<i>24</i>
2.2	SIMULAÇÃO E SEGURANÇA VIÁRIA	25
2.2.1	<i>VISSIM</i>	<i>27</i>
2.2.2	<i>Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)</i>	<i>27</i>
2.5	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PADRÃO DE CONFLITOS DA REDE	28
3	METODOLOGIA E APLICAÇÃO	31
3.1	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	32
3.1.1	CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DO APLICATIVO VISSIM	32
3.1.2	MONTAGEM DA REDE	33
3.1.3	EXECUÇÃO DO PLANO DE SIMULAÇÃO E EXTRAÇÃO DE DADOS COM SSAM	35
3.1.4	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS	37
5	RESULTADOS	38
5.1	PARÂMETRO “AX”	38
5.2	PARÂMETRO “BX_ADD”	41

5.3	PARÂMETRO “BX_MULT”	44
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	48
6.1	CONCLUSÕES	48
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS	51
	APÊNDICE A – IMAGEM DO CENÁRIO SIMULADO NO VISSIM	54

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2010), acidentes de trânsito produzem anualmente mais de 1,2 milhões de vítimas em todo o mundo. Em dados mais recentes, o Sistema Único de Saúde (SUS) apontou que no ano de 2013, 40 mil óbitos decorrentes da violência do trânsito apenas no Brasil. No ano de 2015, segundo dados divulgados pelo DETRAN, o estado do Ceará teve a média mensal de 204 vítimas fatais registradas até Julho.

Para decidir qual a melhor medida a ser tomada para a melhoria da segurança viária, não é possível modificar elementos deliberadamente a fim analisar o efeito de cada situação por motivos práticos e éticos. Assim, os profissionais envolvidos com segurança viária têm que balizar suas decisões por análises normalmente baseadas no histórico dos acidentes de trânsito. Entretanto, esta análise é dificultada por algumas características dos bancos de dados de acidentes. Dentre os problemas mais comuns encontram-se: 1) baixo índice de reportabilidade, 2) informações incompletas e incorretas, 3) erros durante a entrada de dados, dentre outros (HAUER, 2002).

Com o avanço das técnicas computacionais, desenvolveram-se ferramentas de simulação computacional voltadas ao estudo de tráfego. Nesse contexto, a microsimulação tornou-se meio de análise do desempenho operacional de sistemas de transporte, sendo aplicada na avaliação do desempenho da segurança viária de modo pioneiro por Cooper e Ferguson (1976) e Darzentas *et al.* (1980). A solução da microsimulação por meio de aplicativo para investigar a frequência, severidade e tipo dos conflitos veiculares, vem então sendo utilizada por engenheiros de trânsito. Desta forma, o estudo de diferentes estratégias para a mesma situação poderia ser feitos sem a interferência real no sistema, sendo os impactos de cada estratégia percebidos pelo cenário virtual criado no microsimulador. A avaliação do desempenho de segurança viária (DSV) com a microsimulação é marcada por uma estratégia proativa, captando a série de conflitos gerados pela interação entre os usuários da via envolvendo o espaço e o tempo da situação, sem necessitar da ocorrência de acidentes. Essa estratégia utiliza-se de indicadores de proximidade espaço-temporal (indicadores *proxy*) entre veículos em função de suas velocidades e trajetórias para diferentes categorias de interações veiculares (FHWA, 2003; ARCHER, 2005). Os indicadores *proxy* podem ser indicadores temporais, como tempo para colisão, ou indicadores relacionados a esforço de frenagem, como taxa de desaceleração.

A validade de um modelo de simulação em representar a realidade está diretamente ligada à qualidade de ajuste dos seus parâmetros. Para garantir a confiabilidade da simulação, é indispensável um processo de calibração e validação do modelo. Segundo Hourdakís *et al.* (2003), o processo de calibração consiste em uma sequência de execução de simulações com configurações de dados de entrada diferentes, comparando os resultados de cada simulação com as medidas de desempenho consideradas no cenário real. O modelo pode ser dito validado quando os valores encontrados na simulação diferem dos reais dentro do limite estabelecido como aceitável (COLLELA e DEMARCHI, 2005).

O processo de calibração/validação dos microssimuladores para avaliação do DSV tem sido investigado recentemente com a utilização dos indicadores *proxy* como medida de desempenho (ARCHER, 2003; CUNTO, 2008; DUONG, 2010; ESSA E SAYED, 2015). Dentre os principais questionamentos levantados nessas pesquisas, ressaltam-se: 1) A calibração/validação quando executada para um indicador de segurança viária como o número de conflitos a partir do TTC (tempo pra colisão) garante bons resultados para indicadores de fluidez, como o tempo de viagem ou atraso médio? 2) A calibração/validação a partir da frequência de conflitos garante a correspondência espacial entre os locais de conflito observados e simulados?

É consenso entre os especialistas que a fase de calibração em microssimuladores é complexa (ALGERS *et al.*, 1997 apud ARAÚJO, 2003). Além dos questionamentos acima, o processo de calibração/validação de algoritmos de simulação se torna difícil por outros motivos como: necessidade de grande volume de dados, difícil apropriação dos parâmetros que descrevem o comportamento do motorista, falta de uma metodologia consolidada para a calibração dos simuladores de tráfego (ARAÚJO, 2003). Somando a tais dificuldades, há ainda o frequente aprimoramento dos modelos de simulação, que se tornam cada vez mais elaborados e com maior número de parâmetros e demandam maiores esforços no processo de calibração.

1.1 PROBLEMA MOTIVADOR

A utilização de ferramentas de microsimulação para a avaliação do desempenho da segurança viária tem carência de métodos simples e objetivos para a avaliação preliminar da influência dos principais parâmetros de microsimulação na frequência e localização de conflitos veiculares simulados. Esses métodos de avaliação preliminar irão compor procedimentos mais elaborados para a calibração e validação de tais algoritmos dando suporte para o emprego da microsimulação em estudos de segurança viária.

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

- Quais as principais metodologias de estimação do desempenho da segurança viária com a utilização da microsimulação?
- Quais os parâmetros estruturantes dos modelos de *car-following* presentes no aplicativo de microsimulação VISSIM?
- Como realizar uma análise de sensibilidade dos parâmetros de calibração de um microsimulador quanto à frequência e disposição espacial de conflitos veiculares gerados por aplicativos de simulação?
- Qual o padrão da frequência e localização dos conflitos veiculares longitudinais em função dos parâmetros de calibração do aplicativo VISSIM para um trecho de corredor arterial urbano de Fortaleza?

1.3 OBJETIVOS DO ESTUDO

1.3.1. *Objetivo Geral*

Este trabalho tem por objetivo geral identificar quais os parâmetros de calibração do *software* VISSIM influenciam no resultado de frequência de conflitos e distribuição espacial destes.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as principais metodologias de estimação do desempenho da segurança viária com a utilização da microssimulação;
- Caracterizar os parâmetros estruturantes dos modelos de *car-following* presentes no aplicativo de microssimulação VISSIM;
- Aplicar um procedimento para efetivar uma análise de sensibilidade dos parâmetros de simulação do VISSIM na frequência e distribuição espacial dos conflitos veiculares gerados a partir da simulação microscópica;
- Efetivar um estudo de caso em um corredor arterial urbano de Fortaleza para identificar o padrão da frequência e localização dos conflitos veiculares longitudinais em função dos parâmetros de calibração do aplicativo VISSIM;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, serão abordados tópicos inerentes ao estudo da segurança viária atrelada ao uso de simuladores de tráfego, como a extração de indicadores *proxy*, o tratamento da análise de conflitos bem como o processo de calibração e validação do cenário simulado.

2.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO DA SEGURANÇA VIÁRIA

O sistema de transportes no meio urbano tem ganhado espaço em pautas políticas nos últimos anos, pois tem impacto direto na qualidade de vida de todos os usuários e no meio em qual está inserido. Desta maneira, o processo de planejamento de sistemas de transportes torna-se necessário aos órgãos competentes a fim de continuar a desenvolver tais áreas urbanas, pois assim, podem-se prever as prováveis consequências das decisões tomadas. Ainda nesse contexto, segundo Souza (apud FERREIRA, 2010), o potencial da segurança viária (SV) é tido como um fator que influencia social e economicamente a sociedade. Segundo Ferreira, o autor infere que, no processo de planejamento de uma ação nos sistemas de transportes, não é aceitável desconsiderar a SV e seus impactos.

Historicamente, a análise da segurança de tráfego tem se baseado em número de acidentes em um dado trecho de malha viária e dado intervalo de tempo (usualmente um ano). Entretanto, a tomada de “número de acidentes” como único indicador de SV torna um desafio a coleta e modelagem de dados (CUNTO E LOUREIRO, 2011). Em geral, os acidentes de trânsito se dão através de uma sequência específica de eventos, que variam com o tempo e espaço e são de difícil identificação, sendo estes tratados como conflitos. Essas características tornam o desenvolvimento de modelos que correlacionam o número de acidentes com os atributos físicos e operacionais da via muito complexos. Hauer (2002) e Davis (2004) citam como principais problemas:

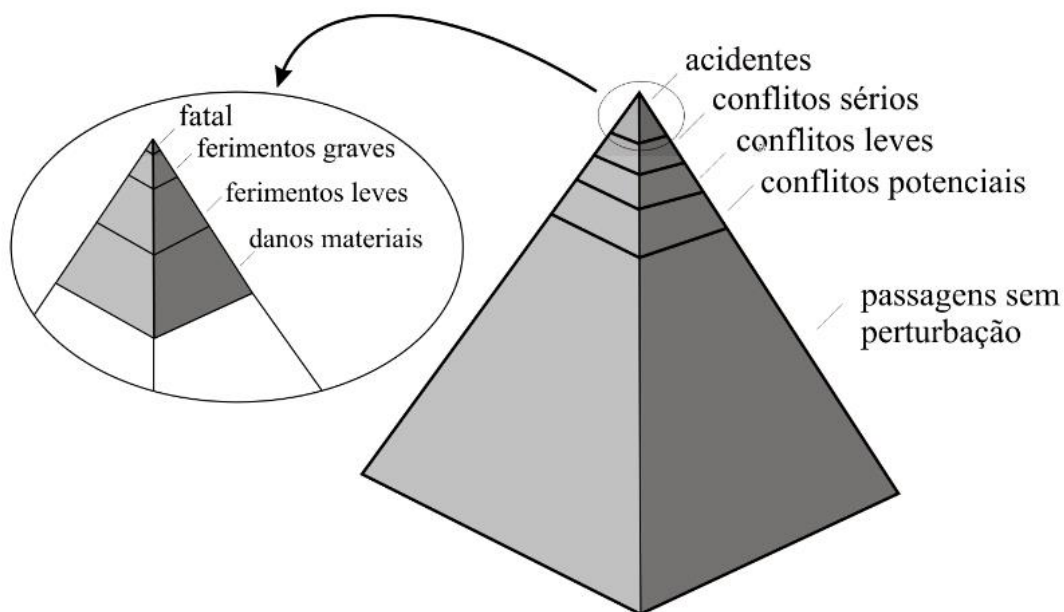
- Elevada frequência de locais sem algum acidente;
- Elevada variância dos dados (superior à média, evidenciando a dispersão dos dados);
- Relações entre fatores contribuintes e acidentes estimados em um nível agregado (grupo de acidente) podem não ser validadas em um nível mais desagregado.

