



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

**DAVI GARCIA LOPES PINTO**

**TRAVESSIA DE PEDESTRES EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS: COMPARAÇÃO**  
**ENTRE AS MODELAGENS DO HCM 2010 E DO VISSIM 9**

**FORTALEZA**  
**2017**

DAVI GARCIA LOPES PINTO

TRAVESSIA DE PEDESTRES EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS: COMPARAÇÃO ENTRE  
AS MODELAGENS DO HCM 2010 E DO VISSIM 9

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Mendonça de Castro Neto

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P727t Pinto, Davi Garcia Lopes.  
Travessia de pedestres em interseções semaforizadas : comparação entre as modelagens do HCM 2010 e do VISSIM 9 / Davi Garcia Lopes Pinto. – 2017.  
73 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Manoel Mendonça de Castro Neto.

1. Modelagem de pedestres. 2. Modelo de força social. 3. Interseções semaforizadas. 4. Medidas de desempenho. 5. Nível de serviço. I. Título.

CDD 620

---

DAVI GARCIA LOPES PINTO

TRAVESSIA DE PEDESTRES EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS: COMPARAÇÃO ENTRE  
AS MODELAGENS DO HCM 2010 E DO VISSIM 9

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Civil da Universidade Federal do  
Ceará como requisito parcial para obtenção do  
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em 18 de dezembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Manoel Mendonça de Castro Neto (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Moraes de Oliveira Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Manoel, pelo esforço e dedicação em me orientar ao longo desse ano. Agradeço por acreditar no meu potencial e por servir de exemplo e inspiração, como pessoa e como profissional.

À Lisel, sem a qual a execução desse trabalho não seria possível. Obrigado pela esforço, pela atenção, pela paciência e pelos conselhos dados ao longo desse trabalho.

Aos companheiros do GTTEMA, pela disponibilidade em participar da coleta dos dados utilizados nesta pesquisa.

Ao professor Felipe Loureiro, que foi minha primeira inspiração em seguir a área de transportes.

À AMC, em especial ao engenheiro Marcelo dos Santos Luna, pela prontidão em fornecer os dados e informações solicitadas para a elaboração desse trabalho.

Aos amigos que fiz durante a graduação, por tornar essa jornada mais divertida. Em especial, à Cristina, ao Ályson e à Delis, com os quais formei a melhor equipe da qual já fiz parte.

Aos amigos que fiz no programa Ciência Sem Fronteiras. Em especial, à Islane, ao Arhur, ao Felipe e à Mariana, os quais foram meu porto seguro durante o intercâmbio.

Às minhas tias, Fátima e Cristina, que sempre me apoiaram nos momentos de dificuldade.

Ao meu pai, Chico (*in memoriam*), cuja memória me inspira a seguir lutando pelos meus objetivos.

À minha mãe, Ana Maria, minha luz e meu guia, por ser a pessoa mais importante em minha vida. Obrigado por ter me ensinado a ser justo e honesto e a nunca desistir dos meus sonhos.

## RESUMO

Nos últimos anos, tem-se observado um gradual crescimento no uso de meios alternativos de transporte (transporte público, bicicleta, transporte a pé), em detrimento do modo motorizado individual (carro). Essa tendência vem ao encontro da necessidade das grandes cidades em reduzir os impactos causados pelo número excessivo de veículos automotores em circulação. Portanto, um conhecimento mais aprofundado acerca do comportamento dos pedestres em uma rede de tráfego mostra-se essencial nesse cenário. As ferramentas de modelagem comportamental de pedestres surgem como importantes ferramentas para avaliação da qualidade do serviço ofertado a esse modo de transporte. Nesse trabalho, realizou-se um estudo de caso para avaliar a eficiência de dois dos modelos mais difundidos na comunidade acadêmica para modelagem de pedestres: o método proposto pelo HCM 2010 para determinação do atraso e nível de serviço em interseções semaforizadas e o modelo de simulação microscópica de pedestres do VISSIM 9. Realizou-se uma análise comparativa dos tempos de espera gerados por esses dois modelos em uma interseção semaforizada, localizada na avenida Bezerra de Menezes, na cidade de Fortaleza. Após a aplicação dos dois modelos, observou-se que o modelo proposto pelo HCM 2010, mais simples, apresentou erros percentuais maiores do que o VISSIM 9 quando se compararam os resultados das duas metodologias com as medidas coletadas em campo. Portanto, pode-se dizer que a metodologia proposta pelo HCM 2010 cabe em cenários que apresentem pouca complexidade com relação ao comportamento dos pedestres. Em contrapartida, o VISSIM 9, que utiliza o modelo comportamental de força social oferece maior flexibilidade para a representação de diferentes comportamentos dos pedestres, sendo, assim, a ferramenta mais adequada para a simulação de situações mais complexas, em que a diferença comportamental dos pedestres cause impacto nas medidas de desempenho analisadas.

**Palavras-chave:** Modelagem de pedestres. Simulação microscópica. Modelo de força social. Interseções semaforizadas. Medidas de desempenho. Nível de serviço.

## ABSTRACT

In recent years, there has been a gradual increase in the use of alternative means of transport (public transport, bicycle, walking), rather than individual motorized mode (car). This tendency meets the need of large cities to reduce the impacts caused by the excessive number of motor vehicles in circulation. Therefore, in this scenario, a deeper understanding of the behavior of pedestrians in a traffic network is essential. Pedestrian behavioral modeling tools come as important assets to evaluate the quality of the service offered to this mode of transportation. In this work, a case study was carried out to evaluate the efficiency of two of the most widespread models in the academic community for modeling pedestrians: the method proposed by HCM 2010, to determine the delay and level of service for signalised intersections and the microscopic simulation using the software VISSIM 9. A comparative analysis of the waiting times generated by these two models was carried out at a traffic signal intersection, located in Bezerra de Menezes avenue, in the city of Fortaleza. After the application of the two methodologies, it was observed that the model proposed by the HCM 2010 presented higher percentual errors than VISSIM when compared with the measurements collected in the field. Therefore, it can be said that the methodology proposed by the HCM 2010 fits into scenarios that present less complexity regarding the behavior of the pedestrians. On the other side, VISSIM 9, which uses the social force model, offers greater flexibility for the representation of different pedestrian behaviors and it is, therefore, the most appropriate tool for simulating more complex situations, in which the difference in pedestrian behavioral will impact the performance measures analyzed.

**Keywords:** Pedestrian modelling. Microscopic simulation. Social Force model. Signalized intersections. Performance Measures. Level of service.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Elementos viários de acordo com o HCM 2010.....	17
Figura 2 – Parâmetros de aceitação de brecha no VISSIM para uma área de conflito.....	22
Figura 3 – Modelo de regras de prioridade no VISSIM .....	23
Figura 4 – Gráfico para a determinação da brecha crítica para pedestres .....	24
Figura 5 – Etapas da metodologia proposta.....	27
Figura 6 – Interseção semaforizada utilizada para o estudo .....	28
Figura 7 – Vista aérea do trecho selecionado para o estudo.....	28
Figura 8 – Indicação das áreas de origem e destino de pedestres.....	30
Figura 9 – Etapas do processo de determinação do NS.....	32
Figura 10 – Etapas para a simulação da rede no VISSIM .....	36
Figura 11 – Imagem da codificação do trecho analisado no VISSIM.....	37
Figura 12 – Metodologia de contagem do tempo de travessia para cálculo da velocidade desejada.....	39
Figura 13 – Exemplo de formulário de contagem dos fluxos de pedestres entre as áreas.....	41
Figura 14 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A1).....	45
Figura 15 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A2).....	45
Figura 16 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A3).....	45
Figura 17 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A4).....	46
Figura 18 – Distribuição de frequências da velocidade desejada .....	47
Figura 19 – Curva normal acumulada da velocidade desejada.....	49
Figura 20 – Intervalo de confiança: proporção de pedestres violadores por travessia .....	50
Figura 21 – Brechas máximas e mínimas aceitas em cada travessia .....	51
Figura 22 – Determinação da brecha crítica .....	52
Figura 23 – Tempo de espera médio por tipo de pedestre .....	54
Figura 24 – Comparação entre os tempos de espera simulados e o coletado (calçada sul).....	60
Figura 25 – Comparação entre os tempos de espera simulados e coletado (calçada norte) .....	60
Figura 26 – Distribuição de frequência relativa dos tempos de espera (calçada sul) .....	62
Figura 27 – Distribuição de frequência relativa dos tempos de espera (calçada norte).....	63



## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Classificação dos modelos de simulação de pedestres .....	16
Quadro 2 – Áreas de concentração de pedestres na interseção analisada.....	30
Quadro 3 – Classes e tipos de pedestres escolhidos .....	31
Quadro 4 – Metodologia de coleta dos parâmetros .....	32
Quadro 5 – Distâncias para cálculo da velocidade desejada.....	39
Quadro 6 – Descrição dos cenários simulados .....	42
Tabela 1 – Determinação do nível de serviço para pedestres .....	13
Tabela 2 – Nível de serviço pelo método da qualidade de viagem.....	14
Tabela 3 – Nível de serviço pelo método de Gallin (2001) .....	15
Tabela 4 – Caracterização qualitativa de interseções semaforizadas.....	17
Tabela 5 – NS a partir do espaço médio disponível.....	18
Tabela 6 – Média e desvio padrão para a velocidade desejada.....	46
Tabela 7 – Resultado do teste de aderência qui-quadrado .....	48
Tabela 8 – Intervalo de confiança (95%) para a média e desvio padrão .....	48
Tabela 9 – Fluxos direcionais observados em campo.....	49
Tabela 10 – Resumo dos valores de brecha crítica por tipo de pedestre .....	52
Tabela 11 – Média e desvio padrão dos tempos de espera coletados .....	53
Tabela 12 – Intervalo de confiança para o tempo de espera médio .....	53
Tabela 13 – Cálculo da área disponível na faixa de pedestres.....	55
Tabela 14 – Comparação entre o atraso obtido pelo método do HCM e o tempo de espera observado .....	56
Tabela 15 – Nível de serviço das interseções analisadas.....	58
Tabela 16 – Tempo de espera nos cenários (média e desvio padrão).....	59
Tabela 17 – Intervalo de confiança para as médias dos tempos de espera dos respectivos cenários .....	59
Tabela 18 – Erro médio absoluto dos tempos de espera (calçada sul).....	61
Tabela 19 – Erro médio absoluto dos tempos de espera (calçada norte).....	61

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1.1 Contextualização</b> .....	10
<b>1.2 Questões motivadoras</b> .....	11
<b>1.3 Objetivos</b> .....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
<b>2.1 Fatores e medidas de desempenho</b> .....	13
<b>2.2 Modelos de simulação do comportamento de pedestres</b> .....	15
<i>2.2.1 Modelo do HCM 2010 para modelagem de pedestres</i> .....	16
<i>2.2.2 Modelo de Força Social</i> .....	18
<b>2.3 Modelagem de pedestres no VISSIM</b> .....	19
<i>2.3.1 Modelo de Força Social no VISSIM</i> .....	20
<i>2.3.1.1 Parâmetros para simulação de pedestres no VISSIM</i> .....	21
<i>2.3.2 Interação entre pedestres e veículos</i> .....	21
<i>2.3.2.1 Áreas de Conflito</i> .....	21
<i>2.3.2.2 Regra de Prioridade</i> .....	22
<i>2.3.3 Calibração e Validação</i> .....	24
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	27
<b>3.1 Revisão da literatura</b> .....	27
<b>3.2 Definição da área de estudo</b> .....	27
<b>3.3 Coleta dos dados</b> .....	29
<i>3.3.1 Características geométricas da via</i> .....	29
<i>3.3.2 Características físicas dos modos</i> .....	31
<i>3.3.3 Características operacionais da via</i> .....	31
<b>3.4 Aplicação do modelo do HCM 2010</b> .....	32
<i>3.4.1 Definição da área disponível na faixa de pedestres</i> .....	33
<i>3.4.2 Estimação do atraso</i> .....	35
<i>3.4.3 Determinação do score-NS da interseção</i> .....	35
<i>3.4.4 Determinação do NS</i> .....	36
<b>3.5 Simulação da interseção utilizando o VISSIM 9</b> .....	36
<i>3.5.1 Escolha do modelo comportamental</i> .....	37
<i>3.5.2 Construção da rede</i> .....	37
<i>3.5.2.1 Proporção dos tipos de pedestres</i> .....	38

3.5.2.2 <i>Velocidade desejada</i> .....	38
3.5.2.3 <i>Matriz origem-destino</i> .....	40
3.5.2.4 <i>Parâmetros do modelo de aceitação de brechas</i> .....	40
<b>3.5.3 <i>Definição dos cenários de simulação</i></b> .....	42
<b>3.5.4 <i>Simulação e análise dos dados</i></b> .....	42
<b>3.6 Comparação dos modelos</b> .....	43
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	44
<b>4.1 Dados de campo</b> .....	44
<i>4.1.1 Proporção dos tipos de pedestres</i> .....	44
<i>4.1.2 Velocidade desejada</i> .....	46
<i>4.1.3 Matriz origem-destino</i> .....	49
<i>4.1.4 Parâmetros do modelo de aceitação de brechas</i> .....	50
<i>4.1.5 Tempo de espera</i> .....	53
<b>4.2 Aplicação do modelo do HCM 2010</b> .....	54
<i>4.2.1 Determinação da área de circulação disponível na travessia</i> .....	54
<i>4.2.2 Cálculo do atraso</i> .....	56
<i>4.2.3 Determinação do nível de serviço da interseção</i> .....	57
<b>4.3 Simulação no VISSIM 9</b> .....	58
<i>4.3.1 Comparação dos cenários</i> .....	58
<b>4.4 Comparação dos modelos</b> .....	63
<b>5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES</b> .....	65
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	67
<b>ANEXO A – PARÂMETROS DO MODELO DE FORÇA SOCIAL UTILIZADOS NO VISSIM 9</b> .....	72
<b>ANEXO B – PARÂMETROS GLOBAIS DO MODELO COMPORTAMENTAL DE PEDESTRES NO VISSIM 9</b> .....	73

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Nos últimos anos, tem-se observado um gradual crescimento no uso de meios alternativos de transporte (transporte público, bicicleta, transporte a pé), em detrimento do modo motorizado individual (carro). Essa tendência vem ao encontro da necessidade das grandes cidades em reduzir os impactos causados pelo número excessivo de veículos automotores em circulação, como congestionamentos das vias, poluição, tanto sonora quanto ambiental.

Um ator importante no processo de planejamento de um sistema de transportes mais racional é o pedestre. Como afirmam Friis e Svensson (2013), a maior parte das viagens começam e terminam a pé, independente do meio de transporte utilizado. Isso faz com que as viagens realizadas a pé sejam de grande relevância em uma rede de tráfego.

Portanto, é essencial um conhecimento mais aprofundado acerca do comportamento dos pedestres em uma rede de tráfego, de modo que o processo de tomada de decisão em transportes abranja os diversos modais existentes, respeitando as características e necessidades específicas de cada um.

Os modelos matemáticos e computacionais apresentam-se como ferramentas de auxílio a esse processo de tomada de decisão. Com o auxílio desses modelos, é possível simular os impactos de intervenções em infraestruturas já existentes, ou ainda verificar como a implementação de novos cenários irá afetar o funcionamento da rede viária.

Dentre os modelos matemáticos para avaliação da infraestrutura viária destinada a pedestres, o HCM (*Highway Research Manual*) (TRB, 2010) traz técnicas de avaliação do nível de serviço de diversos modos e elementos viários, como pedestres em travessias semaforizadas.

Outra poderosa ferramenta de modelagem de pedestres em uma rede de tráfego são os simuladores computacionais. Um dos microssimuladores mais utilizados pela comunidade técnica e acadêmica é o VISSIM (*Verkehr in Städten SIMulation*) (PTV, 2016), o qual encontra-se em sua nona versão. O VISSIM 9 é uma ferramenta de simulação microscópica, baseada no comportamento, para modelar o tráfego em vias urbanas e rurais, tanto dos meios de transporte privados (carro, caminhão, bicicleta, pedestres) quanto meios públicos (ônibus, trem, metrô) (PTV, 2016).