Em 1967, Perkins e Harris propuseram a Técnica de Análise de Conflitos de Tráfego (TACT), que tentava solucionar como medir o potencial para a ocorrência de

acidentes sem usar dados históricos de ocorrência em um local. Tal técnica necessita de um grupo de pesquisadores capacitados para observar e registrar a frequência e a severidade dos conflitos. Através destes dados, o engenheiro seria capaz de analisar as manobras inseguras dos condutores, e assim, relacionar com as características do local estudado.

Em 1987, Hydén elaborou o conceito do *continuum* da SV. Neste, o DSV é desenvolvido através de uma série de eventos temporais que variam de passagens sem perturbação até a ocorrência de acidentes de trânsito (HYDÉN, 1987; HAUER, 2002). A Figura 1 a seguir ilustra o conceito proposto por Hydén.

Figura 1 – Pirâmide de representação do *continuum* da segurança viária.



Fonte: Hydén (1987).

Para a TACT, a medida de desempenho a ser usada são os próprios números de conflitos determinados como “uma situação observável em que dois ou mais usuários de uma via se aproximam no espaço e no tempo de tal forma que existe um risco de colisão caso suas trajetórias não sejam alteradas” (AMUNDSON e HYDÉN, 1977). Estes conflitos de tráfego podem ser classificados em duas categorias: conflitos transversais (conflitos de cruzamento – *crossing*) e longitudinais (conflitos de traseira – *rear-end*).

Como forma de determinar as fatias intermediárias da pirâmide de Hydén em campo, já que não são facilmente identificadas como a existência ou a ausência de um acidente de fato, pesquisadores vêm tentando propor indicadores espaço-temporais que retratem as situações de risco dos veículos (CUNTO e LOUREIRO, 2011). Tais indicadores

denominados *proxy* procuram representar de maneira contínua o nível de interação espaço temporal entre os veículos da rede simulada. Tais serão abordados na seção em sequência.

2.1.1 INDICADORES PROXY

2.1.1.1 Indicadores baseados em tempo

Este grupo de indicadores tem como medida o tempo estimado para uma potencial colisão. Destaca-se o tempo para colisão (TTC – *time to collision*), o tempo para o acidente (TTA – *time to accident*), e o tempo após invasão (PET – *post-encroachment time*).

2.1.1.1.1 Tempo para colisão (TTC)

O indicador temporal mais antigo e utilizado é, provavelmente, o tempo para colisão- TTC (*time to collision*), proposto por Hayward (1972) que se baseia no tempo necessário para a colisão de dois veículos assumindo que suas velocidades e trajetórias permaneçam constantes. Para veículos que seguem em mesma direção de fluxo, o valor de TTC é dado por:

$$TTC_{i,t} = \frac{(X_{i-1,t} - X_{i,t}) - L_{i-1,t}}{V_{i,t} - V_{i-1,t}} \quad (1)$$

Onde:

t: intervalo de tempo considerado;

i-1: identificação do veículo líder;

i: identificação do veículo seguidor;

X: posição dos veículos;

L: comprimento do veículo; e

V: velocidade.

Quando os veículos trafegam ortogonalmente, como acontece em pontos de parada preferencial, TCC é dado por (1):

$$TTC_{i,t} = \frac{D_{i,t}}{V_{i,t}} \quad (2)$$

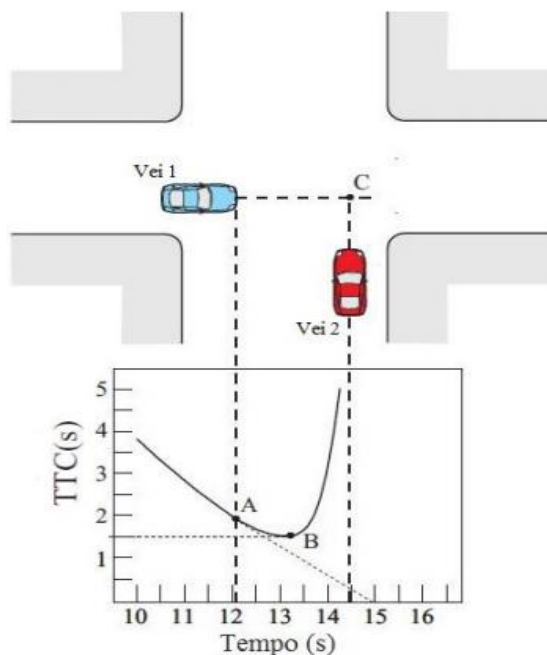
Sendo:

$D_{i,t}$ = distância entre o ponto projetado de colisão e veículo i na aproximação preferencial.

Como TTC é um valor de tempo para colisão, há de se arbitrar um limite para assumir o início de uma interação veicular, uma vez que os valores de TCC podem variar de infinito (quando os veículos não estão em rota para colidir). No sentido de definir tal faixa de variação, pesquisadores vêm escolhendo e testando um valor mínimo de TTC que possa ser usado para determinar o número de conflitos em campo (SOUZA, 2012). Em sua tese, Cunto (2008) toma como valores mínimos de TTC a faixa de 1s-1,5s para segurança viária.

Cunto ilustra na Figura 2 como o TTC mínimo geralmente ocorre após a ação evasiva do condutor, não considerando o seu tempo de reação. A situação retratada é do TTC com dois veículos na eminência de um conflito transversal.

Figura 2 - TTC em conflito transversal.



Fonte: Cunto (2008).

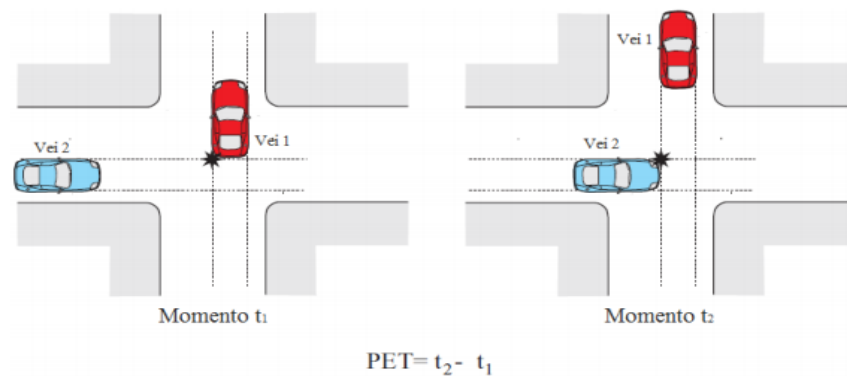
2.1.1.1.2 Tempo para acidente (TTA)

O tempo para acidente (*time to accident*)- TTA tenta simplificar o conceito do TTC, sendo definido como “o tempo decorrido desde o momento em que um dos usuários da via reagiu e freou ou desviou até o momento em que o outro usuário envolvido teria alcançado o ponto de colisão, se os dois veículos envolvidos tivessem mantido a mesma direção e velocidade.” (HAYWARD, 1972). Conseqüentemente, o TTA seria um registro do valor do TTC no momento inicial da ação evasiva.

2.1.1.1.3 Tempo após a invasão (PET)

Post-encroachment time, traduzido como tempo após invasão, é uma medida que representa o tempo da saída de um veículo de certa zona e a chegada do seguinte. Esta medida difere do TTC e TTA, pois não necessita dos dados de velocidade relativa e espaçamento entre os veículos, sendo assim de mais fácil aquisição. Cunto (2008) mostra um exemplo de medição na Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Medição de PET



Fonte: Cunto (2008).

Onde:

t_1 : tempo de saída do veículo 1 da zona de conflito.

t_2 : tempo de entrada do veículo 2 na zona de conflito.

O PET é uma medida que necessita de menos dados para ser obtida, entretanto há algumas críticas quanto ao uso deste indicador. Como Cunto (2008) discutiu em seu estudo, pode não ser possível a comparação do evento básico para a definição do PET com processos

que levam a ocorrência de acidentes, dificultando a validação. Outro ponto, que é comum ao TTC, é a baixa capacidade de indicar a severidade do conflito. A medida de tempo após invasão também não é adequada para conflitos longitudinais, restringindo o tipo de interações em que pode ser aplicada.

2.1.2.1 Indicadores baseados em energia de frenagem

A diferença de velocidades no momento do impacto tem um papel importante na severidade dos conflitos. Isso se deve à energia cinética que é dissipada logo antes da colisão. As medidas de segurança baseadas na taxa de redução de velocidade ou energia de frenagem dos veículos têm uma formulação teórica melhor para gerar boas estimativas de potenciais conflitos, bem como suas severidades.

Neste contexto, alguns dos indicadores encontrados na literatura para medir o DSV considerando o poder de frenagem dos veículos são a taxa de desaceleração necessária para evitar a colisão (DRAC - *Deceleration Rate to Avoid the Crash*) e a taxa inicial de desaceleração (DR- *Deceleration Rate*).

A DRAC é a taxa de desaceleração que um veículo deve aplicar para evitar a colisão com o veículo que interage (ARCHER, 2005). Para veículos que interagem na mesma direção a DRAC pode ser expressa como:

$$DRAC_{i,t+1} = \frac{(V_{i,t} - V_{i-1,t})^2}{2 [(X_{i-1,t} - X_{i,t}) - L_{i-1,t}]} \quad (3)$$

Onde:

t= intervalo de tempo;

X= posição dos veículos (i = veículo seguidor, i-1 = veículo líder);

L= comprimento do veículo;

V= velocidade.

Para conflitos transversais, as estimativas da DRAC são obtidas por:

$$DRAC_{i,t+1} = \frac{(V_{i,t})^2}{2D_{i,t}} \quad (4)$$

Sendo:

$D_{i,t}$ = distância entre o ponto projetado de colisão e o veículo i na via principal.

Pesquisas anteriores estabelecem faixas de valores de DRAC com o intuito de relacionar o taxa de desaceleração da reação do motorista com o grau de severidade destes conflitos. Tais intervalos, propostos por McDowell *et al.* (1983) e Hydén (1996), são mostrados nas Tabelas 1 e Quadro 1 em sequência.

Tabela 1 – Graus de severidade e faixas de desaceleração de McDowell et al. (1983)

Graus de Severidade	1	2	3	4	5
DRAC (m/s ²)	< 1,5	1,5 < 3,0	3,0 < 4,5	4,5 < 6,0	> 6,0

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Quadro 1 – Níveis de desaceleração de Hydén (1996)

Nível do Conflito	DRAC (m/s ²)	Reação esperada do condutor para atingir DRAC
Sem conflito	0	Sem necessidade de uma ação evasiva
Sem conflito	0 a 1	Necessidade de adaptação
1	1 a 2	Necessidade de reação
2	2 a 4	Necessidade de uma reação considerável
3	4 a 6	Necessidade de uma forte reação
4	≥ 6	Necessidade de uma reação de emergência

Fonte: Adaptado de Cunto (2008).

Outro indicador similar ao DRAC é o *Deceleration Rate- DR-* que mede a taxa de desaceleração no instante em que percebido conflito, determinado apenas pela razão da diferença de velocidades pelo tempo e dado em m/s².

Dentre estes indicadores apresentados, o TTC é o indicador mais difundido na literatura, além de ser de fácil obtenção. Assim, escolheu-se o TTC- *time to collision-* como indicador de conflitos da simulação.

2.2 SIMULAÇÃO E SEGURANÇA VIÁRIA

Na década de 1980, houve um investimento por parte de planejadores e

engenheiros de transporte em técnicas computacionais visando à melhoria da eficiência e segurança dos sistemas de transporte (CUNTO, 2008). Como primeiro resultado, o ITS (*Intelligent Transportation Systems*) foi criado, tendo como um de seus resultados, o desenvolvimento de aplicações computacionais de simulação voltadas ao tráfego.

Tais ferramentas tiveram sua aplicação voltada à eficiência da fluidez das malhas viárias utilizando medidas como tempo de viagem, atraso médio, comprimento de filas, etc (MAY, 1990). Com a evolução computacional, os simuladores se dotaram de grande aplicabilidade nos estudos de segurança viária, sendo assim bastante estudada a partir da última década (BARCELÓ *et al.*, 2003; ARCHER, 2005; CUNTO, 2008).

A simulação foi utilizada para auxiliar a tomada de decisão do DSV em diferentes estratégias de intervenção no tráfego pioneiramente por Cooper e Ferguson (1976) e Darzentas *et al.* (1980). Esta abordagem evita a perturbação no cenário real de tráfego e o dispêndio de capital, permitindo os engenheiros e pesquisadores alterar as características geométricas e operacionais de um sistema a fim de testar a eficácia de medidas mitigadoras para a segurança (SOUZA, 2012). Neste contexto, os acidentes de trânsito são previstos diferentemente dos modelos estatístico, pois não necessitam da ocorrência destes para a detecção de problemas de segurança viária (BARCELÓ *et al.*, 2003; DARZENTAS *et al.*, 1980).

Para bons resultados da simulação, o operador deve atentar para as limitações e proposições iniciais do modelo. Além disso, tal modelo deve ser calibrado e validado, o que pode demandar bastante tempo. O Quadro 2 abaixo mostra as principais vantagens e desvantagens da simulação de tráfego segundo May (1990)

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da simulação.

Vantagens	Desvantagens
Melhor entendimento do sistema estudado.	Muito tempo e recursos necessários.
Realização de experimentos sem impacto no sistema real.	Verificação, calibração e validação do modelo indispensáveis.
Melhor entendimento do comportamento das variáveis.	Conhecimentos de engenharia, estatística, computação envolvidos.
Saída de informações referenciadas em espaço e tempo.	Resultados distorcidos caso as premissas e limitações não sejam observadas pelo usuário.

Fonte: Elaborado pela própria autora.

A análise de tráfego pode ser dividida em três categorias básicas: macroscópica, mesoscópica e microscópica. A primeira trata do comportamento de correntes de tráfego, enquanto a microscópica observa a interação de cada veículo pertencente a uma corrente de tráfego. Já a mesoscópica analisa agrupamentos de veículos nos sistemas viários.

Em 2003, a FHWA (*Federal Highway Administration*) realizou um estudo que visava avaliar a produção dos indicadores *proxy* pelos simuladores disponíveis no mercado: CORSIM, SIMTRAFFIC, VISSIM, Paramics, TEXAS, AIMSUN, WATSIM e Integration (CUNTO E LOUREIRO, 2011). Esse estudo conclui que “o VISSIM e o Paramics parecem dispor de grande parte dos requisitos para a geração de indicadores *proxy* de segurança com um nível razoável de fidelidade” (GETTMAN E HEAD, 2003). Desta forma, neste trabalho, o microsimulador VISSIM, criado pela empresa alemã PTV, será o objeto de estudo da análise de sensibilidade dos parâmetros de calibração.

2.2.1 VISSIM

O *software* VISSIM desenvolvido na Alemanha está atualmente na sua oitava edição e tem como foco a microsimulação de transporte público e privado. O aplicativo utiliza em seu algoritmo o modelo psicofísico de *car-following* elaborado em 1974 por Wiedemann. Neste modelo, o autor infere que o condutor percebe a aproximação de outro veículo por meio da variação da distância aparente entre eles e que a velocidade relativa entre os dois é determinada pelo ângulo de visão do veículo líder.

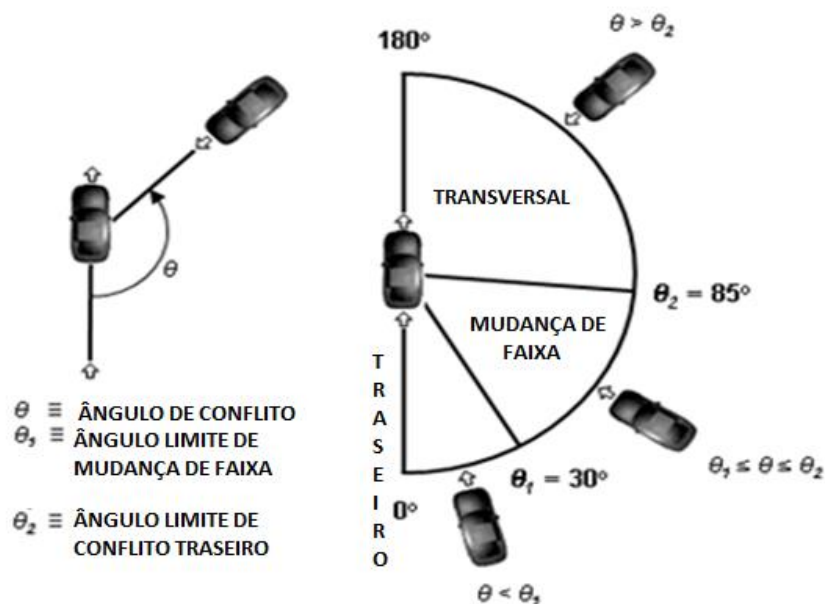
O VISSIM permite o usuário escolher entre dois modelos de *car-following* baseados dos estudos de Wiedemann: o modelo Wiedemann-74 (W74) e o modelo Wiedemann-99 (W99). Segundo o manual do aplicativo, o W74 deve ser utilizado para o tráfego urbano, enquanto o W99 empregado na modelagem do tráfego rodoviário (LACERDA, 2014). Desta forma, neste estudo de um corredor urbano de Fortaleza, utilizaremos o W74.

2.2.2 Surrogate Safety Assessment Model (SSAM)

O uso de indicadores *proxy* como medida de DSV já é bastante difundida, e para complementar a vasta série de *outputs* fornecida pelas plataformas de simulação, também se

utiliza *softwares* como o SSAM, um *software* gratuito foi desenvolvido pela *Siemens Traffic Solutions* para a FHWA (*Federal Highway Administration*). O SSAM (*Surrogate Safety Assessment Model*), através que um arquivo de trajetória (.trj) gerado pelo simulador, fornece uma planilha com os valores dos indicadores *proxy*, os Ids e velocidades de veículos que interagem, etc. O programa também classifica o tipo de conflito, pelo ângulo entre os conflitantes, em conflitos longitudinais, de mudança de faixa e de cruzamento (*crossing*), como exemplifica a Figura 4.

Figura 4 - Ângulo para cada tipo de conflito.



Fonte: SSAM (2013)

O *software* SSAM, também é fornece uma imagem da localização dos conflitos detectados na simulação, o que pode ser comparado visualmente com a realidade das interseções estudadas.

2.5 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO PADRÃO DE CONFLITOS DA REDE

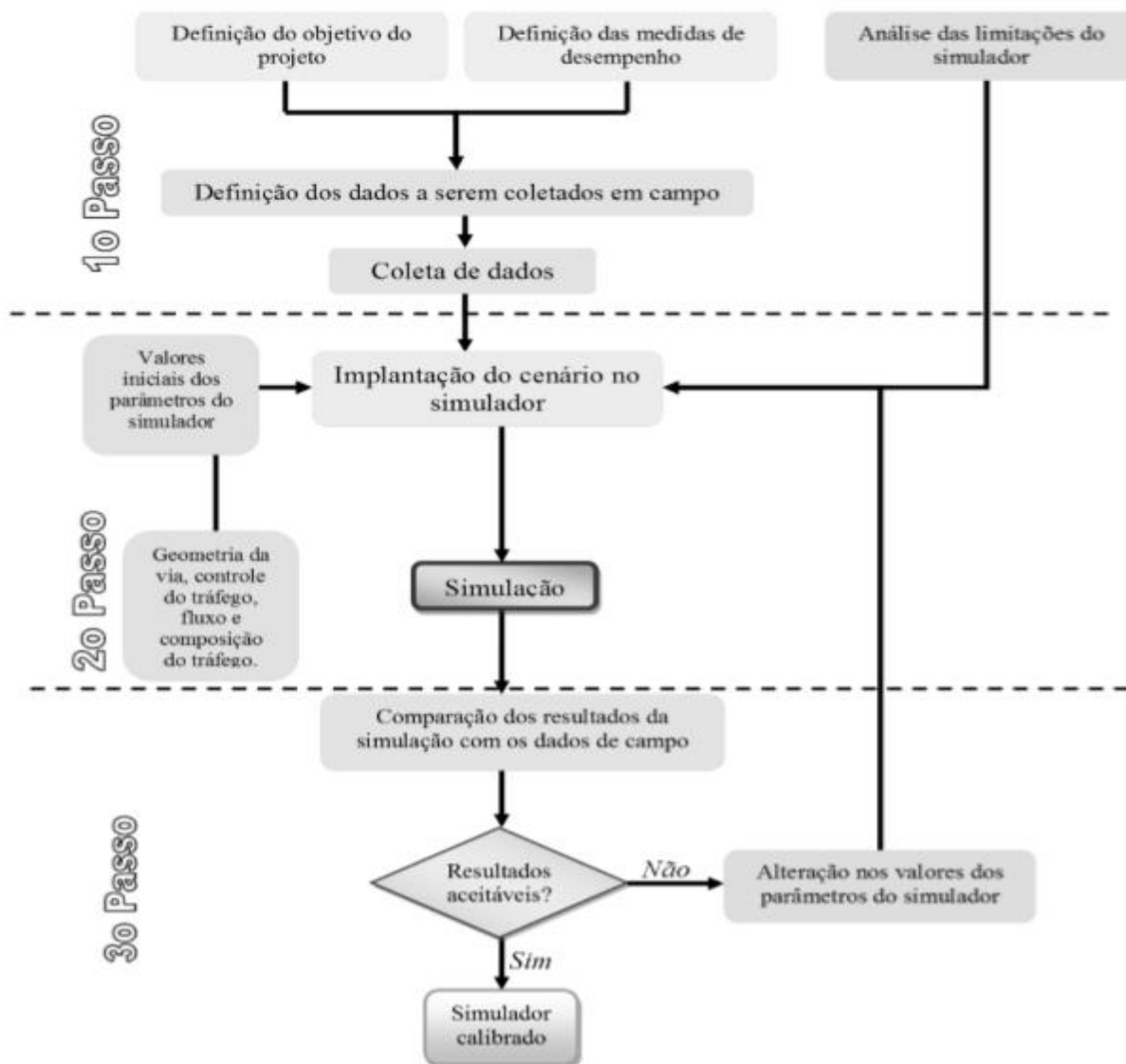
A confiabilidade de qualquer simulador depende da capacidade deste de representar a realidade. Em geral, os simuladores vêm com valores *default* de parâmetros. O usuário, por sua vez, deve realizar as modificações cabíveis nestes valores a fim de tornar o cenário de simulação próximo do cenário real. Esse processo é chamado de calibração, que é

muitas vezes complexa (Algers *et al*, 1997 apud Araújo, 2003).