Até meados da década de 1980, a simulação de pedestres e os impactos de multidões em uma rede de tráfego foram analisados basicamente de forma qualitativa, devido,

principalmente, a uma defasagem computacional, já que, diferentemente de veículos, que se comportam de forma unidimensional, a simulação de pedestres acontece em um ambiente bidimensional, ou até mesmo tridimensional, exigindo um poder computacional inviável para a época (JOHANSSON; KRETZ, 2012).

A partir dos anos 1990, com a evolução da capacidade de processamento dos computadores, além de maior robustez dessas máquinas, a análise quantitativa da dinâmica de pedestres em redes de simulação de tráfego tornou-se possível. Isso, aliado ao crescente interesse dos analistas de tráfego na consideração de meios de transporte não-motorizados para o planejamento urbano, criou a necessidade de modelos cada vez mais precisos na representação do comportamento desses meios, mais especificamente de pedestres.

## 1.2 Questões motivadoras

Uma etapa importante quando se deseja modelar o comportamento de pedestres em redes de tráfego é a escolha do modelo mais adequado a simular a realidade analisada. Para isso, é importante conhecer as principais vantagens e desvantagens de cada metodologia, as quais são função dos objetivos de análise. Dito isso, surge o questionamento: existem diferenças entre a modelagem de pedestres utilizando o método do HCM 2010 (TRB, 2010) e a microsimulação utilizando o *software* VISSIM 9 (PTV, 2016)? Quais são as vantagens e desvantagens observadas em cada uma das abordagens?

Além disso, qual a melhor medida de desempenho a ser utilizada para realizar a comparação entre os dois modelos?

Finalmente, qual a melhor metodologia de coleta dos dados a serem utilizados para a realização da análise?

## 1.3 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é comparar as metodologias propostas pelo HCM 2010 e pelo VISSIM 9 para modelagem de pedestres em travessias de interseções semaforizadas. De forma a atingir esse objetivo, surgem alguns objetivos específicos, listados a seguir.

- Definir quais fatores e/ou medidas de desempenho serão utilizadas para a comparação dos modelos;

- Estabelecer uma metodologia de coleta dos dados de entrada dos modelos e das medidas de desempenho definidas;
- Aplicar a metodologia do HCM para a avaliação do nível de serviço para pedestres em interseções semaforizadas;
- Codificar o trecho de estudo no *software* VISSIM 9;
- Simular e comparar diferentes cenários no VISSIM 9;
- Fazer uma análise comparativa das duas metodologias aplicadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fatores e medidas de desempenho

A modelagem do comportamento de pedestres em uma rede urbana de tráfego desponta como uma ferramenta de auxílio ao planejamento da infraestrutura viária (calçadas e vias) que será utilizada por pedestres e veículos. Além disso, possibilita uma melhor compreensão das interações multimodais, a partir de fatores e medidas de desempenho (MD) de avaliação quantitativa e qualitativa dessas interações. Os fatores são as variáveis (ex.: largura da calçada e demanda de pedestres) que afetam as MD (ex.: densidade e atraso) do sistema em análise.

A seleção das MD, e respectivos fatores, deve estar alinhada com o objetivo do estudo, a partir da determinação dos usuários fins (transporte motorizado e/ou não motorizado) (TRB, 2010), do tipo de estrutura viária (interseções semaforizadas, interseções não-semaforizadas, rotatórias, etc.) (CHIN *et al.*, 1999) e do nível de análise (estratégico, tático ou operacional) (BANKS, 1998).

Do ponto de vista quantitativo, o *Highway Capacity Manual* (HCM) (TRB, 2010) propõe uma metodologia de avaliação do nível de serviço de vias arteriais, com relação a pedestres. Isso se dá a partir da combinação matemática de MD (ex.: atraso, densidade) e fatores (ex.: largura e comprimento da faixa de pedestres) para a obtenção de um escore-NS. O nível de serviço é, então, determinado a partir desse escore, de acordo com a Tabela 1. A associação entre nível de serviço e escore-NS foi feita a partir de uma pesquisa da percepção dos usuários da qualidade do serviço do elemento viário.

Tabela 1 – Determinação do nível de serviço para pedestres

Nível de serviço	Escore-NS
A	$\leq 2,00$
B	$> 2,00 - \leq 2,75$
C	$> 2,75 - \leq 3,50$
D	$> 3,50 - \leq 4,25$
E	$> 4,25 - \leq 5,00$
F	$> 5,50$

Fonte: Adaptado de TRB (2010)

Alguns autores optaram por realizar uma análise qualitativa da infraestrutura disponível para os pedestres. É o caso do método proposto por Jaskiewics (2000), baseada na qualidade da viagem na via, e do método desenvolvido por Gallin (2001), que utiliza fatores relativos a características geométricas, à localização e aos usuários da rede para a determinação do nível de serviço.

O primeiro método avalia nove medidas de desempenho relacionadas a aspectos estéticos, de segurança e de facilidade de movimentação. Os aspectos avaliados são: enclausuramento, complexidade da rota, arquitetura da região, complexidade do ambiente, existência de beirais e toldos, separação entre pedestres e veículos, arborização, transição entre espaço público e privado e aspectos físicos da via, como configuração da calçada, velocidade dos veículos e iluminação. A cada um desses itens são atribuídas notas que variam em uma escala de 1, muito ruim, a 5, excelente. O nível de serviço é definido a partir da Tabela 2.

Tabela 2 – Nível de serviço pelo método da qualidade de viagem

<b>Nível de serviço</b>	<b>Nota</b>	<b>Descrição</b>
A	4,0 - 5,0	Muito agradável
B	3,4 - 3,9	Confortável
C	2,8 - 3,3	Aceitável
D	2,2 - 2,7	Desconfortável
E	1,6 - 2,1	Desagradável
F	1 - 1,5	Muito desagradável

Fonte: adaptado de Jaskiewics (2000)

O método de Gallin (2001), atribui uma pontuação de 0 a 4 e um peso (2, 3, 4 ou 5) para cada um dos fatores analisados, que são os seguintes: largura do trecho, qualidade do piso, obstruções, oportunidades para realizar travessias, instrumentos de auxílio ao pedestre (sinalização, rampas, piso tátil, etc), facilidade de acesso, qualidade da rota, conflito com veículos, volume de pedestres, tipos de pedestres e segurança. A cada um desses fatores é atribuída uma pontuação, a qual é multiplicada pelo respectivo peso. Obtém-se, então, um escore para cada fator. Soma-se o escore de todos os fatores avaliados para a determinação do escore final da via, o qual é utilizado para a determinação do nível de serviço, de acordo com a Tabela 3.



Tabela 3 – Nível de serviço pelo método de Gallin (2001)

Nível de serviço	Escore total
A	> 132
B	101 - 131
C	69 - 100
D	37 - 68
E	> 36

Fonte: adaptado de Gallin (2001)

A literatura nacional também apresenta estudos de MD e fatores para análise do nível de serviço para pedestres em vias urbanas. Dentre eles, vale destacar o trabalho de Ferreira e Sanches (2001), que avaliaram medidas e fatores relacionados a atratividade visual, conforto e segurança. Ariotti (2006), Werberich *et al.* (2012) e Gualberto e Barbosa (2016) avaliaram o nível de serviço em travessias semaforizadas, utilizando como MD o tempo de espera e a brecha máxima; tempo de viagem e brecha aproveitada; e velocidade de caminhada, respectivamente. Já em relação a travessias não semaforizadas, destacam-se os trabalhos Mello (2008) e Jacobsen e Cibys (2011).

## 2.2 Modelos de simulação do comportamento de pedestres

Existem diferentes abordagens para a modelagem do comportamento de pedestres em vias urbanas. Muitos dos estudos realizados, utilizam uma abordagem empírica para a análise do comportamento de pedestres, em sua maioria baseados em análise de regressão (HELBING, 1998), como observado em Zhou *et al.* (2009), Kadali e Vedagiri (2013) e Liu e Tung (2014). Entretanto, de acordo com Helbing e Johansson (2013), esse tipo de modelagem pode não representar de forma bem apurada fluxos de pedestres em ambientes mais complexos, como um cenário de evacuação, por exemplo. Daí, surgiu a necessidade da elaboração de modelos computacionais mais complexos, como os modelos autômatos celulares (NISHINARI *et al.*, 2004; ILTANEN, 2012), os modelos *agent-based* (MUSSE *et al.*, 1998; O’SULLIVAN; HAKLAY, 2000; CROOKS; HEPPESTALL, 2012) e o modelo de força social (HELBING; MÖLNAR, 1995; HELBING; JOHANSSON, 2013).

Uma forma de classificar esses modelos é quanto ao grau de detalhamento desejado na simulação. Dessa forma, eles podem ser classificados em microscópicos, macroscópicos ou mesoscópicos (JOHANSSON; KRETZ, 2012). Enquanto na modelagem macroscópica, a interação entre os pedestres é representada de forma agregada, ou seja, a multidão é

caracterizada a partir de propriedades como velocidade, densidade ou fluidez (DEUSDADO *et al*, 2008), na abordagem microscópica cada indivíduo da simulação possui características próprias, influenciando, de forma individual, nos resultados obtidos. Finalmente, os modelos mesoscópicos situam-se em uma categoria intermediária em relação aos outros dois, onde os pedestres são representados individualmente, porém as interações entre eles são consideradas de forma agregada (JOHANSSON; KRETZ, 2012).

É possível, ainda, classificar os modelos de representação do comportamento de pedestres em relação a outros aspectos. O Quadro 1 apresenta um resumo desses critérios e respectivas classificações.

Quadro 1 – Classificação dos modelos de simulação de pedestres

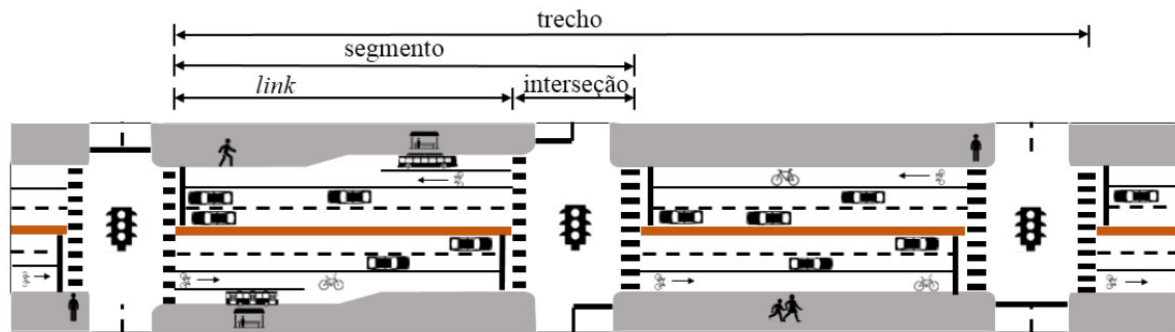
CRITÉRIO	CLASSIFICAÇÃO
Quanto à forma na qual o simulador rastreia os pedestres na rede	<b>Time-based:</b> o simulador rastreia os pedestres a cada intervalo de tempo pré-determinado. <b>Event-based:</b> o status e a localização dos pedestres são atualizados somente quando acontece algum evento (quando o semáforo muda, por exemplo).
Quanto ao uso de elementos estocásticos	<b>Determinístico:</b> nenhum elemento do modelo está sujeito a aleatoriedade. <b>Estocástico:</b> o modelo inclui um ou mais elementos estocásticos, ou seja, está sujeito a variáveis aleatórias.
Quanto ao objetivo da simulação	<b>Normativo:</b> busca otimizar a rede para um objetivo específico (diminuir o tempo de viagem, por exemplo).] <b>Descritivo:</b> busca descrever como os pedestres irão se comportar dada uma determinada situação.
Quanto ao modo de alocação dos pedestres na rede	<b>Estático:</b> os dados de entrada do modelo não variam com o tempo ou com as condições da rede. <b>Dinâmico:</b> os elementos da rede variam em função do tempo.

Fonte: adaptado de Elefteriadou (2014)

### 2.2.1 Modelo do HCM 2010 para modelagem de pedestres

O HCM 2010 (TRB, 2010) utiliza uma abordagem macroscópica para modelar o nível de serviço de pedestres em vias urbanas arteriais. A análise do NS é realizada dividindo-se o corredor urbano em elementos viários: interseção, *link*, segmento e trecho. A Figura 1 ilustra cada um desses elementos.

Figura 1 – Elementos viários de acordo com o HCM 2010



Fonte: Expósito Martin (2017)

O NS de interseções semaforizadas, de acordo com o HCM 2010 (TRB, 2010) é função das seguintes MD: espaço disponível na área de espera para a travessia ( $m^2/ped$ ), espaço disponível na faixa de pedestres ( $m^2/ped$ ), atraso e escore-NS. No caso de interseções não semaforizadas, apenas o atraso médio por pedestre ( $s/ped$ ) é levado em consideração para a determinação do NS.

O espaço disponível na área de espera para a travessia e na faixa de pedestres fornecem uma caracterização qualitativa da interseção, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização qualitativa de interseções semaforizadas

Espaço disponível ( $m^2/ped$ )	Descrição
$> 5,50$	Possibilidade de caminhar pela rota desejada sem necessidade de alterar o caminho
$> 3,70 - \leq 5,50$	Necessidade ocasional de alteração do caminho para evitar conflitos
$> 2,20 - \leq 3,70$	Necessidade frequente de alteração do caminho para evitar conflitos
$> 1,40 - \leq 2,20$	Restrição de velocidade e da possibilidade de ultrapassar pedestres mais lentos
$> 0,75 - \leq 1,40$	Restrição de velocidade e possibilidade remota de ultrapassar pedestres mais lentos
$\leq 0,75$	Restrição severa de velocidade e frequente contato físico com outros pedestres

Fonte: adaptado de TRB (2010)

Já o atraso representa o tempo médio que um pedestre aguarda até conseguir realizar a travessia. É função do tempo de ciclo semaforico e do tempo de verde efetivo disponível para realização da travessia. Finalmente, o escore-NS indica uma percepção geral, do ponto de vista

do usuário, da qualidade do serviço oferecido. Ele é função de características geométricas da travessia, como o número de faixas e possibilidade de conversão dos veículos à direita, além da demanda e velocidade dos veículos que trafegam na via, bem como do próprio atraso.

O NS do *link* é determinado a partir da combinação, de acordo com a Tabela 5, do espaço médio disponível para os pedestres ( $m^2/ped$ ) com o escore-NS do *link*, o qual é função de características geométricas da via, como largura da calçada, existência de separação entre a calçada e as faixas de tráfego de veículos, além do volume e velocidade dos veículos na via.

Tabela 5 – NS a partir do espaço médio disponível

Escore-NS	NS pelo espaço médio disponível para o pedestre ( $m^2/ped$ )					
	> 5,50	> 3,70 - ≤ 5,50	> 2,20 - ≤ 3,70	> 1,40 - ≤ 2,20	> 0,75 - ≤ 1,40	≤ 0,75
≤ 2,00	A	B	C	D	E	F
> 2,00 - ≤ 2,75	B	B	C	D	E	F
> 2,75 - ≤ 3,50	C	C	C	D	E	F
> 3,50 - ≤ 4,25	D	D	D	D	E	F
> 4,25 - ≤ 5,00	E	E	E	E	E	F
> 5,00	F	F	F	F	F	F

Fonte: adaptado de TRB (2010)

Assim como o NS do *link*, o NS de serviço do segmento é obtido através da Tabela 5, associando-se o espaço médio disponível para o pedestre e o escore-NS do segmento, o qual é determinado pela combinação matemática do escore-NS do *link* e da interseção.

Finalmente, o escore-NS do trecho é determinado a partir da média dos escores-NS dos seus segmentos, ponderada por seus respectivos comprimentos. Obtém-se, então, o NS do trecho, cruzando-se seu escore-NS com o espaço médio disponível para o pedestre, de acordo com a Tabela 5.