Neste contexto, a calibração é comumente feita por métodos de tentativa e erro, sendo a eficiência atrelada à experiência do usuário. Hellinga (1998) descreve em seu trabalho os aspectos gerais da calibração e suas cinco principais etapas: (i) clara definição dos principais objetivos e metas do estudo, (ii) escolha dos indicadores de desempenho, (iii) coleta de dados, (iv) definição dos parâmetros de entrada a serem calibrados, (v) certificação da calibração.

Para Ayala (2013), a calibração de um simulador pode consistir nas etapas mostradas na Figura 5 abaixo:

Figura 5 – Etapas para a calibração de um simulador segundo Ayala (2013).



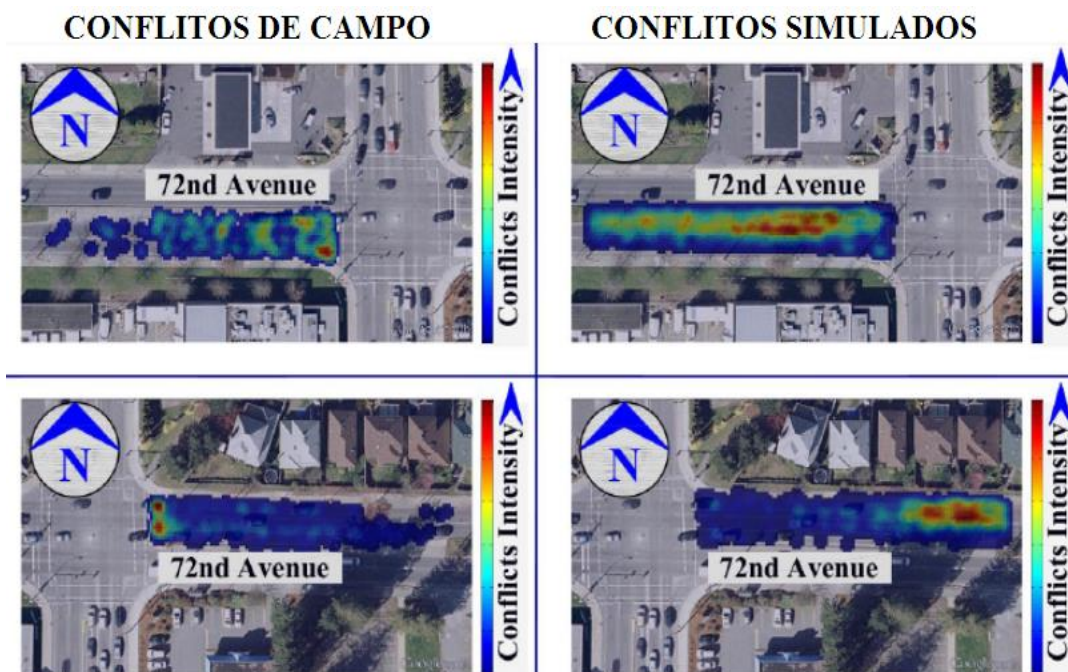
Fonte: Ayala (2013).

As alterações nos valores default do *software* se dão basicamente de duas formas. Uma delas é utilizando estudos anteriores ou dados coletados em campo. A outra forma é a calibração por teste de diversos valores de parâmetros até se obter medidas de desempenho simuladas condizentes com a realidade. Medeiros (2010) denominam o ajuste dos dados no primeiro método como "dados de entrada" e no segundo de "parâmetros de calibração".

Não há na literatura um método universal de calibração e validação de simuladores. Isso se deve à grande variedade de funções nos modelos utilizados pelos microssimuladores. Com o desenvolvimento e aprimoramento dos modelos microscópicos, além do crescente grau de detalhamento, o número de parâmetros a serem calibrados pode ser bastante elevado.

No trabalho de Essa e Sayed (2015), o padrão de conflitos foi abordado como tema pertinente ao processo de calibração de uma rede ao se estudar o DSV. Nesta análise, os pesquisadores avaliaram o padrão de conflitos de uma rede calibrada e seu cenário real. Tal calibração teve como meta os tempos de atraso, sendo necessária então que o tipo de chegada e a velocidade desejada fossem fiéis ao cenário real. Como resultado, Essa e Sayed concluíram que, mesmo que o número de conflitos percebidos nos dois cenários se assemelhasse, a disposição espacial destes não correspondia totalmente, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Disposição de conflitos dos cenários simulados por Essa e Sayed (2015).



Fonte: Essa e Sayed (2015).

3 METODOLOGIA E APLICAÇÃO

A proposta metodológica da análise de sensibilidade dos parâmetros de calibração em ambiente urbano foi composta de cinco etapas como mostra o fluxograma da Figura 7:

Figura 7 – Fluxograma da metodologia de pesquisa.



Fonte: elaborado pela autora.

A primeira etapa da metodologia proposta envolve uma revisão do modelo *car-following* de simulação proposto pelos elaboradores do VISSIM, analisando seus significados e formulações matemáticas, além das suas amplitudes razoáveis. De forma similar, os algoritmos de microssimulação devem ser caracterizados. Para isso, é necessário revisar o manual do *software* destrinchando cada parâmetro.

O próximo passo trata da construção do corredor de simulação. Nesta fase, monta-se a geometria da rede no simulador, além de inserir todos os seus atributos de operação. Para isso, o uso de imagens de satélites, ou até mesmo levantamentos de campo, são fundamentais. Os atributos geométricos como largura de pista, número de faixas da via, além dos tipos de controle de tráfego, devem ser observados para que a rede desenhada seja fiel ao cenário real.

Quando o corredor a ser simulado apresentar um controle semafórico, os ciclos e fases operantes devem ser obtidos, seja em campo ou por fornecimento de informações pelo órgão responsável. O mesmo se dá para a obtenção dos volumes de tráfego e percentuais de conversão. Caso os valores de volumes de tráfego da região sejam salvos em algum banco de dados disponível, é possível utilizar tais valores. Caso contrário, a contagem de veículos em campo faz-se necessária. Após tais volumes e percentuais de conversão obtidos, pode-se elaborar uma matriz Origem/Destino que alimentará a rede a ser simulada.

Para a execução do plano de simulação, primeiro há de se escolher e estabelecer a sequência lógica de variação de parâmetros de calibração do simulador. Para cada variação de parâmetro, um conjunto de um número definido de sementes de simulação será rodado. A quantidade de sementes deve ser determinada a fim de conseguir-se uma amostra representativa das sementes que podem ser simuladas.

Sendo definido o número de sementes, é possível simular a rede e extrair os arquivos de trajetórias de todas as sementes para cada conjunto de simulação com valor de parâmetro definido. Utilizando o *software* SSAM, obtém-se o número de conflitos e suas coordenadas espaciais, bem como seus valores de TTC. Sendo o evento colisão (TTC=0) algo pouco recorrente, os conflitos com TTC iguais a zero devem ser descartados a fim de eliminar erros provenientes de montagem de rede; como mau posicionamento de conectores; ou falhas de simulação; como a não percepção do comprimento dos veículos pelos condutores ao mudarem de faixas. Desta forma, não se contabiliza as falsas colisões registradas no arquivo de trajetória.

Tendo os valores de números de conflitos, utiliza-se de ferramentas estatísticas como ANOVA para se analisar a sensibilidade dos parâmetros, avaliando a diferença ou não entre as médias de números de conflitos dos níveis alto e baixo de cada variável. As coordenadas dos conflitos são utilizadas para observar o padrão de posicionamento através de mapas de calor.

3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PARAMETROS DE CALIBRAÇÃO DE CAR-FOLLOWING (W74) DO VISSIM

O modelo de simulação estudado neste trabalho trata-se do modelo de *car-following* de Wiedemann W74, que é composto de quatro parâmetros: *ax*, *ax_mult*, *bx_add*, *bx_mult*.

A variável ax é definida como a distância média de espaçamento entre veículos parados. Esta tem uma variação de mais ou menos 1m, normalmente distribuído em torno de zero e com um desvio padrão de 0,3m. O parâmetro ax_mult é constante igual a 1m e embutido no *software* VISSIM de forma que sua alteração é impedida.

O parâmetro bx_add é a parte aditiva da distância mínima de *following* “d”, onde d é a soma de $ax+bx$. Já bx_mult é o fator multiplicativo de bx . A equação a seguir define bx matematicamente:

$$bx = (bx_add + bx_mult \times rndl(1)) \times \sqrt{v} \quad (5)$$

Onde:

bx : distância de segurança [m];

bx_add : fator aditivo de bx ;

bx_mult : fator multiplicativo de bx ;

v : velocidade do líder enquanto houver aproximação dos veículos, e do veículo seguidor enquanto houver distanciamento [m/s];

$rndl[I]$: variável aleatória $N(0,5; 0,15)$, truncada entre 0 e 1.

3.1.2 MONTAGEM DA REDE

O corredor escolhido para ser simulado foi o trecho da via arterial Av. Barão de Studart compreendido entre as vias Antônio Sales e João Carvalho, totalizando sete quadras e aproximadamente 650m de comprimento.

Toda a geometria da malha viária foi desenhada tendo como base uma imagem de satélite obtida no *software Google Earth*, mesmo aplicativo que possibilitou a medição das larguras de faixas do trecho. Antes de se começar a desenhar os *links* no VISSIM, tal imagem teve sua escala ajustada. Todos os conectores foram alocados e suas regras de prioridade definidas. Sendo a Av. Barão de Studart o corredor principal, as regras de “pare” preferencial em geral favoreceram-na, exceto nas interseções controladas por semáforos.

Os dados de tempos semafóricos foram obtidos através do CTAFOR, entidade detém a gestão do controle semafórico da cidade de Fortaleza. Os volumes de tráfego foram obtidos através de contagens direcionais nos dias 4 e 5 de Novembro, tomando o período de 7 às 8hrs como pico matinal. A Figura 8 ilustra o esquema de distribuição de pesquisadores para as coletas, sendo cada “#número” o identificador de um pesquisador e o conjunto de setas de cores correspondentes à representação dos movimentos de tráfego observados pelo respectivo

pesquisador. As interseções da Av. Barão de Studart com as vias Antônio Sales, Dom Expedito Lopes e Padre Valdevino foram observadas no primeiro dia de pesquisa de campo, enquanto as interseções com as vias Bárbara de Alencar, Júlio Ventura, Catão Mamede e João Carvalho foram registradas no dia seguinte. Apesar de a Av. Antônio Sales possuir uma faixa exclusiva para ônibus, desconsiderou-se tal diferenciação de tipo de veículo neste trabalho. A Tabela 2 indica os volumes de tráfego coletados em campo em veículos por hora (vph).

Tendo os dados de volume de tráfego e percentuais de conversão, programaram-se os volumes de origem e as rotas na rede desenhada no aplicativo. De forma semelhante, os dados de planos semaforicos foram incorporados à malha virtual.

Tabela 2 – Volumes de tráfego coletados em campo.

Via	Volume (vph)	Aproximação
Antônio Sales	1583	Oeste
Dom Expedito Lopes	356	Leste
Padre Valdevino	1108	Leste
Bárbara de Alencar	96	Leste
Júlio Ventura	1263	Oeste
Júlio Ventura	1044	Leste
Catão Mamede	77	Oeste
João Carvalho	915	Leste
Barão de Studart	634	Sul
Barão de Studart	695	Norte

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 8 – Esquema de planejamento para pesquisa de campo.



Fonte: elaborado pela autora.

O anexo A ilustra o cenário desenhado no aplicativo simulador.

3.1.3 EXECUÇÃO DO PLANO DE SIMULAÇÃO E EXTRAÇÃO DE DADOS COM SSAM

Após ter-se a rede montada no VISSIM, deu-se sequência ao plano de simulação. Este consistiu em uma série de simulações onde os parâmetros de *car-following* W74 foram alterados um a um.

Cada simulação teve apenas um dos parâmetros disponíveis alterado do valor *default* do *software*. Da mesma forma, cada parâmetro compôs duas simulações onde seus valores não foram o padrão definido pelo programa, mas uma variação determinada como nível alto e outra como nível baixo. O nível alto de cada variável representará valor mais alto desta ainda considerado razoável. O inverso se estende ao nível baixo, onde os valores mínimos razoáveis serão simulados.

Para o parâmetro ax , que representa o espaçamento entre veículos parados, tomou-se como valor máximo 5m. Escolheu-se para essa variável também o valor mínimo igual a 1m, já que há variação de +1m e -1m na distribuição probabilística de ax , não desejando que esta seja negativa.

Sendo *bx_add* e *bx_mult* variáveis sem forte significado físico atrelado, determinaram-se valores quatro vezes maiores que o valor *default* do parâmetro para o nível alto, enquanto para o nível baixo, apenas 25% do valor padrão designado pelo aplicativo. O parâmetro *ax_mult* não foi testado, pois este não é passível de alteração no aplicativo, tendo seu valor fixo igual a 1. A Tabela 3 resume os valores de parâmetros em seus níveis.

Tabela 3 - Resumo de valores de parâmetros *car-following* W74.

Parâmetro	Valor Default	Valor Nível Alto	Valor Nível
			Baixo
<i>Ax</i>	2m	5m	1m
<i>bx_add</i>	2	8	0,5
<i>bx_mult</i>	3	12	0,75

Fonte: elaborado pela autora.

Foram realizadas 30 replicações cada combinação de parâmetro com a alteração do número semente e foram coletadas informações para cada 0,2 segundos (5 passos/segundo). Como um dos *outputs* do VISSIM, extraiu-se de cada semente um arquivo de trajetória (“.trj”), o qual foi utilizado para a estimação dos indicadores de segurança viária.

No aplicativo SSAM, os arquivos “.trj” extraídos das simulações foram processados e exportados para uma planilha com valores dos indicadores *proxy*. A Figura 9 apresenta um exemplo do arquivo bruto obtido a partir das informações do SSAM.

Figura 9 – Arquivo de saída SSAM.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	trjFile,tMinTTC,xMinPET,yMinPET,TTC,PET,MaxS,DeltaS,DR,MaxD,MaxDeltaV,ConflictAngle,ClockAngle,									
2	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,51.2,-4282390.5,-416726.2,0.0,0.0,10.895917,1.8772262,-6.60:									
3	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,64.6,-4282137.0,-415900.25,0.0,0.0,7.04251,4.3184605,-1.2107									
4	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,92.0,-4282352.0,-416596.66,1.4,2.5999985,5.868664,5.868664:									
5	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,131.0,-4282194.0,-416074.12,0.09999981,0.40000916,12.8546:									
6	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,124.2,-4282194.0,-416072.88,0.09999981,2.5999908,11.54001,									
7	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,132.2,-4282192.5,-416075.12,1.5,2.600006,6.398904,5.866339,									
8	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,150.2,-4282410.0,-416547.78,1.5,2.600006,3.8032036,3.80320:									
9	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,155.0,-4282080.0,-415959.5,1.5,1.3999939,5.6000476,1.72183:									
10	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,166.4,-4282196.0,-416078.94,0.5999998,0.19999695,12.05753:									
11	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,177.4,-4282127.0,-415872.4,0.19999981,0.19999695,11.80386:									
12	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,183.4,-4282137.0,-415896.4,0.09999981,4.400009,7.9465013,2									
13	rede barão de studart- 10 dezembro_193.trj,188.8,-4282135.5,-415900.44,0.0,0.0,2.593404,1.1632065,1.93:									

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Como filtro do próprio *software*, foram selecionados apenas conflitos com TTC menor ou igual a 1,5s. Vale ressaltar que os conflitos com valores de TTC iguais a zero foram descartados das amostras, pois se entendeu que estes eram provenientes de falhas na montagem da rede (como um comprimento de *links* não suficientemente longo para a entrada de veículos) ou até mesmo falhas dos modelos de simulação do próprio VISSIM (como observado em algumas mudanças de faixas, onde os motoristas virtuais enxergam o veículo apenas em seu centroide, e não como um veículo de dimensões maiores).

O georreferenciamento dos conflitos longitudinais foi realizada a partir das coordenadas de conflitos, bem como um mapa de localização dos conflitos simulados. Para isso, criou-se um arquivo do tipo “.cvs” de três colunas para cada nível de parâmetro. Nestas se encontravam o ID, a coordenada *x* e a coordenada *y* do veículo seguidor ao entrar em conflito. Utilizando o aplicativo Qgis, criou-se uma nova camada e carregaram-se os pontos de localização de conflitos. Com a ferramenta “raster”, gerou-se um mapa de calor dos pontos em uma escala de laranja.

3.1.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS

Para a análise do número de conflitos, usou-se o número de conflitos das trinta sementes de cada uma das configurações de parâmetros W74.

Nesta etapa, após a estimação dos valores dos indicadores das duas simulações executadas para cada parâmetro (níveis alto e baixo), processaram-se os dados através de um tratamento estatístico ANOVA para avaliar se as mudanças nos parâmetros *ax*, *bx_add* e *bx_mult* alteravam significativamente a frequência de conflitos simulados. Com os testes ANOVAs realizados no *software* MiniTab, pôde-se aceitar ou descartar a hipótese de determinado parâmetro influenciar ou não o resultado médio de número de conflitos em uma simulação.

Quanto à disposição dos conflitos, utilizaram-se os mapas de calor gerados no Qgis com os as coordenadas de cada nível de parâmetro. A análise de sensibilidade da localização de conflitos foi feita de maneira visual, identificando e comparando as diferentes intensidades e homogeneidades das regiões dos mapas de calor de diferentes níveis de parâmetro.

5 RESULTADOS

Nesta etapa do trabalho, foram analisadas as sensibilidades dos parâmetros na frequência de todos os tipos de conflitos, em especial os do tipo longitudinais, pois estes tem uma relação forte com o modelo de *car-following*. Para tal, a ferramenta estatística ANOVA foi utilizada para testar as hipóteses de que as frequências médias de conflitos em cada nível admitido para um parâmetro são iguais entre si.

A sensibilidade das variáveis de *car-following* quanto à disposição espacial de tais conflito de traseira foi realizada visualmente após terem sido gerados os mapas de calor da localização destes.

5.1 PARÂMETRO “AX”

O parâmetro ax , que representa o espaçamento entre os veículos parados, teve seu nível baixo fixado em 1m, nível alto em 5m e valor *default* estabelecido pelo aplicativo igual a 2m. Para a simulação dos dois níveis, os parâmetros bx_add e bx_mult foram mantidos em valores *default*.

Processaram-se os arquivos de simulação no SSAM a fim de determinar os conflitos ocorridos. Após uma primeira filtragem eliminando os conflitos com TTC igual a zero, montou-se a Tabela 4:

Tabela 4 - Número de conflitos nos níveis do parâmetro ax .

Tipo de Conflito	Número de Conflitos		
	Nível Baixo-1m (I)	Nível Alto-5m (II)	(I)/(II)
Transversal	84	93	0,90
Mudança de faixa	2493	1598	1,56
Longitudinal	9575	2502	3,83
Total	12152	4193	2,90

Fonte: Própria autora.

Nota-se que houve uma redução de número de conflitos dos tipos mudança de faixa e longitudinais quando são comparados o nível baixo com o nível alto. Isso possivelmente se deve ao aumento do espaçamento médio entre veículos parados, denotando uma possível maior agressividade dos motoristas no nível baixo ($ax=1m$).

Quanto ao conflito do tipo transversal, percebe-se que o valor obtido em $ax=1m$ corresponde apenas a 0,9 do valor de $ax=5m$. A possível razão para tal é dada pela redução de brecha entre os veículos do fluxo preferencial a ponto de impossibilitar muitas das tentativas de motoristas em convergir da via secundária para a principal.

Quanto à análise do número total de conflitos com $ax=1m$ representa 2,9 do número de conflitos observados no nível alto do parâmetro. Observaram-se também as taxas de desaceleração nos conflitos (DR), as quais denotam maior severidade quanto menor for seu valor. A Tabela 5 exhibe os valores obtidos.

Tabela 5 - Valor médio de DR nos níveis do parâmetro ax .