### 2.2.2 Modelo de Força Social

De acordo com Helbing e Molnár (1995), os pedestres estão sujeitos a situações e estímulos corriqueiros. Apesar do comportamento humano parecer, na maioria dos casos, imprevisível, normalmente pedestres em um contexto de tráfego, quando confrontados com situações corriqueiras, reagem de maneira “automática”, preferencialmente, baseada em experiências anteriores. Isso é resultado de um ciclo de aprendizagem baseado em um processo de tentativa e erro (HELBING; JOHANSSON, 2013). A partir dessa premissa, Helbing e

Mölnar (1995) acreditaram que fosse possível representar a dinâmica de comportamento de pedestres a partir de uma equação de movimento. Essa equação formula que uma variação com o tempo ( $\frac{dw}{dt}$ ) da velocidade desejada ( $w_\alpha$ ) de um pedestre  $\alpha$  é descrita por um vetor  $F_\alpha(t)$ , que pode ser interpretado como uma força social. Além disso, para levar em conta uma variação não sistematizada do comportamento dos pedestres, foi adicionado um termo referente a flutuações individuais. O modelo de força social é definido pela Equação 1.

$$\frac{dw_\alpha}{dt} = F_\alpha(t) + \text{flutuações} \quad (1)$$

Nesse modelo, o termo  $F_\alpha(t)$ , ou seja, a força que gera o ímpeto de movimento do pedestre, é composto por três componentes:

- a) **uma força de movimento:** o desejo do pedestre em ir a um determinado destino, com uma determinada velocidade;
- b) **forças de repulsão:** efeitos da repulsa causada por outros pedestres e obstáculos.
- c) **forças de atração:** os pedestres são atraídos por outras pessoas, como amigos, por exemplo, além de objetos, como vitrines de lojas.

Helbing e Johansson (2013) utilizaram filmagens de pedestres em diferentes ambientes para calibrar os parâmetros do modelo de força social. Eles rastream a movimentação em duas dimensões de cada pedestre e compararam com a movimentação gerada pelo modelo. Assim, eles modificaram os parâmetros do modelo até que o erro relativo entre a trajetória gerada pela simulação e a trajetória observada nos vídeos fosse minimizado.

### 2.3 Modelagem de pedestres no VISSIM

O VISSIM (PTV, 2016) é um software de microssimulação de tráfego desenvolvido pela empresa alemã PTV (*Planung, Transportund Verkehr*). Ele baseia-se em diversos modelos matemáticos para representar o comportamento de veículos particulares (carros, motos, caminhões, etc.), do transporte público (ônibus, trem, metrô), além do transporte não-motorizado (bicicletas e pedestres).

Dentre os modelos matemáticos incorporados no VISSIM, pode-se citar o modelo de *car following* de Wiedemann (WIEDEMANN; REITER, 1992), que representa os movimentos longitudinais da corrente de tráfego (LACERDA; CASTRO NETO, 2014), além dos modelos de mudança de faixa, de aceitação de brechas e de escolha de rotas, que definem

o comportamento dos veículos na rede. Mais especificamente em relação ao comportamento de pedestres, em 2008, o VISSIM incorporou o modelo de forças sociais, baseado no trabalho de Helbing e Mölnar (1995). O VISSIM foi a primeira ferramenta profissional a incorporar a simulação de veículos e pedestres simultaneamente, bem como a zona de interação entre eles (BÖNISCH; KRETZ, 2009).

O comportamento de pedestres no VISSIM pode ser representado de duas formas distintas. Uma delas é utilizando o modelo de *car following* de Wiedemann, no qual os pedestres agem de forma análoga aos veículos. Nesse modelo, um veículo-seguidor reage a estímulos do veículo-líder. Portanto, os pedestres não se movem livremente, mas ao longo de *links* criados na rede (PTV, 2016). Essa abordagem é adequada quando não há a necessidade de uma representação mais complexa e detalhada do comportamento de pedestres (FRIIS; SVENSSON, 2013). Um exemplo dessa situação, de acordo com Friis e Svensson (2013), é a simulação de um cruzamento de pedestres em uma via, na qual o objetivo é apenas verificar o efeito da interrupção causada pelos pedestres.

Em situações que demandem uma análise mais detalhada e realista do comportamento dos pedestres, a abordagem pelo modelo de Wiedemann torna-se ineficiente. Para esse tipo de situação, o VISSIM dispõe de um modelo comportamental exclusivo para representar o modo como os pedestres agem e se movimentam, através do módulo Viswalk. Esse modelo é baseado no modelo de Força Social, proposto por Helbing e Mölnar (1995), cujo princípio básico é a modelagem do ímpeto de movimentação dos pedestres de forma análoga à mecânica Newtoniana (PTV, 2016). De forma simplificada, um parâmetro de aceleração resulta de um somatório de forças sociais, psicológicas e físicas, que representam o desejo dos pedestres em atingir um determinado destino, além da influência de outros pedestres e dos obstáculos presentes no ambiente.

### ***2.3.1 Modelo de Força Social no VISSIM***

O modelo de força social implementado no VISSIM é uma adaptação do modelo original de Helbing e Mölnar (1995). Nele, é considerado uma força exercida pelo desejo de movimento do pedestre, além da força de repulsa causada pelos pedestres adjacentes e pelos obstáculos. Entretanto, o VISSIM desconsidera o efeito de atração causado por outros pedestres e objetos, mencionado no modelo original.

No VISSIM, o usuário pode categorizar os pedestres em tipos (homens e mulheres, por exemplo) e classes (adultos e crianças, por exemplo). Cada tipo de pedestre apresenta

características e comportamentos similares. Para cada tipo de pedestre, definem-se uma série de parâmetros referente ao modelo de força social, além de parâmetros globais.

#### *2.3.1.1 Parâmetros para simulação de pedestres no VISSIM*

Como pode ser observado em PTV (2016), os parâmetros que definem o comportamento dos pedestres no VISSIM dividem-se em duas categorias:

- Parâmetros do modelo original de força social;
- Parâmetros globais.

Ao todo, são 12 parâmetros referentes ao modelo original de força social e oito parâmetros globais. PTV (2016) apresenta uma descrição de cada um dos parâmetros considerados no modelo. Esses parâmetros estão resumidos no Anexo A e no Anexo B, onde pode ser encontrada uma breve descrição sobre cada um, bem como seus valores *default* do programa.

#### *2.3.2 Interação entre pedestres e veículos*

Em zonas em que há conflito entre fluxos de pedestres e veículos (uma faixa de pedestres em uma interseção não-sinalizada, por exemplo) devem existir certas regras a respeito de quem deve ser dada a prioridade de passagem (FRIIS; SVENSSON, 2013). Um parâmetro importante nesse tipo de situação é a brecha crítica. De acordo com Fitzpatrick *et al.* (2006 apud JACOBSEN; CYBIS, 2011) “a brecha crítica é um parâmetro da travessia, que pode ser interpretado como o tempo mínimo aceito pelos pedestres para atravessar com segurança”.

No VISSIM, existem dois submodelos de aceitação de brechas: o modelo de regra de prioridades e o modelo de área de conflito, os mesmos utilizados para a modelagem de veículos.

##### *2.3.2.1 Áreas de Conflito*

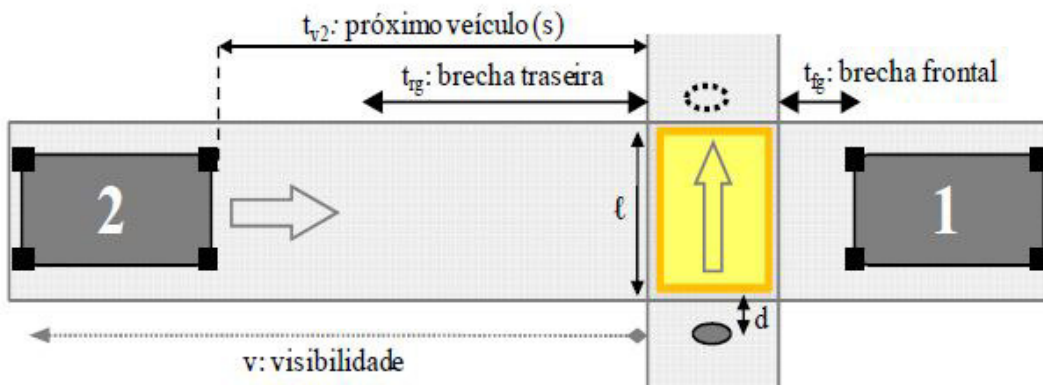
De acordo com Araújo (2016), o modelo de área de conflito no VISSIM possui sete parâmetros a serem ajustados pelo usuário. São eles: distância de visibilidade, brecha frontal, brecha traseira, fator distância de segurança, distância adicional de parada, um parâmetro que representa a porcentagem de motoristas do fluxo principal que evita obstruir a área de conflito e uma opção que, quando ativada, faz com que os veículos do fluxo secundário considerem

também aqueles da aproximação principal que pretendem mudar para a faixa onde o conflito ocorre.

Bönisch e Kretz (2009) utilizaram o modelo de *área de conflito* para analisar o comportamento do tempo de viagem de pedestres em uma interseção não-semaforizada, com o aumento do fluxo de veículos.

Jacobsen e Cybis (2011) utilizaram o modelo de *área de conflito* para representar a aceitação de brechas de pedestres em uma interseção não-semaforizada. Eles apresentaram uma metodologia de coleta para quatro parâmetros do modelo de AC: brecha frontal, brecha traseira, visibilidade e a distância adicional de parada. A Figura 2 ilustra os parâmetros de aceitação de brecha do VISSIM para a área de conflito.

Figura 2 – Parâmetros de aceitação de brecha no VISSIM para uma área de conflito



Fonte: Jacobsen e Cybis (2011)

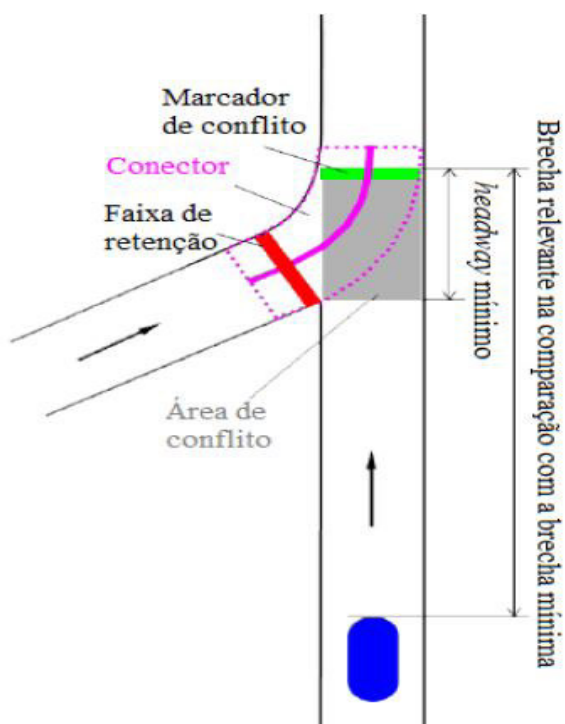
Jacobsen e Cybis (2011) definem o parâmetro de brecha frontal como o “intervalo mínimo entre a saída do veículo da área de conflitos e o início da travessia”. Já a brecha traseira é definida como “o intervalo mínimo aceitável entre a saída do pedestre, após concluir a travessia, e a chegada do próximo veículo”. Além disso, definem a distância de visibilidade ( $v$ ) como “a distância a partir da qual o pedestre identifica o veículo”. Finalmente, a distância adicional de parada ( $d$ ) é “a distância entre a área de espera e a área de conflito”.

### 2.3.2.2 Regra de Prioridade

O modelo de *regra de prioridade* no VISSIM consiste de dois elementos: uma barra vermelha, uma linha de parada na qual o fluxo de tráfego deve esperar, e uma barra verde, marcadora de conflito (PTV, 2016). Essa situação pode ser observada na Figura 3.



Figura 3 – Modelo de regras de prioridade no VISSIM



Fonte: Araújo (2016)

O modelo de *regra de prioridade* pode ser considerado mais simples do que o modelo de área de conflito, já que ele possui apenas três parâmetros a serem considerados: a brecha crítica (*minimum gap time*), o *headway* mínimo e a velocidade máxima dos veículos na qual os pedestres irão avaliar a brecha.

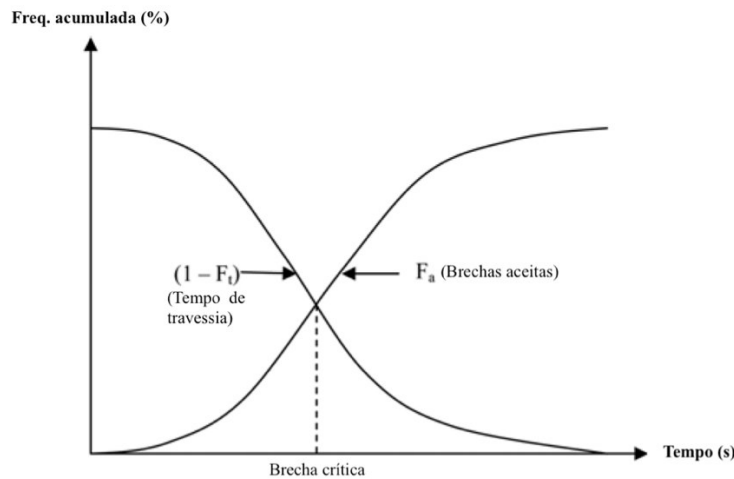
Segundo Araújo (2016), o *headway* mínimo é a distância mínima, entre o marcador de conflito (Figura 3) e o veículo mais próximo antes dele, para que seja permitida a passagem do veículo da aproximação secundária”. Já a brecha crítica “é o mínimo intervalo de tempo, entre o marcador de conflito e o veículo da via principal mais próximo que está trafegando em direção a ele, para que a brecha seja aceita”.

Suh *et al.* (2013) utilizaram o modelo de regras de prioridade em uma interseção semaforizada para representar a parcela de pedestres que não respeitavam a sinalização na área de conflito. Os parâmetros do modelo (brecha crítica e *headway* mínimo) foram determinados baseado em observações de campo e para cada uma das quatro faixas de tráfego observadas.

Chandra *et al.* (2014) propuseram uma metodologia de determinação da brecha crítica para pedestres em interseções semaforizadas. De acordo com o modelo proposto, a brecha crítica é definida pela interseção da curva de frequência acumulada das brechas aceitas

pelos pedestres com a curva inversa dos tempos de travessias dos pedestres que aceitaram essas brechas, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Gráfico para a determinação da brecha crítica para pedestres



Fonte: adaptado de Chandra *et al.* (2014)

### 2.3.3 Calibração e Validação

A calibração de um modelo consiste em ajustar determinados parâmetros até que esse modelo produza resultados compatíveis com os valores de medidas-alvo, coletadas em campo. A etapa de calibração é indispensável em um processo de simulação e impacta diretamente na qualidade dos resultados e no processo de tomada de decisão. Barceló e Casas (2004) definem o processo de calibração como a busca dos valores de parâmetros que irão produzir um modelo válido para a realidade que se busca representar. Ainda segundo Barceló e Casas (2004), a validação pode ser definida como um processo iterativo de calibração dos parâmetros do modelo, comparação do modelo com a realidade estudada e o uso das diferenças observadas entre modelo e realidade para melhorar o modelo até que se julgue que ele está aceitável.

Existem diversos esforços na literatura na tentativa de propor metodologias de calibração para os mais diversos microsimuladores de tráfego. No Brasil, destacam-se os trabalhos de Araújo *et al.* (2003), Colella *et al.* (2004), Medeiros *et al.* (2013), Ayala (2013), Santos (2013), Lacerda e Castro Neto (2014) e Lacerda (2016), dentre outros.

Quanto à calibração de modelos de representação do comportamento de pedestres, trabalhos nesse sentido são mais escassos na literatura. Mesmo assim, é possível destacar alguns trabalhos nessa área.

Expósito Martín (2017) propõe uma metodologia de cinco etapas no processo de calibração e validação de modelos de microssimulação de tráfego: determinação das medidas-alvo, seleção dos parâmetros a serem calibrados, uso de algoritmos de calibração, escolha das medidas de ajuste e validação do modelo calibrado.

As medidas alvo são valores, coletadas em campo, os quais deseja-se atingir no processo de calibração. A escolha de uma boa medida alvo é de fundamental importância para um processo de calibração bem-sucedido, visto que a medida alvo escolhida deve ter forte relação com o parâmetro a ser calibrado. As medidas alvo podem ou não ser medidas de desempenho do tráfego, como tempo de viagem ou atraso, por exemplo.

A seleção de parâmetros a serem calibrados pode ser feita segundo técnicas estatísticas, a partir de uma análise de sensibilidade ou a partir de revisão da literatura (EXPÓSITO MARTIN, 2017). Hollander e Liu (2008) sugerem que os parâmetros do modelo sejam divididos em cinco grupos: (i) parâmetros com valores relativamente fáceis de serem medidos diretamente em campo; (ii) parâmetros com valores que podem ser utilizados de pesquisas anteriores; (iii) parâmetros que não influenciam nas medidas de desempenho; (iv) parâmetros que são inapropriados devido à natureza dos dados de entrada; e (v) parâmetros que devem ser calibrados.

Kretz *et al.* (2008) calibraram o modelo de força social para representar o fluxo de pedestres em áreas muito estreitas. Eles calibraram e validaram o modelo comparando o fluxo de pedestres em áreas com diferentes larguras com o fluxo obtido em experimentos prévios do mesmo tipo.

Johansson *et al.* (2007) utilizaram um método híbrido de calibração. Eles usaram dados de movimento de pedestres em simulações microscópicas e compararam com trajetória de pedestres rastreada através de filmagens. Os parâmetros foram sendo ajustados até que o erro entre a trajetória simulada e a trajetória observada nas filmagens fosse minimizado.

Johansson e Helbing (2010) também usaram uma metodologia híbrida de calibração para investigar as características de comportamento de pedestres em grupo. Eles utilizaram algoritmos genéticos para ajustar o ângulo e a distância de influência dos outros pedestres.

Outro esforço de calibração do modelo de força social pode ser observado no trabalho de Ko *et al.* (2013). Foi usada uma abordagem estatística ao ajustar o valor dos

parâmetros até que as velocidades de caminhada observadas em campo fossem compatíveis com as velocidades observadas no modelo.

Lagervall e Samuelsson (2014) identificaram quais parâmetros do modelo de força social no VISSIM tiveram maior impacto na análise da velocidade de caminhada e velocidade desejada para diferentes fluxos de pedestres a partir de uma análise de sensibilidade. Eles concluíram que os parâmetros  $\tau$ ,  $B_{soc\_isotropic}$  e  $A_{soc\_mean}$  foram os que mais tiveram impacto na velocidade de caminhada média simulada.

Os algoritmos de otimização para calibração têm sido intensamente utilizados pela comunidade científica para otimizar o processo de calibração de modelos microscópicos. Os tipos de algoritmos de calibração mais utilizados são os Algoritmos Genéticos (AG) e o *Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation* (SPSA) (LIBDE *et al.*, 2016). Segundo Libde *et al.* (2016), a escolha do melhor algoritmo varia com a natureza da problemática em estudo.

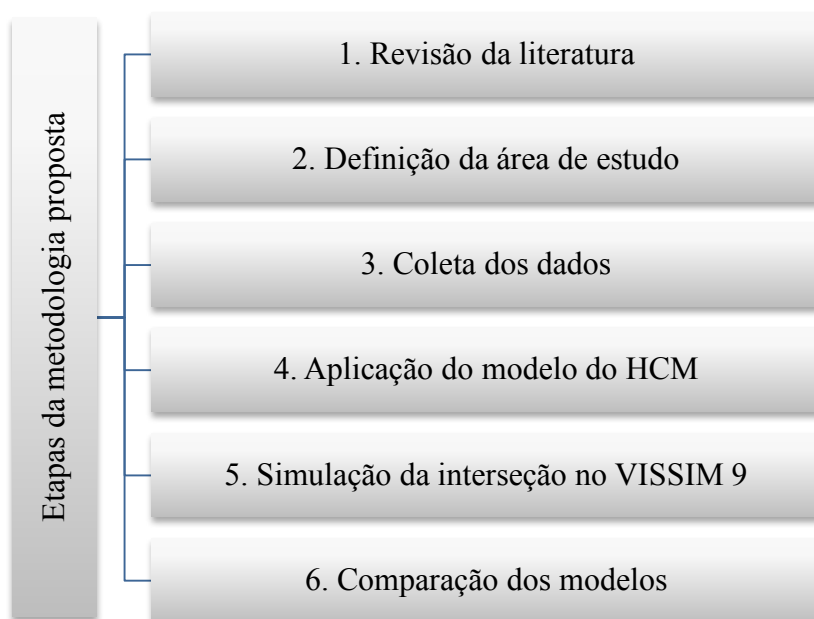
As medidas de ajuste são utilizadas para comparar os resultados de saída do simulador com os dados obtidos em campo. Algumas medidas de ajuste observadas na literatura são: erro médio (EM) (TOLEDO; KOUTSOPOULOS, 2004); erro médio normalizado (EMN) (CHU *et al.*, 2004); erro médio absoluto (EMA) (MANJUNATHA *et al.*, 2013); erro médio absoluto normalizado (EMAN); erro quadrático (EQ), raiz erro quadrático médio (REQM) e raiz erro quadrático médio normalizado (REQMN) (TOLEDO *et al.*, 2003); erro percentual absoluto médio (EPAM) (LACERDA; CASTRO NETO, 2014).

Finalmente, a etapa de validação consiste em avaliar o modelo que resultou no menor erro de calibração, utilizando outra amostra. Hollander e Liu (2008) sugerem uma validação baseada em uma inspeção visual do modelo buscando encontrar algum comportamento não usual. Outros autores (PARK; QUI, 2005; MANJUNATHA *et al.*, 2013; LACERDA; CASTRO NETO, 2014) utilizaram uma abordagem quantitativa, como a utilização das medidas de ajuste, baseadas em análises estatísticas.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentadas as etapas metodológicas para atingir os objetivos propostos nesse estudo. A Figura 5 resume as etapas do método proposto.

Figura 5 – Etapas da metodologia proposta



Fonte: elaborada pelo autor (2017)

#### 3.1 Revisão da literatura

O ponto de partida para a realização desse estudo foi a revisão da bibliografia existente na área de pedestres, principalmente os modelos existentes para simulação comportamental desse modo de transporte. Dedicou-se especial atenção à modelagem de pedestres no *software* VISSIM 9. Isso foi feito a partir de leitura do manual da desenvolvedora do programa, bem como através de tutoriais na internet. Vale ressaltar que a revisão da literatura foi uma etapa metodológica que estendeu-se até o final da análise.

#### 3.2 Definição da área de estudo

A área de estudo escolhida deve representar as características do sistema de tráfego a ser avaliado (COELHO, 2009). Pensando nisso, buscou-se escolher para a realização desta pesquisa uma área com um fluxo intenso de pedestres e que apresentasse variedade com relação

aos tipos de pedestre (ex.: gênero e idade). Além disso, um fator preponderante para a escolha foi a existência de zonas de conflito entre pedestres e veículos, em interseções semaforizadas.

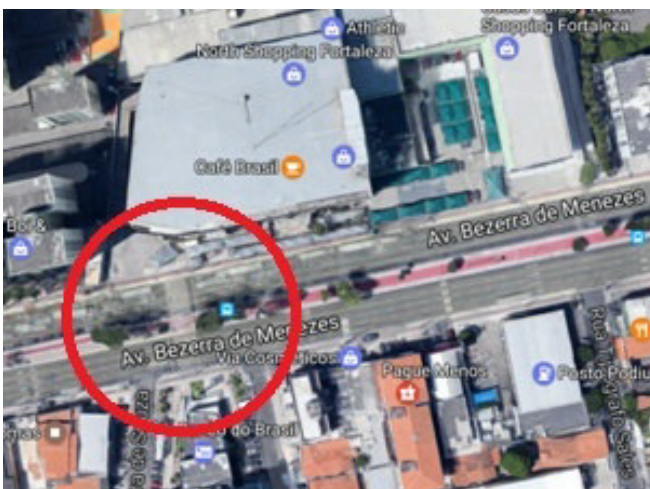
Com base nesses requisitos, escolheu-se uma interseção semaforizada do corredor multimodal da Avenida Bezerra de Menezes (Figura 6 e Figura 7), na cidade de Fortaleza, entre as ruas Moreira de Souza, a oeste, e Professor Raimundo Vitor, a leste. A presença de um shopping center, no limite norte da interseção e de um banco no limite sul contribuiu para essa escolha, já que nessa região há um intenso fluxo de pedestres.

Figura 6 – Interseção semaforizada utilizada para o estudo



Fonte: Fabiane de Paula/Diário do Nordeste (2016)

Figura 7 – Vista aérea do trecho selecionado para o estudo



Fonte: print Google Maps (2017)

Observa-se que nessa interseção, a travessia é dividida em dois trechos: o primeiro entre a calçada do Banco do Brasil e o canteiro central e outro entre a calçada do North Shopping e o canteiro central. Por conta dessa característica, cada uma dessas travessias foi avaliada separadamente.

### **3.3 Coleta dos dados**

Primeiramente, definiu-se que a análise seria realizada com base em dados coletados em um dia de semana, de terça a quinta-feira, em virtude de esses dias apresentarem as situações mais crítica quanto à capacidade das infraestruturas existentes. Quanto ao horário de análise, escolheu-se o período entre 10:30 e 12:00 da manhã, por ser um período em que já há um fluxo considerável de pedestres.

Parte dos dados necessários à realização desse estudo foram coletados em campo no dia 05 e 14 de setembro, no horário estabelecido. Outra parte foi coletada a partir de vídeos de fiscalização eletrônica, fornecidos pela Prefeitura de Fortaleza, referentes aos mesmos dias e horário especificados anteriormente.

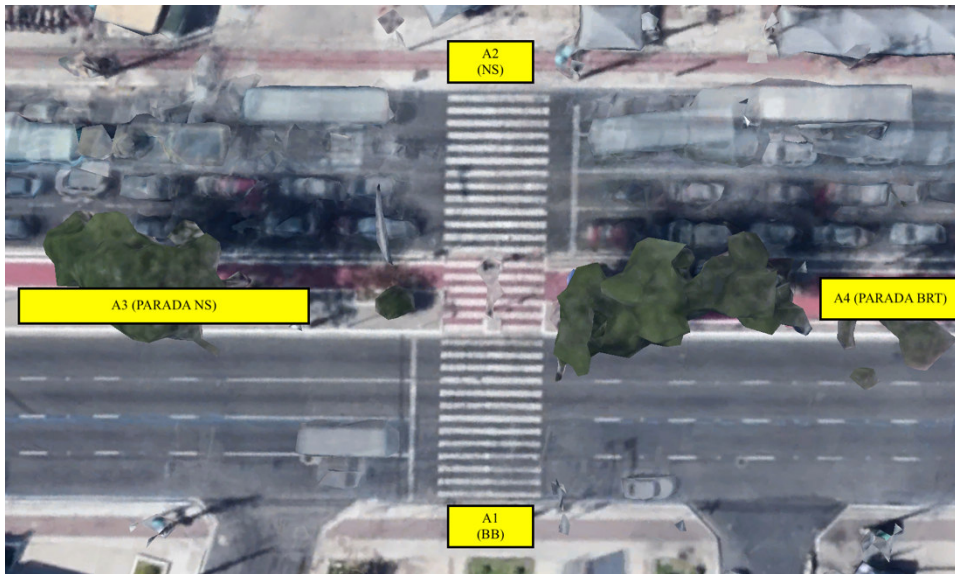
Para a modelagem de pedestres em uma interseção semaforizada, tanto o modelo do HCM 2010, quanto o modelo do VISSIM 9 necessitam de dados de entrada. Esses dados estão relacionados às características geométricas e operacionais da via, além de características físicas dos modos que trafegam por ela.

#### ***3.3.1 Características geométricas da via***

Para esse estudo, as características geométricas da via consideradas corresponderam aos seguintes atributos: largura e número de faixas do corredor arterial, largura e comprimento das faixas de pedestres, áreas de espera de pedestres para realização de travessia e localização dos polos geradores de tráfego de pedestres.

Durante a primeira visita de campo, mediu-se a largura das faixas de tráfego de veículos e largura e comprimento das faixas de pedestres, com o auxílio de uma trena. Além disso, determinou-se as áreas onde os pedestres aguardam para realizar a travessia, bem como os principais polos geradores de tráfego de pedestres, a partir de observação visual. A Figura 8 ilustra as áreas principais de origem e destino de pedestres, definidas a partir de observações em campo.

Figura 8 – Indicação das áreas de origem e destino de pedestres



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Foram determinadas quatro áreas com maior concentração de pedestres. As áreas A1 e A2 são as regiões onde os pedestres aguardam para a realizar a travessia na interseção. Observa-se grande concentração de pedestres nessas duas áreas. Verifica-se, além disso, a existência de um banco nas proximidades da área A1 e um shopping próximo à área A2, o que pode justificar esse fluxo intenso. As outras duas áreas onde se observou maior concentração de pedestres foram definidas como áreas A3 e A4. A primeira é um ponto de parada de ônibus locais e metropolitanos. Já na segunda está localizada uma das estações do sistema BRT (*Bus Rapid Transit*) da avenida Bezerra de Menezes. A descrição dessas áreas pode ser encontrada no Quadro 2.

Quadro 2 – Áreas de concentração de pedestres na interseção analisada

<b>A1</b>	Calçada norte (North Shopping)
<b>A2</b>	Calçada sul (Banco do Brasil)
<b>A3</b>	Parada North Shopping
<b>A4</b>	BRT North Shopping

Fonte: elaborado pelo autor (2017)



### 3.3.2 Características físicas dos modos

Além das características geométricas da via analisada, o modelo de representação de pedestres no VISSIM exige a representação física dos modos existentes. Para isso, primeiramente observou-se os tipos de veículos operando na interseção. Nessa análise, desconsiderou-se o fluxo de motocicletas, pelo fato de o VISSIM representar esse modo da mesma forma que um carro, ao contrário do que se observa em Fortaleza, em que os motociclistas circulam geralmente entre os automóveis.

Outra etapa importante para a modelagem no VISSIM é a determinação das classes e tipos de pedestres. A partir da observação das filmagens na interseção, definiu-se a divisão dos pedestres em duas classes e em quatro tipos (ver Quadro 3).

Quadro 3 – Classes e tipos de pedestres escolhidos

CLASSES	TIPOS
<b>Livres:</b> pedestres que realizam a travessia no sinal vermelho, caso achem uma brecha maior que a crítica	<p><b>Homens:</b> adultos (19 a 59 anos), do sexo masculino</p> <p><b>Mulheres:</b> adultas (19 a 59 anos), do sexo feminino</p> <p><b>Jovens:</b> jovens (0 a 18 anos), de ambos os sexos</p> <p><b>Idosos:</b> idosos (mais que 60 anos), de ambos os sexos</p>
<b>Não-livres:</b> pedestres impedidos de realizar a travessia no sinal vermelho	<p><b>Homens:</b> adultos (19 a 59 anos), do sexo masculino</p> <p><b>Mulheres:</b> adultas (19 a 59 anos), do sexo feminino</p> <p><b>Jovens:</b> jovens (0 a 18 anos), de ambos os sexos</p> <p><b>Idosos:</b> idosos (mais que 60 anos), de ambos os sexos</p>

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

### 3.3.3 Características operacionais da via

Definidas as características físicas dos modos operando na interseção, o próximo passo foi a representação de como se dá a operação dos mesmos. Logo, foram coletados, em campo, os volumes (a cada 15 minutos) e os fluxos direcionais dos veículos particulares (exceto motocicleta) e dos veículos do transporte público. Do mesmo modo, foram coletados, a partir

dos vídeos de fiscalização eletrônica, fornecidos pela Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania de Fortaleza (AMC), os volumes e fluxos direcionais de pedestres entre as quatro áreas definidas no Quadro 2.

Outras características operacionais necessárias à aplicação dos modelos também foram determinadas. Foram elas: duração do ciclo semafórico, velocidade instantânea dos veículos que cruzaram a interseção, velocidade desejada, tempo de espera para realizar a travessia e tempo de travessia, por tipo de pedestre. O Quadro 4 resume a metodologia de coleta dos parâmetros citados.