Tipo de Conflito	Valor Médio de DR (m/s ²)		
	Nível Baixo (1m) (I)	Nível Alto (5m) (II)	(I)/(II)
Transversal	-1,93	-0,83	2,32
Mudança de faixa	-2,60	-3,53	0,74
Longitudinal	-2,44	-1,95	1,25
Total	-2,32	-2,10	1,11

Fonte: Própria autora.

Percebe-se que as taxas de desaceleração são menores em módulo no nível alto do parâmetro ax , exceto nos conflitos de mudança de faixa, atribuindo-se tal feito à repentina aparição de um veículo à frente, causando no motorista seguidor uma reação mais abrupta de frenagem para manter sua distância ax estabelecida como segura.

Em termos de conflitos longitudinais (longitudinais), testaram-se as médias de número de conflitos dos dois níveis utilizando a ferramenta estatística ANOVA no aplicativo MiniTab. Determinando um nível de confiança de 95% e erro de 5%, obteve-se a Figura 10 abaixo como resultado do teste estatístico.

Pelo alto valor F e o baixo valor P, rejeita-se a hipótese nula de que não há diferenças de número de conflitos nos diferentes níveis do parâmetro ax , sendo a média de conflitos longitudinais por semente simulada no nível baixo igual a 319,17 e, no nível alto, 83,37.

Figura 10 - Teste ANOVA para as médias dos níveis do parâmetro *ax*.

Método

Hipótese nula Todas as médias são iguais
 Hipótese alternativa No mínimo uma média é diferente
 Nível de significância $\alpha = 0,05$

Fator Níveis Valores
 Nível 2 Alto; Baixo

Teste de Welch

Num

Fonte	GL	Den GL	Valor F	Valor-P
Nível	1	51,5166	7188,66	0,000

Sumário do Modelo

R2	R2 (aj)	R2 (pred)
99,20%	99,19%	99,14%

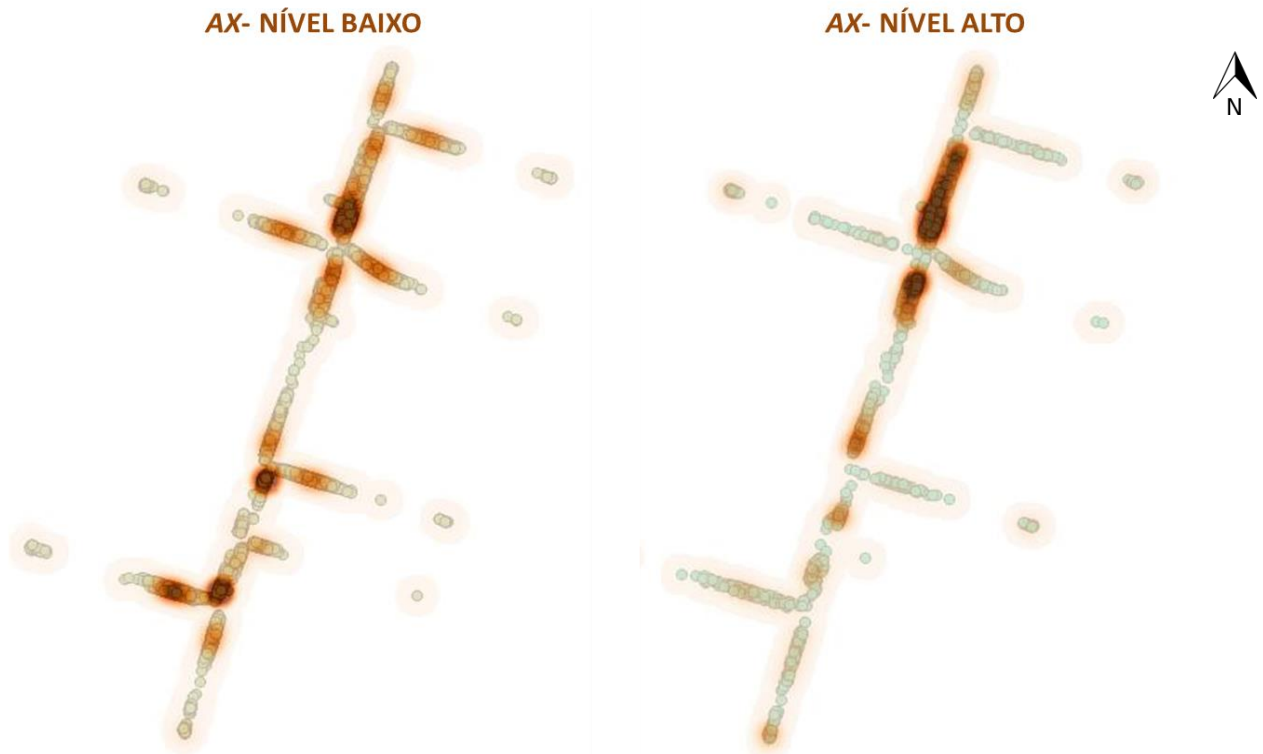
Médias

Nível	N	Média	DesvPad	IC de 95%
Alto	30	83,37	8,65	(80,14; 86,60)
Baixo	30	319,17	12,54	(314,49; 323,85)

Fonte: Própria autora.

A Figura 11 mostra os mapas de calor de conflitos longitudinais dos dois níveis montados no *software* Qgis, sendo os níveis de cores mais escuras, os com maior concentração de conflitos:

Figura 10 - Mapas de calor de conflitos longitudinais níveis do parâmetro *ax*.



Fonte: Própria autora.

Foi possível observar que no *link* mais ao sul (Av. Antônio Sales) houve uma grande concentração de conflitos no nível baixo, diferentemente do que pode ser notado no nível alto do parâmetro. Outra diferença observada no mapa de calor de *ax* baixo nível é a mancha de conflitos localizados nas ruas que se aproximam da Av. Barão de Studart, diferentemente do que é notado nas vias secundárias do mapa de calor de nível alto. Percebeu-se também uma maior distribuição dos conflitos na porção norte do corredor principal no nível alto de *ax*.

5.2 PARÂMETRO “*BX_ADD*”

O parâmetro *bx_add* representa a parte aditiva do parâmetro *bx*, que, por sua vez, compõe a distância mínima de *following* “*d*”. Ao nível baixo de *bx_add* foi atribuído o valor 0,5 e ao nível alto, 8.

De forma similar ao parâmetro *ax*, fixou-se os valores *defaut* de *ax* e *bx_mult* enquanto se variava os níveis de *bx_add*. Após determinar os conflitos obtidos na simulação,

uma primeira filtragem foi feita para eliminar os conflitos com TTC igual à zero. Então se montou a Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 - Número de conflitos nos níveis do parâmetro bx_add .

Tipo de Conflito	Número de Conflitos		
	Nível Baixo- 0,5 (I)	Nível Alto- 8 (II)	(I)/(II)
Transversal	110	136	0,81%
Mudança de faixa	2305	1694	1,36
Longitudinal	6398	2615	2,45
Total	8813	4445	1,98

Fonte: Própria autora.

Nota-se que, semelhantemente ao resultado relativo a ax , houve uma redução de número de conflitos dos tipos mudança de faixa e longitudinal quando comparou-se o nível baixo com o nível alto. A razão para tal se dá ao fato de bx_add ser diretamente proporcional à distância mínima de *following* “d”, aumentando assim o espaçamento médio entre veículos em movimento, inferindo uma possível menor agressividade dos motoristas no nível alto (maior “d”).

A análise relativa aos conflitos transversais também é similar a de ax . Percebe-se que o valor obtido em no nível baixo do parâmetro corresponde a 0,81 do valor de observado no nível alto. Uma possível causa para tal é dada pela diminuição de brecha entre os veículos.

Quanto à análise do número total de conflitos com $bx_add=0,5$ representa 1,98 do número de conflitos observados no nível alto do parâmetro.

A Tabela 7 exhibe os valores obtidos para as taxas de desaceleração nos conflitos (DR), as quais denotam maior severidade quanto menor for seu valor.

Tabela 7 - Valor médio de DR nos níveis do parâmetro bx_add .

Tipo de Conflito	Valor Médio de DR (m/s ²)		
	Nível Baixo- 0,5 (I)	Nível Alto- 8 (II)	(I)/(II)
Transversal	-1,82	-2,35	0,78
Mudança de faixa	-2,75	-2,77	0,99
Longitudinal	-2,63	-1,89	1,39
Total	-2,40	-2,34	1,03

Fonte: Própria autora.

Percebe-se que as taxas de desaceleração também são menores em módulo no nível alto do parâmetro, exceto nos conflitos de mudança de faixa.

Quanto aos conflitos longitudinais, as médias de número de conflitos dos dois níveis foram analisadas com a análise de variância (ANOVA). Utilizando um nível de confiança de 95% e erro de 5%, obteve-se a Figura 12 abaixo como resultado do teste estatístico:

Figura 12 - Teste ANOVA para as médias dos níveis do parâmetro *bx_add*.

```

Método

Hipótese nula          Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa   No mínimo uma média é diferente
Nível de significância  $\alpha = 0,05$ 

Informações dos Fatores
Fator  Níveis  Valores
Nível      2  Alto; Baixo

Teste de Welch
Num
Fonte  GL  Den GL  Valor F  Valor-P
Nível  1  57,3608  2590,63  0,000

Sumário do Modelo
R2  R2(aj)  R2(pred)
97,81%  97,77%  97,66%

Médias
Nível  N  Média  DesvPad  IC de 95%
Alto  30  87,17  9,07  ( 83,78; 90,56)
Baixo 30  213,27  10,09  (209,50; 217,03)

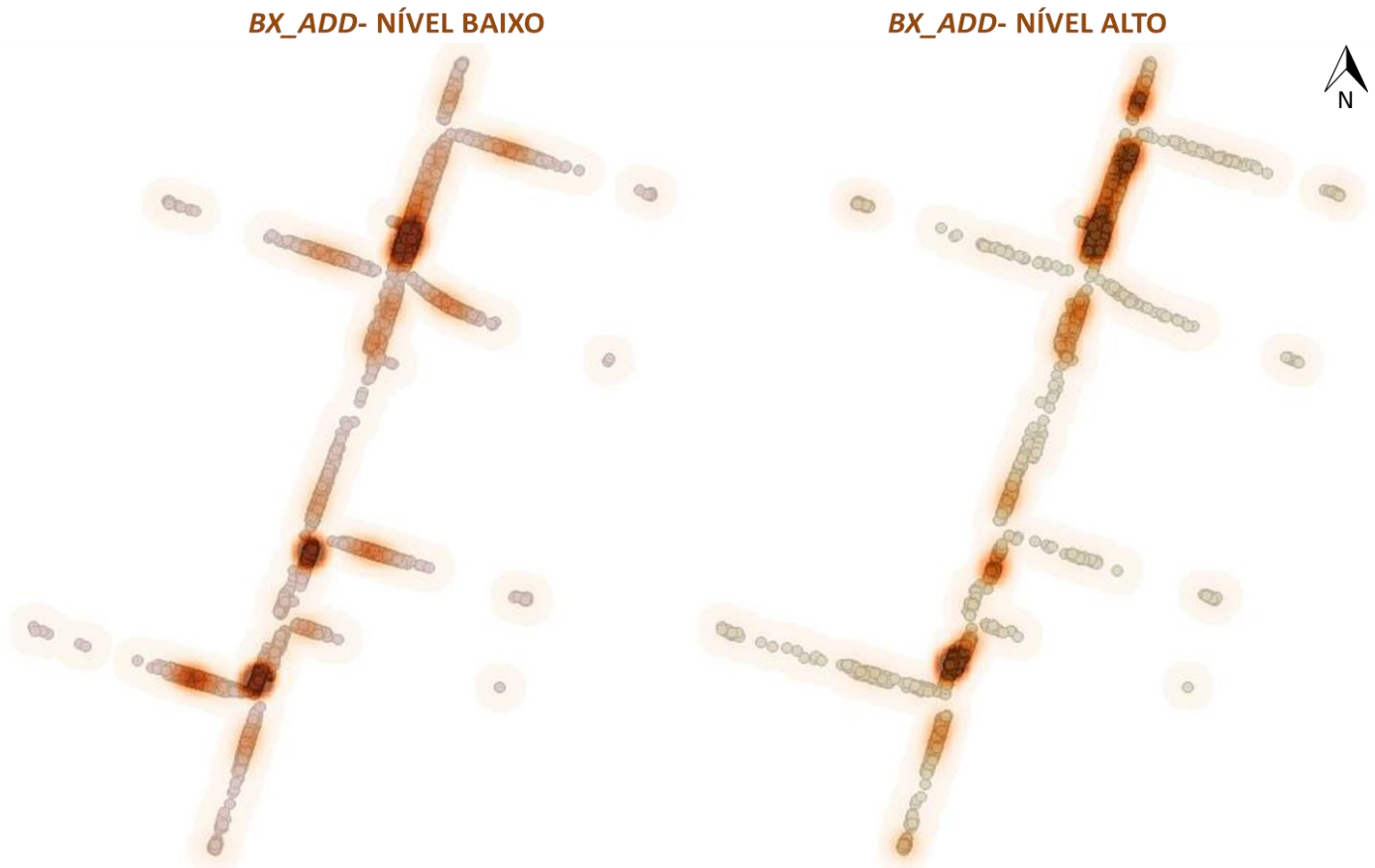
```

Fonte: Própria autora.

Assim, pode-se rejeitar a hipótese nula e afirmar que há diferenças de número de conflitos nos diferentes níveis do parâmetro *bx_add*, sendo a média de conflitos longitudinais por semente simulada no nível baixo igual a 213,27 e, no nível alto, 87,17.

Utilizando o *software* Qgis, montaram-se os mapas de calor de conflitos longitudinais dos dois níveis, sendo os níveis de cores mais escuras, os com maior concentração de conflitos, mostrados na Figura 13:

Figura 13 - Mapas de calor níveis de conflitos longitudinais do parâmetro bx_add



Fonte: Própria autora.

Observou-se que, no mapa de calor de nível alto, a porção de conflitos situada na aproximação norte teve uma distribuição de conflitos mais homogênea do que mesma porção no nível baixo. Por outro lado, o nível baixo apresentou uma maior distribuição de conflitos nas vias secundárias ao se aproximarem das interseções.

5.3 PARÂMETRO “ BX_MULT ”

O parâmetro bx_mult também representa uma parte (multiplicativa) do parâmetro bx , que, por sua vez, compõe a distância mínima de *following* “ d ”. Ao nível baixo de bx_mult foi atribuído o valor 0,75 e ao nível alto, 12.

Dando sequência ao plano de simulação, fixaram-se os valores *default* de ax e bx_add enquanto se variava os níveis de bx_mult .

Determinaram-se os conflitos obtidos na simulação através do aplicativo SSAM, e desconsideraram-se os conflitos com TTC igual à zero. Então a Tabela 8 abaixo foi elaborada:

Tabela 8 - Número de conflitos nos níveis do parâmetro bx_mult .

Tipo de Conflito	Número de Conflitos		
	Nível Baixo (1m) (I)	Nível Alto (5m) (II)	(I)/(II)
Transversal	115	115	1,00
Mudança de faixa	2226	1683	1,32
Longitudinal	5938	2470	2,40
Total	8279	4268	1,94

Fonte: Própria autora.

De forma similar, para os níveis de bx_mult foi percebida uma redução de número de conflitos dos tipos mudança de faixa e longitudinal no nível alto. O motivo para tal também está relacionado ao fato de bx_mult ser uma parcela diretamente proporcional à distância mínima de *following* “d”, conseqüentemente inversamente proporcional à agressividade dos condutores. A análise relativa aos conflitos transversais é um pouco diferente a dos outros parâmetros. Nota-se que o valor obtido em no nível baixo do parâmetro parece não ter variado em relação ao nível alto.

Quanto à análise do número total de conflitos com $bx_mult=0,75$ representa 194% do número de conflitos observados no nível alto do parâmetro.

A Tabela 9 exhibe os valores obtidos para as taxas de desaceleração nos conflitos (DR), as quais denotam maior severidade quanto menor for seu valor.

Tabela 9 - Valor médio de DR nos níveis do parâmetro bx_mult .

Tipo de Conflito	Valor Médio de DR (m/s ²)		
	Nível Baixo (1m) (I)	Nível Alto (5m) (II)	(I)/(II)
Transversal	-1,71	-2,08	0,82
Mudança de faixa	-2,79	-2,96	0,94
Longitudinal	-2,64	-2,02	1,31
Total	-2,38	-2,35	1,01

Fonte: Própria autora.

Percebe-se que as taxas de desaceleração também se apresentam bem próximas nos conflitos do tipo transversal e de mudança de faixa. Apenas os conflitos longitudinais aparecem em menor quantidade no cenário de nível alto.

Para o estudo dos conflitos longitudinais, as médias de número de conflitos dos dois níveis foram analisadas utilizando a ferramenta estatística ANOVA. Determinando um nível de confiança de 95% e erro de 5%, obteve-se a Figura 14 como *output* do teste estatístico:

Figura 14 - Teste ANOVA para as médias dos níveis do parâmetro *bx_mult*.

```
Método

Hipótese nula          Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa   No mínimo uma média é diferente
Nível de significância  $\alpha = 0,05$ 

Informações dos Fatores
Fator Níveis Valores
Nível      2 Alto; Baixo

Teste de Welch
Num
Fonte  GL  Den GL  Valor F  Valor-P
Nível  1  55,9534  1670,29  0,000

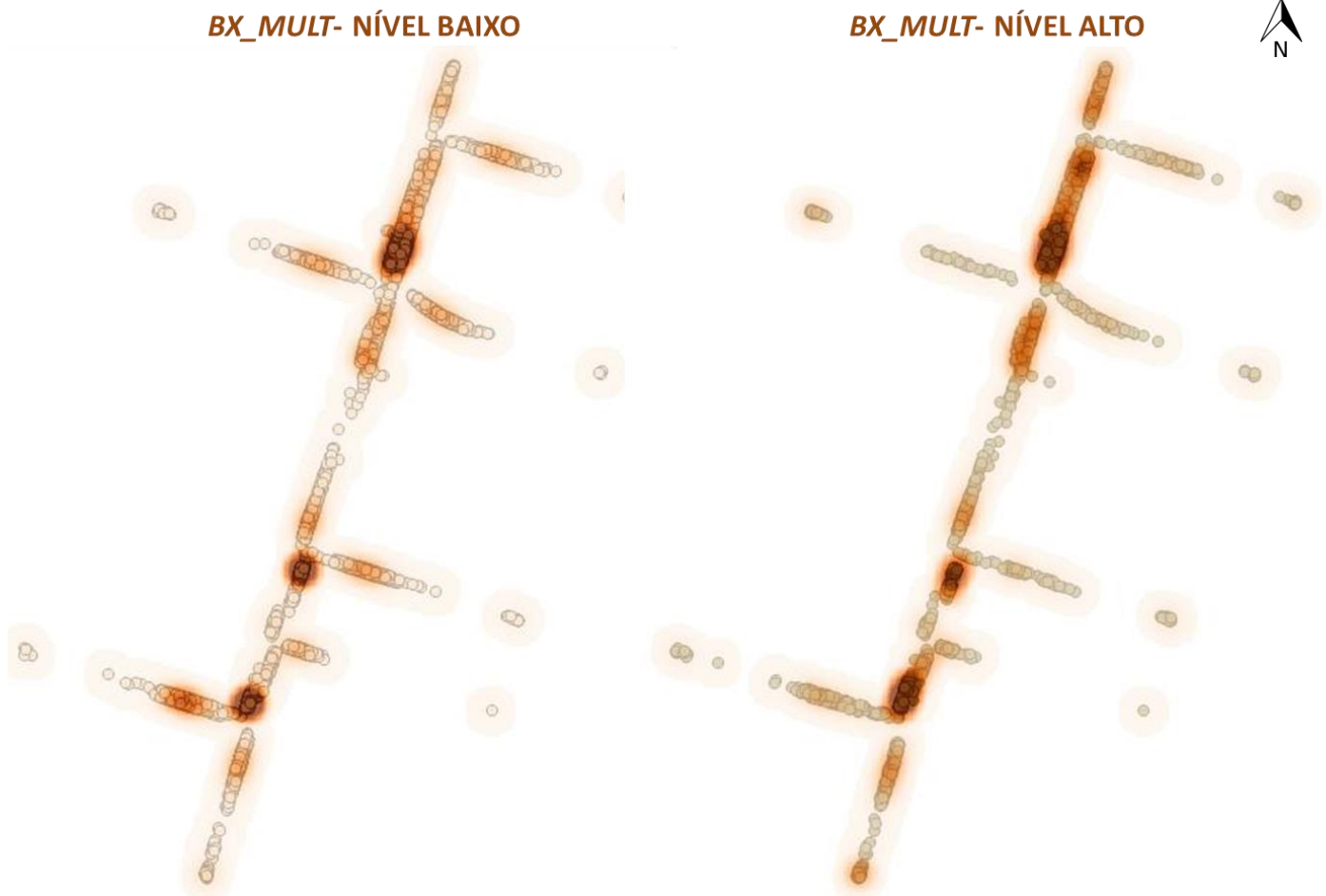
Sumário do Modelo
R2  R2(aj)  R2(pred)
96,64%  96,59%  96,41%

Médias
Nível  N  Média  DesvPad  IC de 95%
Alto  30  82,33  9,85  ( 78,65; 86,01)
Baixo 30 197,93 11,96 (193,47; 202,40)
```

Fonte: Própria autora.

Assim podemos rejeitar a hipótese nula e afirmar que há diferenças de número de conflitos nos diferentes níveis do parâmetro *bx_mult*, sendo a média de conflitos longitudinais por semente simulada no nível baixo igual a 197,93 e, no nível alto, 82,33.