Quadro 4 – Metodologia de coleta dos parâmetros

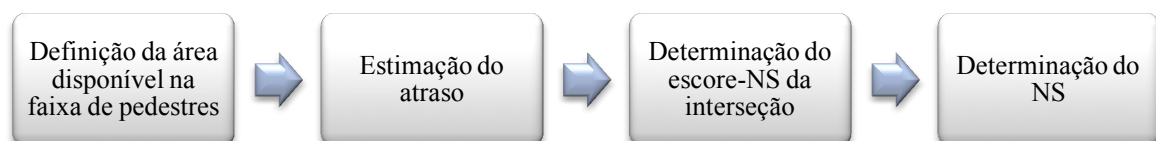
PARÂMETRO	MÉTODO DE COLETA
Volumes direcionais de veículos	Coletados a partir de contagem em campo
Velocidade instantânea dos veículos	Dados fornecidos pela Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC)
Duração do ciclo semafórico	Coletado a partir de medições em campo
Volumes direcionais de pedestres	Coletados a partir dos vídeos de fiscalização eletrônica
Tempo de travessia em fluxo livre	Coletados a partir dos vídeos de fiscalização eletrônica
Tempo de espera para realizar a travessia	Coletados a partir dos vídeos de fiscalização eletrônica

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

### 3.4 Aplicação do modelo do HCM 2010

O modelo do HCM 2010 para a determinação do NS para pedestres de uma interseção semaforizada é composto por um processo de quatro etapas, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Etapas do processo de determinação do NS



Fonte: adaptado de TRB (2010)

### 3.4.1 Definição da área disponível na faixa de pedestres

O primeiro passo para a determinação da qualidade de uma interseção semaforizada para pedestres pelo método do HCM 2010 é a determinação da área disponível, em m<sup>2</sup>/ped, na faixa de pedestres de cada travessia. Essa medida fornece uma avaliação qualitativa da travessia, indicando a densidade na área analisada. A Tabela 4, apresentada no capítulo 2, mostra uma descrição qualitativa da interseção em função do valor obtido para este parâmetro. Para calculá-lo, é preciso seguir algumas etapas, descritas a seguir:

a) cálculo do tempo-espço disponível, dado pela Equação 2.

$$TE_{fp} = L \times W \times g_{tra} \quad (2)$$

Onde,

$TE_{fp}$  = tempo-espço disponível na faixa de pedestres (m<sup>2</sup>-s);

$L$  = comprimento da faixa de pedestres (m);

$W$  = largura efetiva da faixa de pedestres (m);

$g_{tra}$  = tempo de verde efetivo para realização da travessia (s).

O comprimento e a largura efetiva das faixas de pedestres de ambas as travessias foram medidos através de coletas em campo. O tempo de verde efetivo é dado pela soma do tempo de verde disponível, o qual também foi coletado em campo, mais 4 segundos, para contabilizar o tempo de vermelho piscando, como sugerido pelo manual americano (TRB, 2010).

b) cálculo do tempo de serviço total em ambos os lados da travessia, de acordo com a Equação 3.

$$t_{sp} = 3,2 + \frac{L}{vD_p} + 0,27 N_{ped} \quad (3)$$

$$N_{ped} = N \times \frac{C - g_{tra}}{C} \quad (4)$$

Onde,

$t_{sp}$  = tempo de serviço total para os pedestres (s);

$VD_p$  = velocidade desejada dos pedestres (m/s);

$N_{ped}$  = número de pedestres esperando para realizar a travessia (ped);

$N$  = número de pedestres que chegam à interseção durante o ciclo (ped);

$C$  = tempo do ciclo semafórico (s).

A velocidade desejada, o número de pedestres que chegam à interseção durante o ciclo e os que esperam para realizar cada travessia, foram coletados através dos vídeos de fiscalização eletrônica. Já o tempo de ciclo semafórico foi obtido em campo.

c) cálculo do tempo de ocupação da faixa de pedestre, de acordo com a Equação 5.

$$T_{ocup} = t_{sp,a} \times N_a + t_{sp,b} \times N_b \quad (5)$$

Onde,

$T_{ocup}$  = tempo de ocupação da faixa de pedestres (ped-s);

$t_{sp,a}$  = tempo de serviço total para os pedestres na calçada A (s);

$t_{sp,b}$  = tempo de serviço total para os pedestres na calçada B (s);

$N_a$  = número de pedestres que chegam, por ciclo, na calçada A (ped);

$N_b$  = número de pedestres que chegam, por ciclo, na calçada B (ped);

d) cálculo da área disponível na faixa de pedestres, a partir da Equação 6.

$$M_{fp} = \frac{TE_{fp}}{T_{ocup}} \quad (6)$$

Onde,

$M_{fp}$  = área disponível na faixa de pedestres (m<sup>2</sup>/ped);

$TE_{fp}$  = tempo-espaco disponível na faixa de pedestres (m<sup>2</sup>-s);

$T_{ocup}$  = tempo de ocupação da faixa de pedestres (ped-s);

Definida a área disponível na faixa de pedestres, obteve-se uma avaliação qualitativa da interseção em análise, a partir da Tabela 4.

### 3.4.2 Estimação do atraso

O segundo passo para a definição do NS da interseção escolhida para análise é o cálculo do atraso. O HCM 2010 (TRB, 2010) considera o atraso como o intervalo de tempo decorrido entre o instante em que o pedestre entra na área de espera para a travessia e o momento em que o pedestre inicia a travessia. Esse atraso foi calculado de acordo com a Equação 7.

$$a_p = \frac{(C - g_{tra})^2}{2C} \quad (7)$$

Onde,

$a_p$  = atraso médio por pedestre (s/ped);

$C$  = tempo do ciclo semaforico (s);

$g_{cam}$  = tempo de verde efetivo para realização da travessia (s).

Segundo TRB (2010), o atraso estimado pela Equação 7 é valido para a travessia nas duas direções. É destacado, ainda, que para atrasos médios acima de 30 s/ped, os pedestres tendem a ficar mais “impacientes”, aumentando a probabilidade de haver violação à indicação semaforica.

### 3.4.3 Determinação do score-NS da interseção

De acordo com TRB (2010), o score-NS da interseção é determinado a partir da combinação matemática de fatores relativos ao atraso médio por pedestre, ao fluxo e velocidade dos veículos na via principal e do número de faixas de tráfego a serem atravessadas. O score-NS da interseção analisada foi determinado a partir da Equação 8.

$$E_{p,int} = 0,5997 + F_w + F_s + F_{atraso} \quad (8)$$

Com

$$F_w = 0,681 \times (N)^{0,514} \quad (9)$$

$$F_s = 0,00013 \times n_{15} \times S_{85} \quad (10)$$

$$n_{15} = \frac{1}{6N} \times \sum d \quad (11)$$

$$F_{atraso} = 0,0401 \times \ln(a_p) \quad (12)$$

Onde,

$E_{p,int}$  = escore-NS da interseção semaforizada;

$F_w$  = fator relativo ao comprimento da faixa de pedestres;

$F_s$  = fator relativo à velocidade dos veículos na via principal;

$F_{atraso}$  = fator relativo ao atraso médio por pedestre;

$N$  = número de faixas de tráfego a serem atravessadas;

$n_{15}$  = quantidade de veículos na via principal em um intervalo de 15 minutos (veic/faixa);

$S_{85}$  = 85º percentil da velocidade instantânea dos veículos na via principal (mi/h);

$d$  = demanda horária de veículos (veic/h);

$a_p$  = atraso médio por pedestre (s/ped).

Os dados relativos à quantidade de veículos na via principal e a demanda horária foram coletados a partir de observações em campo. Enquanto isso, o 85º percentil da velocidade instantânea dos veículos na via principal foi estimado a partir dos valores de velocidade instantânea no dia e horário de análise.

#### 3.4.4 Determinação do NS

Por fim, o nível de serviço, para os pedestres, das duas travessias foi definido cruzando-se o valor de escore-NS obtido na etapa anterior com os valores da Tabela 1.

### 3.5 Simulação da interseção utilizando o VISSIM 9

O primeiro passo para a simulação da interseção escolhida no VISSIM 9 foi a definição do modelo comportamental a ser implementado para representar a movimentação dos pedestres. A etapa seguinte foi a codificação da rede no programa. Por fim, realizou-se a simulação dos cenários escolhidos e, por fim, foi feita a análise dos resultados obtidos. A Figura 10 lista as etapas realizadas para a simulação da interseção no VISSIM 9.

Figura 10 – Etapas para a simulação da rede no VISSIM



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

### 3.5.1 Escolha do modelo comportamental

Optou-se por utilizar o modelo de força social nativo do *software*, baseado no modelo de força social de Helbing e Mölnar (1995), a partir do módulo Viswalk. Essa escolha justificou-se pelo fato de o modelo de força social representar de forma mais realista a movimentação dos pedestres em contraposição ao modelo de *car following*, de Wiedemann.

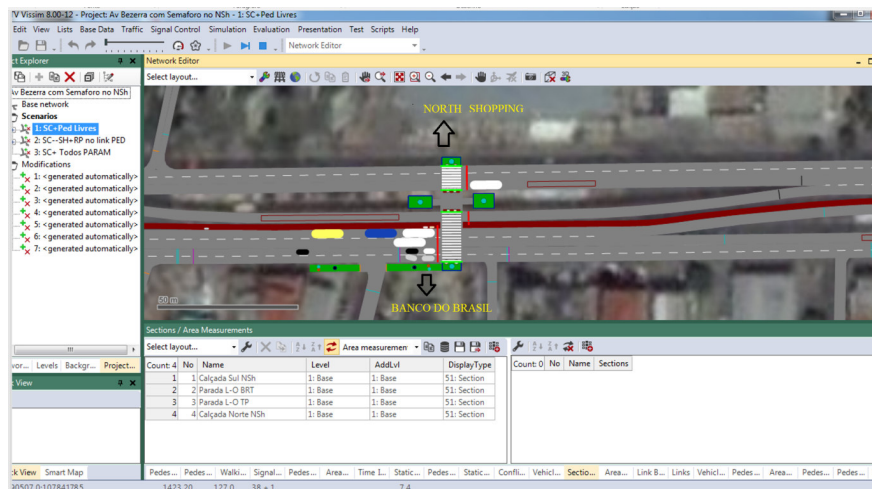
### 3.5.2 Construção da rede

A rede no VISSIM 9 foi codificada a partir dos dados coletados relativos às características geométricas e operacionais da interseção analisada, além dos atributos físicos dos modos que iriam operar nessa rede. A Figura 11 mostra a tela principal da rede já codificada no programa.

Nos próximos tópicos, será explicada a metodologia utilizada para a determinação dos atributos relativos ao comportamento dos pedestres na rede simulada: proporção dos diferentes tipos de pedestres (homens, mulheres, jovens e idosos) em cada área; velocidade desejada, por tipo de pedestre; matriz origem-destino entre as áreas da rede; e parâmetros relativos ao modelo de aceitação de brechas.

Vale ressaltar que em todas as etapas da análise, os parâmetros relacionados ao modelo comportamental de força social foram mantidos em seus valores *default*.

Figura 11 – Imagem da codificação do trecho analisado no VISSIM



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

### *3.5.2.1 Proporção dos tipos de pedestres*

O primeiro parâmetro de entrada no VISSIM 9 calculado foi a proporção dos quatro tipos de pedestres definidos (homem, mulher, jovem e idoso) nas quatro áreas pré-estabelecidas. Para isso, foram utilizados os vídeos de fiscalização eletrônica, referentes ao dia 05 de setembro de 2017. A partir desses vídeos, coletou-se uma amostra aleatória de pelo menos 100 pedestres em cada área. Dessa amostra, identificou-se a proporção de pedestres que pertenciam a cada um dos tipos. Com as proporções amostrais, construiu-se um intervalo de confiança para a proporção amostral, com 95% de grau de confiança.

### *3.5.2.2 Velocidade desejada*

A velocidade desejada para cada tipo de pedestre foi estimada a partir da observação do tempo no qual os pedestres levavam para percorrer uma distância conhecida em situação de fluxo livre, ou seja, sem que houvesse interferência de obstáculos ou outros pedestres na caminhada, de modo que a velocidade impressa fosse o mais próximo possível da velocidade desejada.

Os tempos de travessia foram coletados manualmente, com o auxílio de cronômetros digitais, através dos vídeos de fiscalização eletrônica da Prefeitura de Fortaleza, referentes aos dias 13 e 14 de junho de 2017, nos horários de 7:00 às 10:00 da manhã. A escolha por esse horário deveu-se ao fato de haver um fluxo baixo de pedestres nesse período, o que favoreceu a ausência de impedências durante a caminhada.

A contagem do tempo de travessia foi realizada obedecendo-se a alguns critérios:

- a) o início da contagem deveria ser feito quando o pedestre atingisse uma velocidade constante. Logo, foi estabelecida que a contagem fosse iniciada quando o pedestre atingisse o início da segunda faixa de tráfego. A Figura 12 ilustra o momento de início e fim da contagem do tempo de travessia, para o cálculo da velocidade desejada;



Figura 12 – Metodologia de contagem do tempo de travessia para cálculo da velocidade desejada



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

b) foram desconsiderados os tempos de travessia de pedestres que mostrassem uma redução brusca de velocidade durante o trajeto;

c) do mesmo modo, desconsiderou-se pedestres que realizaram a travessia correndo.

A velocidade desejada de cada pedestre foi calculada dividindo-se a distância relativa ao trecho percorrido por cada pedestre pelo seu respectivo tempo de travessia. As distâncias consideradas estão apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Distâncias para cálculo da velocidade desejada

Travessia	Direção	Distância (m)
Travessia Norte-Sul	North Shopping – Canteiro central	5,9
	Canteiro central – North Shopping	5,4
Travessia Sul-Norte	Banco do Brasil – Canteiro central	9,1
	Canteiro central – Banco do Brasil	8,6

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Calculadas as velocidades de cada pedestre, produziu-se um gráfico de distribuição de frequências de velocidade para cada tipo de pedestre. Em seguida, testou-se a aderência de cada distribuição a uma distribuição normal de probabilidade, pelo teste qui quadrado. Após confirmada a aderência, calculou-se a média e desvio padrão amostrais para cada tipo de pedestre. Estabeleceu-se, então, um intervalo de confiança para essas duas medidas, com grau de confiança de 95%. Finalmente, produziu-se um gráfico de distribuição normal acumulada das velocidades, a partir da média e desvio padrão estimados. Os pontos desta distribuição

foram inseridos como dado de entrada de velocidade desejada no VISSIM, para cada tipo de pedestre.

### 3.5.2.3 *Matriz origem-destino*

Outro parâmetro de entrada necessário para a simulação, no VISSIM, das duas travessias analisadas é o fluxo horário de pedestres, em um intervalo de tempo qualquer, entre as áreas previamente definidas. Esse fluxo pode ser informado ao *software* de duas maneiras: 1) informando-se a demanda horária de cada área e estabelecendo-se que proporção dessa demanda irá direcionar-se para cada uma das outras áreas; 2) inserindo-se uma matriz origem-destino. Nessa análise, optou-se pelo segundo método, inserindo-se o fluxo horário de pedestres entre as áreas em intervalos de 15 minutos.

A coleta desses dados foi realizada através dos vídeos de fiscalização eletrônica fornecidos pela Prefeitura de Fortaleza, referentes ao dia 05 de setembro de 2017, compreendendo o horário de 10:30 às 12:00 da manhã. Os fluxos foram coletados a partir de observação visual, com o auxílio de contadores mecânicos.


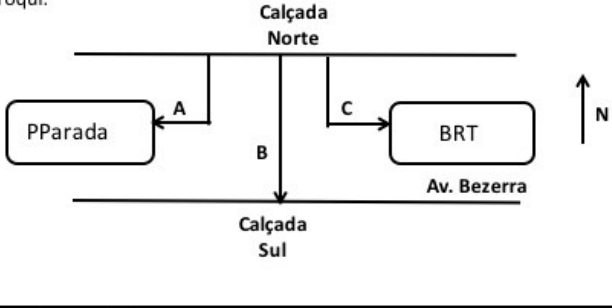
Para cada uma das quatro áreas definidas, contabilizou-se a quantidade de pedestres que se dirigiam para as outras três áreas. Essa quantidade foi preenchida, a cada 15 minutos, em formulários como o da Figura 13. Por fim, converteu-se os fluxos de cada intervalo de 15 minutos em fluxos horários, multiplicando-se o resultado obtido por quatro. Os valores obtidos foram inseridos no VISSIM, para cada intervalo.

### 3.5.2.4 *Parâmetros do modelo de aceitação de brechas*

De modo a representar o comportamento dos pedestres livres, foi necessário escolher um dos modelos de aceitação de brechas disponíveis no VISSIM: modelo de regra de prioridade ou modelo de área de conflito. Nesse estudo, optou-se pelo primeiro, já que é um modelo que possui menos parâmetros do que o outro, exigindo menores esforços para a definição e calibração desses parâmetros.

O principal parâmetro do modelo de regra de prioridade, a brecha crítica, foi coletado utilizando o método proposto por Chandra *et al.* (2014). Nesse método, a curva de frequências acumuladas de brechas aceitas pelos pedestres é cruzada com a curva inversa de frequências acumuladas dos tempos de travessia pedestres violadores, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 13 – Exemplo de formulário de contagem dos fluxos de pedestres entre as áreas

		GTTEMA - UFC		
PESQUISA DE VOLUME DE TRÁFEGO				
Interseção:		NorthShopping		
Local:		Calçada Norte		
Croqui:				
				
Pesquisador: Davi				
Data: 5 Setembro 2017		Dia da semana: terça-feira		
Condições do tempo:      ( ) Sol      ( ) Nublado      ( ) Chuva				
HORA	A	B	C	Obs.
10:30 - 10:45				
10:45 - 11:00				
11:00 - 11:15				
11:15 - 11:30				
11:30 - 11:45				
11:45 - 12:00				

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Os dados necessários para a definição da brecha crítica na interseção analisada foram obtidos a partir dos vídeos de fiscalização eletrônica da Prefeitura Fortaleza, referentes ao dia 05 de setembro, no horário de 10:30 às 12:00 da manhã. A estimação da brecha crítica, para cada tipo de pedestre, foi feita da seguinte maneira:

- mediu-se as brechas aceitas (em segundos) de todos os pedestres que violaram a indicação semafórica durante o período definido para a análise;
- mediu-se o tempo de travessia de todos os pedestres violadores;
- construiu-se o gráfico de frequências acumuladas das brechas aceitas,  $F_a$ , para cada tipo de pedestre (homem, mulher, jovem e idoso);
- construiu-se o gráfico de frequências acumuladas do inverso do tempo de travessia dos pedestres violadores,  $1 - F_t$ , para cada tipo (homem, mulher, jovem e idoso);
- cruzou-se as duas curvas, definindo como brecha crítica a interseção entre elas.

Os valores de brecha crítica encontrados para cada tipo de pedestre foram inseridos como parâmetro de entrada do modelo de regra de prioridade no VISSIM.

### 3.5.3 Definição dos cenários de simulação

Durante a observação do comportamento dos pedestres na área do estudo, percebeu-se a existência de uma parcela considerável de pedestres violadores, ou seja, aqueles que realizam a travessia durante a indicação semafórica de “não atravesse”. A situação *default* do VISSIM é a de que todos os pedestres respeitam a indicação semafórica. Entretanto, tem-se como hipótese de que a representação desses pedestres livres para violar o sinal afeta os resultados obtidos das medidas de desempenho escolhidas para a análise, como o tempo de espera, por exemplo. Logo, optou-se por representar cinco cenários diferentes na simulação, onde variou-se a proporção de pedestres livres e não-livres. O Quadro 6 resume a distribuição dos cenários escolhidos.

Quadro 6 – Descrição dos cenários simulados

<b>CENÁRIOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Cenário 1	0% ped. livres 100% ped. não-livres
Cenário 2	25% ped. livres 75% ped. não-livres
Cenário 3	50% ped. livres 50% ped. não-livres
Cenário 4	75% ped. livres 25% ped. não-livres
Cenário 5	100% ped. livres 0% ped. não-livres

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

### 3.5.4 Simulação e análise dos dados

Para cada um dos cenários definidos na etapa anterior foram realizadas 10 replicações, utilizando o VISSIM 9. Ao final do processo, os dados brutos foram extraídos e importados ao Excel. Foram obtidos dados relativos ao tempo de espera nas áreas em cada um dos cenários. Fez-se um intervalo de confiança para a média e o desvio padrão da medida analisada.

O tempo de espera estimado de cada cenário foi, então, comparado com o tempo de espera coletado em campo, para a definição de qual cenário melhor representa a realidade analisada.

### **3.6 Comparação dos modelos**

Por fim, comparou-se os resultados obtidos pela metodologia proposta pelo HCM 2010 e pela simulação no VISSIM 9, verificando estatisticamente qual modelo proporcionou resultados mais compatíveis com a realidade observada em campo. Como medida de desempenho utilizada para essa análise, escolheu-se o tempo de espera parado para a realização da travessia, a qual equivale à medida de atraso pelo método do HCM 2010.

A partir dessa comparação, fez-se uma análise conceitual das vantagens e desvantagens das duas metodologias e em quais cenários cada uma delas mostra-se mais adequada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados da aplicação dos modelos definidos para análise das interseções semaforizadas escolhidas. Primeiramente, serão mostrados os resultados das medidas coletadas em campo. Em seguida, será apresentada a aplicação da metodologia do HCM 2010, com o valor obtido para o atraso na interseção, bem como seu nível de serviço. Finalmente, serão detalhados os resultados da simulação realizada no VISSIM, referentes aos cinco cenários analisados.

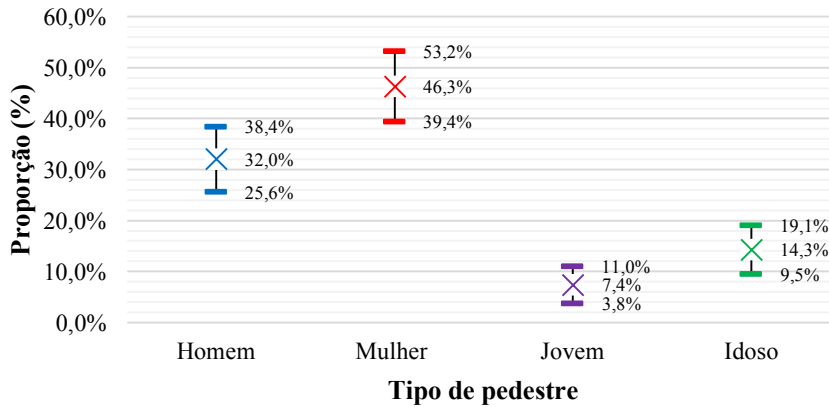
### 4.1 Dados de campo

Primeiramente, serão apresentados os resultados obtidos a partir das coletas realizadas. Inicialmente, serão mostrados os resultados para os dados de entrada do VISSIM referentes aos pedestres: proporção dos tipos de pedestres definidos, velocidade desejada, matriz origem-destino e parâmetros do modelo de aceitação de brechas. Em seguida, serão introduzidos os resultados obtidos para a medida de desempenho escolhida para análise: tempo de espera.

#### *4.1.1 Proporção dos tipos de pedestres*

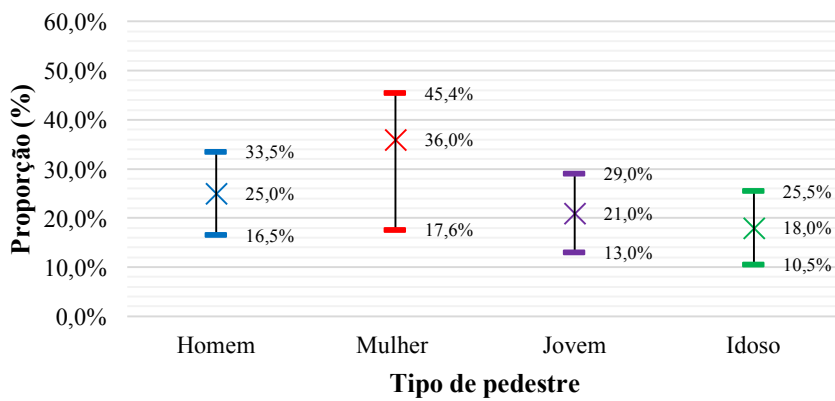
Primeiramente, definiu-se a proporção dos quatro tipos de pedestres nas áreas. Foi definindo um intervalo de confiança, com 95% de nível de confiança, em cada uma dessas áreas. Os limites inferior e superior da estimativa de proporção populacional, bem como a proporção amostral estão apresentados na Figura 14, na Figura 15, na Figura 16 e na Figura 17. Optou-se por utilizar os valores das médias amostrais como proporção relativa para cada área no VISSIM.

Figura 14 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A1)



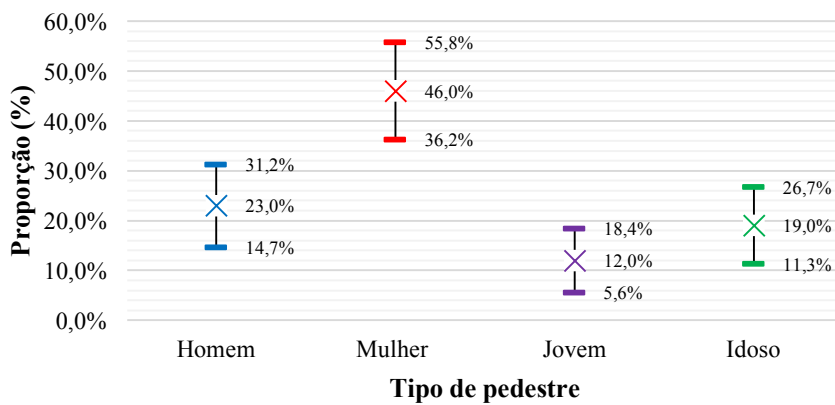
Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Figura 15 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A2)



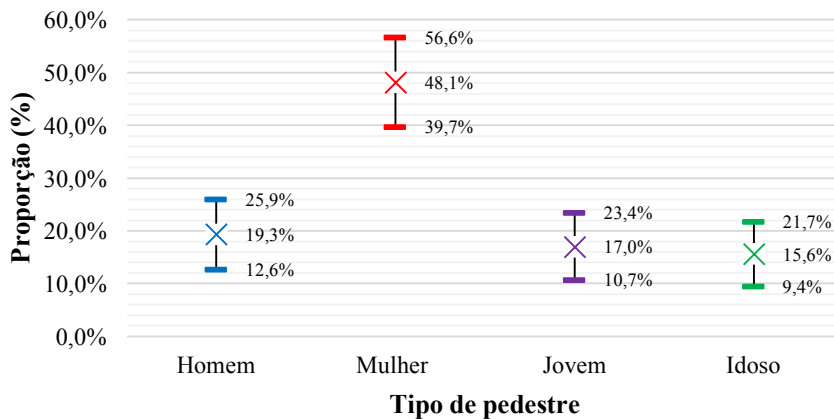
Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Figura 16 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A3)



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Figura 17 – Intervalo de confiança para a proporção dos tipos de pedestres (A4)



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

#### 4.1.2 Velocidade desejada

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos para a média e o desvio padrão da velocidade coletada em situação de fluxo livre para cada um dos quatro tipos de pedestres definidos. Nota-se que os resultados obtidos estão dentro do esperado, com os pedestres idosos imprimindo uma velocidade menor do que os outros tipos. Além disso, verifica-se uma tendência dos pedestres mais jovens em tentarem caminhar com uma velocidade maior durante a travessia.

Tabela 6 – Média e desvio padrão para a velocidade desejada

<b>Velocidade desejada (km/h)</b>				
	Homem	Mulher	Jovem	Idoso
Qtd. de observações	322	401	130	108
Média	4,4	4,1	4,7	3,6
Desvio Padrão	0,6	0,5	0,7	0,6

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

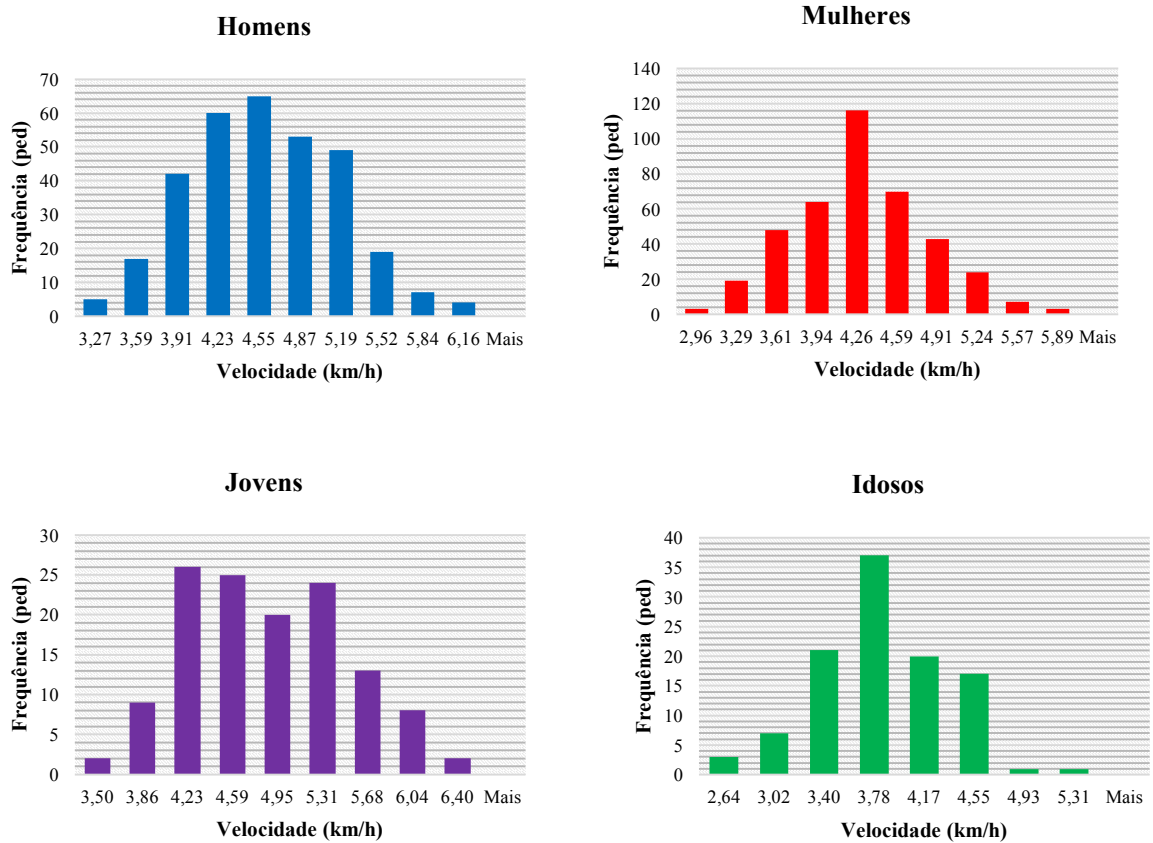
Também é importante verificar de que forma se distribuem essas velocidades. Isso está mostrado na Figura 18. Visualmente, é possível supor que a distribuição de velocidade desejada para os quatro tipos de pedestres segue uma distribuição normal de probabilidade. Para confirmar tal hipótese, foi realizado um teste de aderência qui-quadrado. A Tabela 7 apresenta



os resultados desse teste. Como em nenhum dos casos a hipótese nula foi rejeitada, então não se pode rejeitar a hipótese de que a velocidade desejada para os quatro tipos de pedestres pode ser bem representada por uma distribuição normal.