No *software* Qgis, montaram-se os mapas de calor de conflitos longitudinais dos dois níveis, sendo os níveis de cores mais escuras, os com maior concentração de conflitos, como mostra a Figura 15:

Figura 15 - Mapas de calor de conflitos longitudinais níveis do parâmetro *bx_mult*.

Fonte: Própria autora.

Para a variável *bx_mult*, a disposição dos conflitos na rede também se deu de forma semelhante a de *bx_add*, apresentando a distribuição espacial de conflitos na porção norte de Av. Barão de Studart (até a interseção com a Av. Júlio Ventura) mais homogênea no nível alto do parâmetro. Em contraponto, é possível perceber a presença de conflitos nas vias secundárias nos dois cenários, diferentemente do caso observado em *bx_add*.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

No meio profissional, muitas dificuldades são encontradas para testarem-se propostas de intervenções de tráfego, pois não é possível alterar os elementos do sistema de transporte deliberadamente a fim analisar o efeito de cada situação por motivos práticos e éticos. Quando o enfoque é dado ao desempenho da segurança viária, outra grande dificuldade para se estudá-la é a de se conseguir dados concisos de acidentes, pois estes são eventos com baixo índice de reportabilidade e que muitas vezes tem o registro de informações incompletas e incorretas (HAUER, 2002).

Observou-se neste trabalho que a microssimulação vem sendo utilizados engenheiros de trânsito como ferramenta para investigar a frequência, severidade e tipo dos conflitos veiculares. As principais metodologias para a avaliação do DSV envolvem o uso de indicadores *proxy*, os quais representam a série de conflitos que antecipam os acidentes de fato. Os principais indicadores *proxy* temporais são o tempo para colisão (TTC – *time to collision*), o tempo para o acidente (TTA – *time to accident*), e o tempo após invasão (PET – *post-encroachment time*). Quanto aos indicadores baseados na energia de frenagem dos veículos, destacou-se a taxa de desaceleração necessária para evitar a colisão (DRAC - *Deceleration Rate to Avoid the Crash*) e a taxa inicial de desaceleração (DR- *Deceleration Rate*). Neste documento, elegeu-se o do TTC como principal parâmetro de estudo, devido a sua vasta utilização no meio acadêmico.

Foi percebido que utilização microssimuladores para a avaliação do desempenho da segurança viária é carente de métodos simples e objetivos para uma avaliação preliminar da sensibilidade dos principais parâmetros de calibração, e que os métodos tradicionais de calibração podem não ser adequados para do uso na avaliação do DSV, como visto no trabalho de Essa e Sayed (2015).

Sendo a qualidade de um simulador em representar a cenários reais diretamente ligada à qualidade de ajuste dos seus parâmetros de calibração do modelo de simulação. Neste trabalho, propôs-se um método para a análise de sensibilidade dos parâmetros de *car-following* do VISSIM que consiste em quatro principais passos: a caracterização dos parâmetros de calibração, a construção do corredor de simulação, a execução do plano e simulação e, por final, a análise de sensibilidade dos parâmetros.

Por meio de revisão de literatura a e utilizando o manual de uso do *software* VISSIM, concluiu-se que os modelos de *car-following* utilizados se baseiam no modelo proposto por Weidemann (1974). No aplicativo, o modelo se divide em dois tipos: W99 e o W74. O conjunto de parâmetros do W74, o qual é voltado para áreas urbanas, é composto por três variáveis passíveis de alteração na simulação: ax , bx_add e bx_mult .

Escolheu-se o corredor da via arterial Av. Barão de Studart compreendido entre as vias Antônio Sales e João Carvalho como estudo de caso a ser simulado. Seguiu-se as etapas de construção da rede descritas e então determinou-se os níveis (alto e baixo) de variação de valor de parâmetros. Simulou-se então 30 sementes para cada nível, onde se extraiu os arquivos de trajetória que, com o auxílio do *software* SSAM, tornaram possível a identificação dos conflitos.

Na etapa de análise de sensibilidade, utilizou-se a ferramenta estatística ANOVA para estudar se as médias de frequência de conflitos longitudinais entre os deferentes níveis seriam iguais. Para o estudo de disposição espacial, fez-se uma análise visual dos mapas de calor plotados pelas coordenadas dos conflitos longitudinais.

Para o parâmetro ax (distância entre veículo parados), foi identificada a diferença de média entre os níveis alto e baixo do parâmetro, tendo o nível baixo ($ax=1m$) uma média de frequência de conflitos bem maior que o nível alto ($ax=5m$). Também foi percebida a diferença entre os mapas de calor de nível alto e baixo, sendo a disposição de conflitos no nível baixo mais distribuída que no nível alto.

Para o parâmetro bx_add (parte aditiva da parcela de distância de *following*), foi identificada a diferença de média entre os níveis alto e baixo do parâmetro, indicando ao nível baixo ($bx_add=0,5$) uma média de frequência de conflitos bem maior que o nível alto ($bx_add=8$). Também foi percebida a diferença entre os mapas de calor de nível alto e baixo, sendo a disposição de conflitos no nível baixo menos distribuída na aproximação norte da rede que no outro nível, porém com uma presença maior de conflitos nas vias secundárias.

Para o parâmetro bx_mult (parte multiplicativa da parcela de distância de *following*), foi identificada a diferença de média entre os níveis alto e baixo do parâmetro, tendo o nível baixo ($bx_mult=0,75$) uma média de frequência de conflitos bem maior que o nível alto ($bx_mult=12$). Da mesma forma que para bx_add , foi percebida a diferença entre os mapas de calor de nível alto e baixo, sendo a disposição de conflitos no nível baixo menos distribuída na aproximação norte da rede que no nível alto, tendo o nível baixo uma maior presença de conflitos nas vias secundárias.

Concluiu-se, por fim, que os três parâmetros estudados possuem influência na frequência e disposição espacial dos conflitos longitudinais.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

De forma a dar continuidade a linha de pesquisa, melhorando o método proposto, sugere-se que os outros modelos de simulação do VISSIM sejam testados igualmente (*lane-change* e *gap-acceptance*). Outro ponto ainda não abordado por este trabalho envolve a disposição espacial e testes de média de frequência dos outros tipos de conflitos que não os longitudinais. Além destes, outro estudo mais robusto pode envolver a análise não só dos parâmetros isoladamente, mas sim suas interações em diferentes níveis. Também se sugere a elaboração de um método que possa avaliar a disposição dos conflitos não apenas visualmente, mas que consiga quantificar e testar estatisticamente o grau de diferença entre as disposições espaciais de conflitos.

REFERÊNCIAS

- AMUNDSON, F. e C. HYDEN. **Proceedings of First Workshop on Traffic Conflicts**, Institute of Economics, Oslo. 1977.
- ARAÚJO, D.R.C., G.B. JACONDINO e H.B.B. CYBIS. **Método de calibração de modelos de micro-simulação de tráfego através de otimização multivariada**. Revista Transportes. 2004.
- ARCHER, J. **Methods for the assessment and prediction of traffic safety at urban intersection and their application in micro-simulation modelling**. Tese de Doutorado, Department of Infrastructure. Royal Institute of Technology, Sweden. 2005.
- AYALA, J.L., M.A.P. JAQUES. **Procedimento para Identificação dos Principais Parâmetros dos Microsimuladores para o Processo de Calibração**. ANPET 2013.
- BARCELÓ, J.; DUMONT, A.; MONTERO, L.; PERARNAU, J.; TORDAY, A. **Safety indicators for microsimulation-based assessments**. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., USA. 2003.
- CABRAL, L.V.P.; CUNTO, F.J.C. (2012). **Avaliação da frequência e severidade de conflitos veiculares simulados em interseções**. ANPET 2012.
- COLELLA, D. A. T. E DEMARCHI, S. H. **Calibração da Curva Fluxo-velocidade**. 2005.
- Cooper, D. F; Ferguson, N.. Traffic studies at t-junctions - a conflict simulation model. **Traffic Engineering and Control**, 17: 306–309. 1976.
- CUNTO, F.J.C. **Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation**. Tese de Doutorado, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Waterloo, Ontário, Canadá. 2008.

CUNTO, F.J.C.; LOUREIRO, C.F.G. **O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária.** Revista Transportes. 2011.

DARZENTAS, J.D.F.; STORR, P.A.; MCDOWELL, M.R. **Simulation of road traffic conflicts at T-junctions.** Simulation. p. 155-164. 1980.

ESSA, M.; SAYED, T. **Simulated Traffic Conflicts: Do They Accurately Represent Field-Measured Conflicts?** University of British Columbia. 2015.

FHWA (2003) **Manual on Uniform Traffic Control Devices – MUTCD.** Federal Highway Administration. US Department of Transportation, Washington, D.C., USA. 2003.

HAUER, E. **Observational Before-after Studies in Road Safety.** (1a ed.). Pergamon. 2002.

HAYWARD, J. **Near miss determination through the use of a scale of danger.** Report No. TTSC 7715, Pennsylvania State University, Pennsylvania. 1972.

HELLINGA, B.R. **Requirements for Calibration of Traffic Simulation Models.** Proceedings of the Canadian Society for Civil Engineering, v.1, p. 211-222. 1998.

HOURLAKIS, J.; MICHALOPOULOS, P. G. E KOTTOMMANNIL, J. **Practical HSM (2010) Highway Safety Manual.** 1st Edition by the American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO. 2003.

HYDÉN, C. **Traffic safety work with video-processing.** Technical report, Transportation Department, University Kaiserslautern. 1996.

LACERDA, V.M., M.M. DE CASTRO NETO (2014) **Considerações Sobre A Calibração Do Modelo de Car-Following do VISSIM Para Vias Arteriais Urbanas.** ANPET 2014.

MAY (1990). **Traffic Flow Fundamentals.** Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, first edition, 1990.

MEDEIROS, A.L., C.F.G. LOUREIRO, M.M. DE CASTRO NETO (2012) **Calibração de redes viárias urbanas microssimuladas com o uso de algoritmos genéticos**. ANPET 2012

MCDOWELL, M.R.C.; WENNELL, J.; STORR, P.A.; DARZENTAS, J. (1983) **Gap acceptance and traffic conflict simulation as a measure of risk**. Technical report, Transportation and Road Research Laboratory - Supplementary Report 776, 1983.

PTV(2014), **VISSIM 6. User Manual**. PTV AG, Karlsruhe, Germany. 2014.

SILVA, P. C. M. **Engenharia de Tráfego: Teoria do Fluxo de Tráfego. Brasília – DF. Apostila do curso de Engenharia de Tráfego** – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. 1994.

SOUZA, J.Q. **Modelagem microscópica aplicada na avaliação do desempenho da segurança viária em interseções urbanas**. Tese de mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. 2012.

APÊNDICE A – IMAGEM DO CENÁRIO SIMULADO NO VISSIM