Partiu-se, então, para a estimação da média e do desvio padrão populacionais da velocidade desejada para cada tipo de pedestre. Para isso, fez-se um intervalo de confiança para as duas medidas, com grau de confiança de 95%. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Figura 18 – Distribuição de frequências da velocidade desejada



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Tabela 7 – Resultado do teste de aderência qui-quadrado

<b>Teste qui-quadrado para distribuição normal de probabilidade</b>			
H0: as frequências observadas não são diferentes das frequências esperadas			
	$\chi^2$ calculado	$\chi^2$ tabulado	Rejeitar a hipótese nula?
Homem	6,26	16,92	Não
Mulher	13,6	16,92	Não
Jovem	7,45	15,51	Não
Idoso	10,52	14,07	Não

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

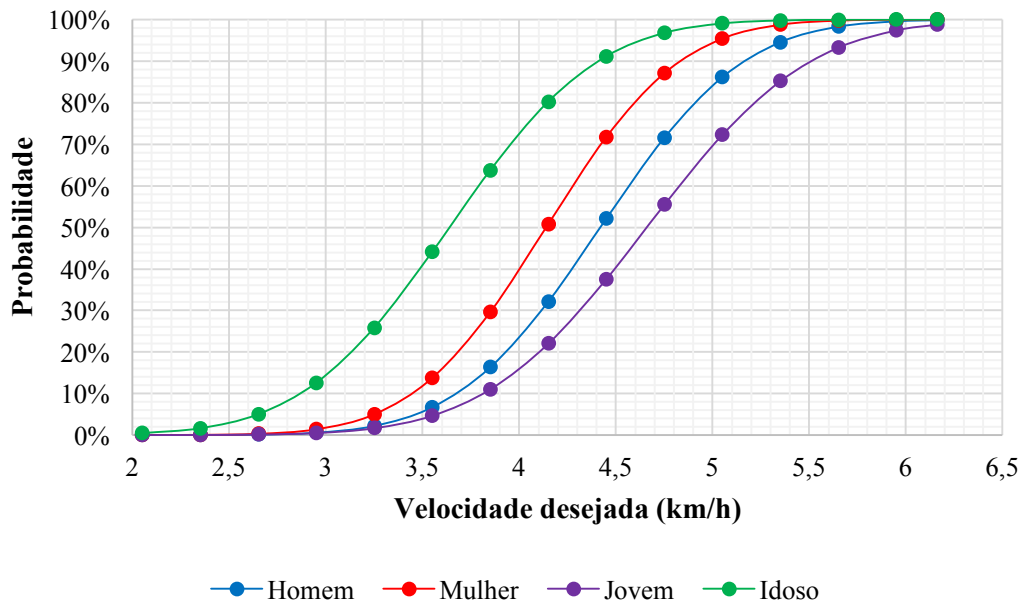
Tabela 8 – Intervalo de confiança (95%) para a média e desvio padrão

	$\mu$ (km/h)	$\sigma$ (km/h)
<b>Homem</b>	$4,36 < \mu < 4,49$	$0,54 < \sigma < 0,63$
<b>Mulher</b>	$4,09 < \mu < 4,20$	$0,50 < \sigma < 0,58$
<b>Jovem</b>	$4,54 < \mu < 4,77$	$0,59 < \sigma < 0,75$
<b>Idoso</b>	$3,52 < \mu < 3,75$	$0,53 < \sigma < 0,69$

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Por fim, plotou-se a curva normal acumulada de probabilidades para a velocidade desejada para cada um dos tipos de pedestres, as quais estão apresentadas na Figura 19. Essas curvas foram utilizadas no VISSIM 9 para representar a velocidade desejada de cada tipo de pedestre.

Figura 19 – Curva normal acumulada da velocidade desejada



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

#### 4.1.3 Matriz origem-destino

A Tabela 9 mostra os fluxos direcionais de pedestres coletados em campo entre as quatro áreas definidas. Foram contabilizadas todas as movimentações realizadas entre 10:30 e 12:00 da manhã do dia 05 de setembro de 2017. Como é possível observar, as áreas com maior demanda de pedestres são as áreas A1 (calçada Banco do Brasil) e A2 (calçada North Shopping). Além disso, nota-se um grande volume de pedestres que partem da área A2 em direção à área A3 (Parada North Shopping), onde concentram-se a maior parte das linhas de ônibus da região. Já a área A4 (Parada BRT) é a que apresenta menor fluxo de pedestres, provavelmente em função da pequena quantidade de linhas de ônibus que param nessa área, apenas 3.

Tabela 9 – Fluxos direcionais observados em campo

05 de setembro de 2017 - 10:30 às 12:00				
Matriz OD	A1	A2	A3	A4
A1	-	486	149	17
A2	442	-	387	55
A3	60	162	-	11
A4	31	66	37	-

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Esses mesmos fluxos direcionais foram coletados também para intervalos de 15 minutos. Devido à variação dos fluxos nesses intervalos, decidiu-se por inserir as matrizes OD no VISSIM 9 em intervalos de 15 minutos. Entretanto, o *software* pede que esses fluxos sejam inseridos na forma de fluxo horário (ped/h). Assim, converteu-se o fluxo bruto de cada intervalo em fluxo horário, multiplicando os valores coletados por 4.

#### 4.1.4 Parâmetros do modelo de aceitação de brechas

O modelo de aceitação de brechas escolhido para representar os pedestres livres na interseção analisada foi o modelo de Regra de Prioridade, o qual é composto por três parâmetros: a brecha crítica, o *headway* mínimo e a velocidade máxima dos veículos na qual os pedestres irão avaliar a brecha. Para este último parâmetro, utilizou-se a velocidade de 60 km/h, que é a velocidade máxima permitida no trecho estudado. O *headway* mínimo refere-se à largura da área onde se dará o conflito entre pedestres e veículos e, nesse caso, usou-se o valor de 9 metros, referente à largura da faixa de pedestres, de 7,6 metros, mais uma margem de segurança de 1,4 metro. Já a brecha crítica foi determinada utilizando o método proposto por Chandra *et al.* (2014).

Primeiramente, observou-se a proporção de pedestres violadores, de modo a verificar a real necessidade de se simular conflitos entre pedestres e veículos. A Figura 20 mostra o intervalo de confiança para a porcentagem de pedestres violadores em cada uma das travessias. Esse intervalo foi feito com 95% de nível de confiança. Já a Figura 21 mostra as brechas máximas e mínimas que foram aceitas em cada sentido de travessia.

Figura 20 – Intervalo de confiança: proporção de pedestres violadores por travessia

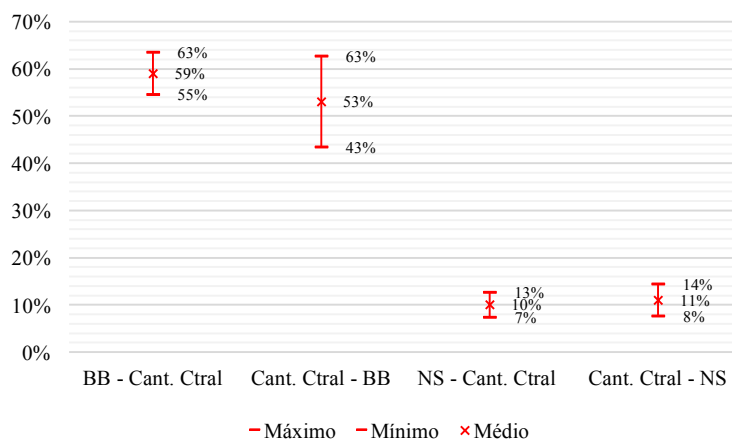
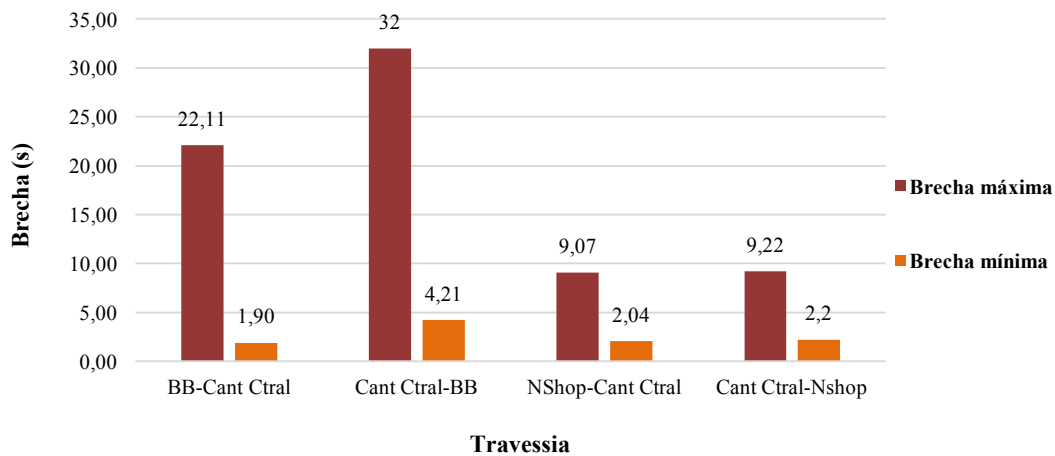


Figura 21 – Brechas máximas e mínimas aceitas em cada travessia

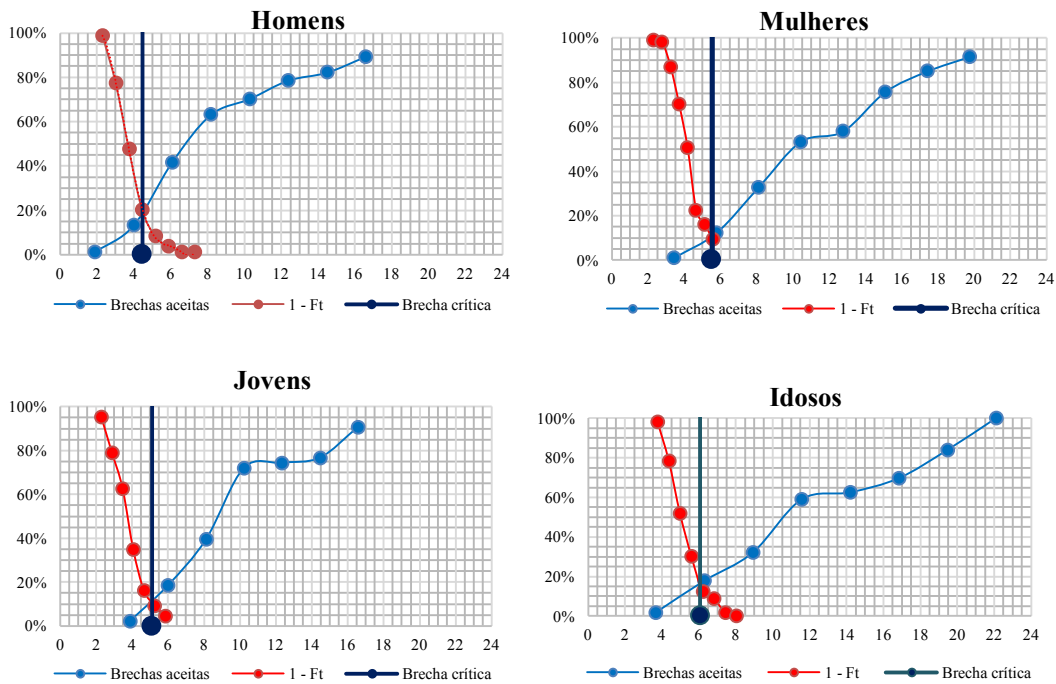


Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Nota-se que na interseção que liga a calçada sul (Banco do Brasil) ao canteiro central há uma quantidade considerável de pedestre violadores, entre 55% e 63%. Já na interseção que conecta a calçada norte (North Shopping) ao canteiro central essa proporção já é bem menos significativa, entre 7% e 13%. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que, na primeira travessia observou-se a ocorrência de brechas maiores, da ordem de 30 segundos, se comparado à outra interseção, cujas maiores brechas aceitas não chegaram a 10 segundos.

Em virtude desses resultados, decidiu-se representar o conflito entre pedestres e veículos na simulação utilizando o VISSIM 9. Para isso, foi necessário a determinação do parâmetro de brecha crítica do modelo de Regra de Prioridade para os quatro tipos de pedestres analisados. Esse parâmetro foi calculado através da interseção das curvas de frequência acumulada das brechas aceitas pelos pedestres com a curva inversa da frequência acumulada dos tempos de travessias dos pedestres violadores. A Figura 22 mostra essas curvas. A tabela 10 resume os valores de brechas críticas para cada tipo de pedestre.

Figura 22 – Determinação da brecha crítica



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Tabela 10 – Resumo dos valores de brecha crítica por tipo de pedestre

Tipo de pedestre	Brecha crítica (s)
Homem	4,5
Mulher	5,5
Jovem	5,1
Idoso	6,1

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Os valores encontrados por esse método foram inseridos no VISSIM, como parâmetros de brecha crítica do modelo de Regra de Prioridade para cada tipo de pedestre. Como esperado, o valor encontrado para os pedestres idosos foi bem mais elevado em comparação aos outros tipos. Já os homens foram os que tiveram o menor valor de brecha crítica. Das *et al.* (2005) estimou, a partir de modelos de regressão linear, que o menor valor de brecha aceita por pedestres é de 2 segundos, enquanto a média das brechas aceitas variam em torno de 8 segundos. Já Sun *et al.* (2002), observou valores de brecha crítica que variavam entre 5 e 13 segundos, em uma região dos Estados Unidos. Nota-se, portanto, que os valores de brecha crítica encontrados nessa análise estão dentro dos limites observados em outros estudos.

#### 4.1.5 Tempo de espera

Escolheu-se o tempo de espera para a realização da travessia como medida de desempenho a ser avaliada para a comparação das duas propostas de modelagem (HCM 2010 e VISSIM 9) com a realidade de campo. Os valores da média e do desvio padrão para o tempo de espera nas duas travessias estão apresentados na Tabela 11. A Tabela 12 mostra o intervalo de confiança para as médias do tempo de espera, com 95% de nível de confiança.

Tabela 11 – Média e desvio padrão dos tempos de espera coletados

	<b>Média (s)</b>	<b>Desvio Padrão (s)</b>
<b>Calçada sul (Banco do Brasil)</b>	26,1	30,6
<b>Calçada norte (North Shopping)</b>	35,1	34,9

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 12 – Intervalo de confiança para o tempo de espera médio

<b>Intervalo de confiança para a média do tempo de espera</b>	
Calçada sul (Banco do Brasil)	$23,6s < \mu < 28,6s$
Calçada norte (North Shopping)	$32,6s < \mu < 37,6s$

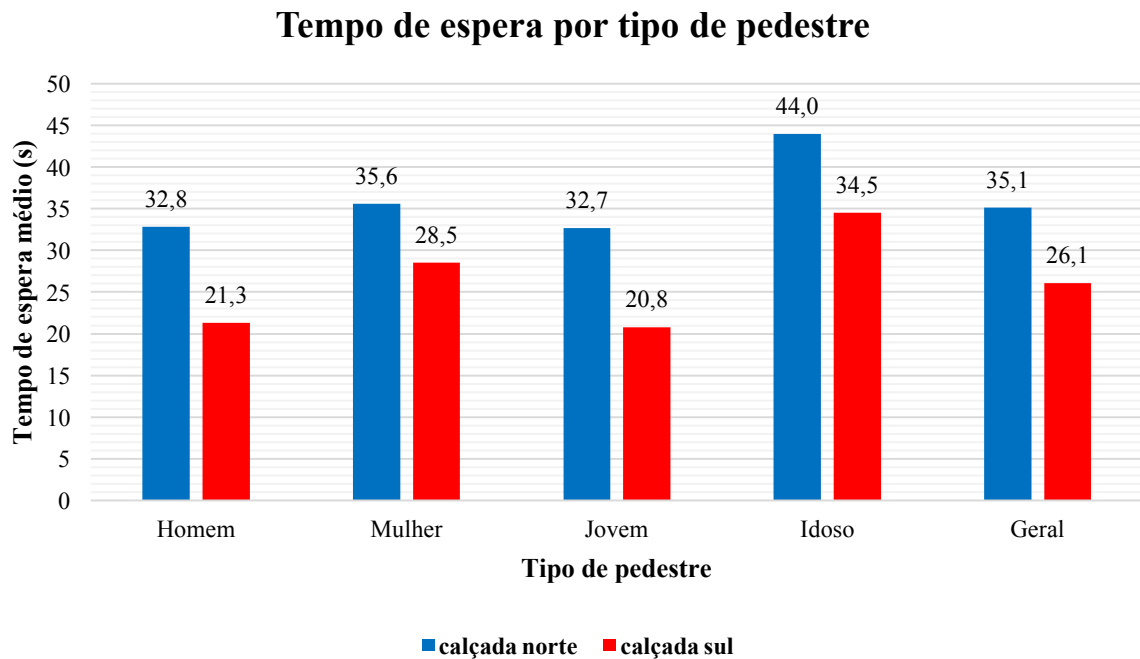
Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Nota-se que o tempo de espera observado na travessia da calçada norte é superior ao observado na calçada sul. Essa situação pode ser explicada pelo fato de que na primeira travessia há uma maior proporção de pedestres violadores, entre 55% e 63%, em comparação à segunda, entre 7% e 13%, como pode ser visto na Figura 20. Essa diferença é mantida quando se comparam os tempos de espera médios para cada tipo de pedestre, como pode ser visto na Figura 23.

Da Figura 23 pode-se concluir, também, que existe diferença entre os tempos de espera médios entre os diferentes tipos de pedestres. Observa-se que os pedestres jovens esperam, em média, menos tempo para realizar a travessia, quando comparados aos outros tipos.

Já os pedestres idosos são os que apresentam, em média, os maiores tempos de espera. Esse comportamento é observado em ambas as travessias analisadas.

Figura 23 – Tempo de espera médio por tipo de pedestre



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

## 4.2 Aplicação do modelo do HCM 2010

O modelo do HCM 2010 para avaliação do nível de serviço para pedestres em interseções semaforizadas é composto por três medidas principais: avaliação qualitativa da interseção pela área de circulação disponível na travessia, avaliação quantitativa dada pelo atraso médio sofrido pelos pedestres e avaliação do nível de serviço da interseção a partir do cálculo do escore-NS.

### 4.2.1 Determinação da área de circulação disponível na travessia

A primeira etapa do método proposto pelo HCM 2010 é a determinação da área de área de circulação para pedestres ( $m^2/ped$ ) na travessia. Esse valor foi obtido para as duas travessias analisadas: North Shopping – Canteiro central e Banco do Brasil – Canteiro central. Os resultados estão mostrados na Tabela 13.



Tabela 13 – Cálculo da área disponível na faixa de pedestres

<b>Travessia norte-sul</b>	
Tempo de verde (s)	40
Tempo de verde efetivo (s)	44
Comprimento da faixa de pedestres (m)	8,6
Largura efetiva da faixa de pedestres (m)	7,7
<b>Tempo-espaço disponível na faixa de pedestres (m<sup>2</sup>-s)</b>	<b>2894,8</b>
Número médio de pedestres que chegam à interseção A, por ciclo	27,7
Tempo de ciclo (s)	160
Número médio de pedestres esperando para realizar a travessia A por ciclo	20,1
Velocidade desejada dos pedestres (m/s)	1,2
<b>Tempo de serviço total para os pedestres na calçada A (s)</b>	<b>15,1</b>
Número médio de pedestres que chegam à interseção B, por ciclo	22,4
Número médio de pedestres esperando para realizar a travessia B, por ciclo	16,2
<b>Tempo de serviço total para os pedestres na calçada B (s)</b>	<b>14,1</b>
<b>Tempo de ocupação da faixa de pedestres (ped-s)</b>	<b>734,2</b>
<b>Área disponível na faixa de pedestres (m<sup>2</sup>/ped)</b>	<b>3,9</b>
<b>Travessia sul-norte</b>	
Tempo de verde (s)	40
Tempo de verde efetivo (s)	44
Comprimento da faixa de pedestres (m)	17,3
Largura efetiva da faixa de pedestres (m)	7,7
<b>Tempo-espaço disponível na faixa de pedestres (m<sup>2</sup>-s)</b>	<b>5823,2</b>
Número médio de pedestres que chegam à interseção A, por ciclo	20,4
Tempo de ciclo (s)	160
Número médio de pedestres esperando para realizar a travessia A por ciclo	14,8
Velocidade desejada dos pedestres (m/s)	1,2
<b>Tempo de serviço total para os pedestres na calçada A (s)</b>	<b>13,7</b>
Número médio de pedestres que chegam à interseção B, por ciclo	16,7
Número médio de pedestres esperando para realizar a travessia B, por ciclo	12,1
<b>Tempo de serviço total para os pedestres na calçada B (s)</b>	<b>13,0</b>
<b>Tempo de ocupação da faixa de pedestres (ped-s)</b>	<b>496,5</b>
<b>Área disponível na faixa de pedestres (m<sup>2</sup>/ped)</b>	<b>11,7</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Comparando-se os valores obtidos com os intervalos apresentados na Tabela 4, verifica-se que, na calçada norte, onde a área de circulação na travessia calculada foi de 3,9

m<sup>2</sup>/ped, os pedestres têm necessidade ocasional de alteração do caminho, de modo a evitar conflitos. Já na calçada sul, a área disponível calculada de 11,7 m<sup>2</sup>/ped indica que, nesta travessia, os pedestres podem caminhar sem necessidade de alterar sua rota.

Observando-se o que acontece em campo, verifica-se que, de fato, na travessia norte-sul, os pedestres têm maior dificuldade de movimentação e, ocasionalmente, precisam desviar a rota para evitar conflitos com outros pedestres. Já na travessia sul-norte, onde há um menor fluxo de pedestres, estes têm maior liberdade de movimentação. Logo, pode-se considerar que a análise qualitativa realizada pelo HCM 2010 para a avaliação da área de circulação na travessia é condizente, nesta situação, com a realidade observada.

#### 4.2.2 Cálculo do atraso

O HCM define o atraso em interseções semaforizadas como o tempo em que pedestre passa parado esperando para realizar a travessia. Esse atraso, dado pela Equação 7, é função apenas do tempo de ciclo semafórico e do tempo de verde efetivo. Logo, o atraso calculado é o mesmo para as duas travessias. O tempo total de ciclo da interseção analisada é de 160 segundos e o tempo de verde efetivo é de 44 segundos. Logo, substituindo-se esses valores na Equação 7, obtêm-se um atraso parado de **39,2 s/ped** para ambas as travessias.

A Tabela 14 compara os resultados obtidos para o atraso nas duas travessias pelo método do HCM 2010 como o tempo de espera observado em campo. Comparando-se os resultados, verifica-se grande discrepância com relação ao tempo de espera observado na calçada sul, onde o erro percentual foi de 52%. Já na calçada norte, o atraso medido pelo HCM 2010 ficou bem mais próximo do tempo de espera observado em campo, com um erro percentual de 10%.

Tabela 14 – Comparação entre o atraso obtido pelo método do HCM e o tempo de espera observado

Local	Atraso pelo HCM (s/ped)	Tempo de espera médio observado (s/ped)	Erro percentual (%)
Calçada norte	39,2	35,5	10
Calçada sul	39,2	25,8	52

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Essa diferença pode ser explicada por alguns fatores. Primeiramente, é preciso ressaltar que o atraso calculado pelo HCM 2010 parte da premissa de que todos os pedestres respeitam a indicação semafórica, ou seja, o manual não considera a possibilidade de pedestres livres na interseção. O que se observou em campo, entretanto, foi que, na travessia partindo da calçada sul, havia um número considerável de pedestres violadores (59%), ou seja, aqueles que realizaram a travessia durante a indicação de sinal vermelho. Sabe-se, ainda, que quanto maior a parcela de pedestres violadores, menor será o tempo médio de espera na calçada. Logo, essa diferença entre o tempo de espera observado na calçada sul e o atraso do HCM já era esperada. Para reforçar essa argumentação, na travessia partindo da calçada norte, na qual o tempo de espera médio observado ficou próximo do atraso calculado pelo método do HCM, observou-se uma quantidade pequena de pedestres violadores (10%).

Assim, pode-se dizer que a metodologia do HCM 2010 para o cálculo de atraso em interseções semaforizadas é aplicável em situações em que não existam casos de violação da indicação semafórica por parte dos pedestres. Porém, o fato de o manual americano não representar esse tipo de comportamento pode ser considerado uma grande limitação, já que esse tipo de atitude é bastante corriqueiro, especialmente em grandes cidades, como é o caso de Fortaleza.

#### ***4.2.3 Determinação do nível de serviço da interseção***

De acordo com TRB (2010), o nível de serviço para pedestres de uma interseção semaforizada é determinado pela Tabela 1, a partir do valor de *escore-NS*, o qual é função da configuração geométrica da travessia, das características dos veículos que cruzam a interseção e do atraso sofrido pelos pedestres. Para cada uma das duas travessias analisadas, foi determinado um *escore-NS* e, conseqüentemente, um nível de serviço. O *escore-NS* foi calculado de acordo com a Equação 8, Equação 9, Equação 10, Equação 11 e Equação 12. A Tabela 15 mostra o nível de serviço das duas interseções analisadas.

Tabela 15 – Nível de serviço das interseções analisadas

<b>Travessia Banco do Brasil– canteiro central</b>		<b>Travessia North Shopping – canteiro central</b>	
Fator relacionado à geometria da interseção ( $F_w$ )	1,4	Fator relacionado à geometria da interseção ( $F_w$ )	1,2
Fator relacionado aos veículos que cruzam a interseção ( $F_s$ )	0,2	Fator relacionado aos veículos que cruzam a interseção ( $F_s$ )	0,4
Fator relacionado ao atraso sofrido pelos pedestres ( $F_{atraso}$ )	0,2	Fator relacionado ao atraso sofrido pelos pedestres ( $F_{atraso}$ )	0,2
<b>Escore-NS</b>	<b>2,4</b>	<b>Escore-NS</b>	<b>2,3</b>
<b>NS da interseção</b>	<b>B</b>	<b>NS da interseção</b>	<b>B</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

### 4.3 Simulação no VISSIM 9

Como dito anteriormente, optou-se por simular cinco cenários diferentes para cada uma das travessias. Em cada cenário variou-se a proporção de pedestres livres e não-livres. O detalhamento das características de cada cenário pode ser encontrado no Quadro 6. No próximo tópico, serão mostrados os resultados obtidos para todos os cenários relativos ao tempo de espera nas duas áreas analisadas. Em seguida, a partir de análise do erro percentual absoluto médio (EPAM) e da distribuição de frequência relativa dos tempos de espera, será determinado qual dos cenários melhor representa a realidade observada em cada travessia.

#### 4.3.1 Comparação dos cenários

O tempo de espera médio obtido nos cinco cenários para cada travessia estão apresentados na Tabela 16, juntamente com o desvio padrão. Já a Tabela 17 apresenta o intervalo de confiança, com 95% de nível de confiança, para as médias dos tempos de espera nas duas travessias.

Tabela 16 – Tempo de espera nos cenários (média e desvio padrão)

	Calçada sul (Banco do Brasil)		Calçada norte (North Shopping)	
	Média (s)	Desvio padrão (s)	Média (s)	Desvio padrão (s)
<b>Cenário 1</b>	44,0	38,8	44,6	38,4
<b>Cenário 2</b>	37,4	37,0	38,3	36,7
<b>Cenário 3</b>	30,6	33,8	31,4	33,8
<b>Cenário 4</b>	23,5	28,4	24,3	28,9
<b>Cenário 5</b>	17,0	20,5	16,9	20,4

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Tabela 17 – Intervalo de confiança para as médias dos tempos de espera dos respectivos cenários

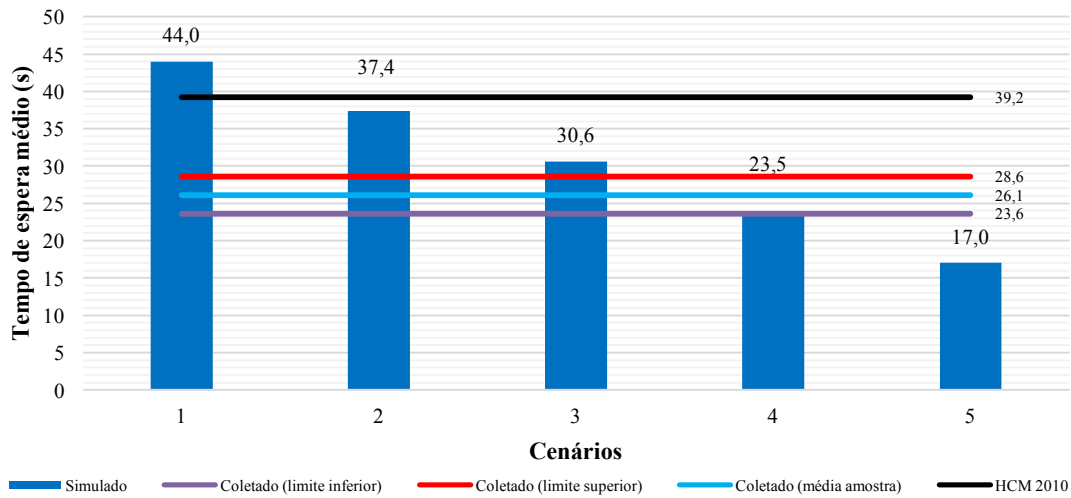
	Calçada sul (Banco do Brasil)	Calçada norte (North Shopping)
<b>Cenário 1</b>	43,0 < $\mu$ < 45,0	43,7 < $\mu$ < 45,53
<b>Cenário 2</b>	36,5 < $\mu$ < 38,3	37,5 < $\mu$ < 39,13
<b>Cenário 3</b>	29,8 < $\mu$ < 31,5	30,7 < $\mu$ < 32,2
<b>Cenário 4</b>	22,8 < $\mu$ < 24,3	23,6 < $\mu$ < 24,9
<b>Cenário 5</b>	16,5 < $\mu$ < 17,5	16,5 < $\mu$ < 17,4

Fonte: elaborada pelo autor (2017)

Desses resultados, é possível concluir que a medida em que se aumenta a proporção de pedestres livres há uma diminuição no tempo de espera médio na travessia. Além disso, percebe-se que, para cenários semelhantes, há pouca variação entre os tempos de espera obtidos. De fato, observando-se o intervalo de confiança para as duas travessias, pode-se dizer que, para um mesmo cenário, os tempos de espera são iguais. Logo, o que vai fazer com que haja diferença entre os tempos de espera são os comportamentos distintos entre os tipos de pedestres.

Foi feita uma comparação entre os tempos de espera simulados em cada cenário com o tempo de espera coletado em campo para cada travessia. Os gráficos que ilustram essa comparação podem ser vistos na Figura 24 e na Figura 25. O atraso obtido pelo método do HCM 2010 também foi incluído na comparação.

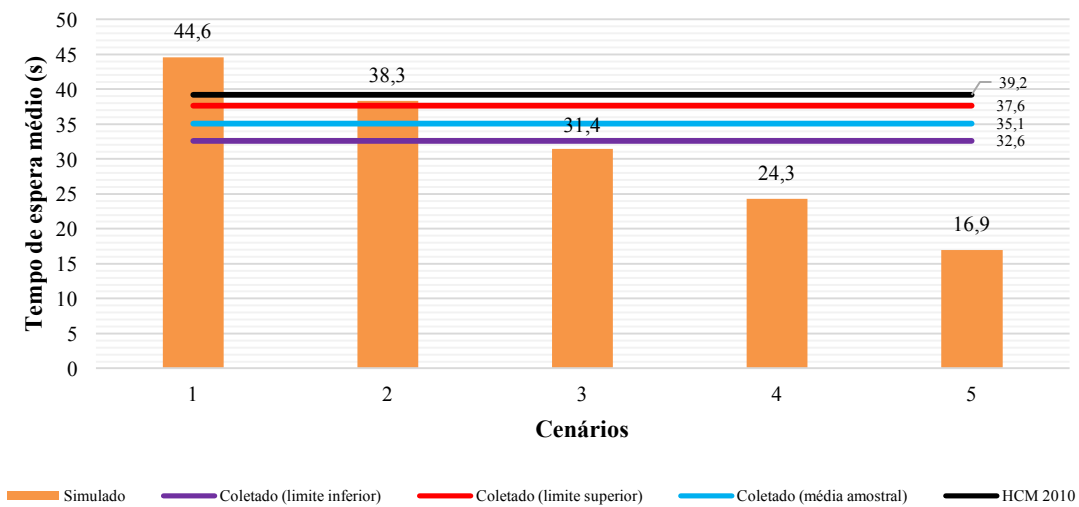
Figura 24 – Comparação entre os tempos de espera simulados e o coletado (calçada sul)



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Com os tempos de espera médios obtidos para cada cenário e o tempo de espera médio coletado em campo, calculou-se o erro percentual médio absoluto (EPMA) dos cinco cenários das duas travessias, comparando-os com os tempos de travessia da média amostral e com os limites inferior e superior da estimativa populacional (Tabela 12). Os resultados estão apresentados na Tabela 18 e na Tabela 19.

Figura 25 – Comparação entre os tempos de espera simulados e coletado (calçada norte)



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Tabela 18 – Erro médio absoluto dos tempos de espera (calçada sul)

<b>Calçada sul (Banco do Brasil)</b>			
<b>Cenário</b>	<b>EPMA (média da amostra)</b>	<b>EPMA (limite inferior)</b>	<b>EPMA (limite superior)</b>
1	69%	86%	54%
2	43%	58%	31%
3	17%	30%	<b>7%</b>
4	<b>10%</b>	<b>0%</b>	18%
5	35%	28%	40%

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Tabela 19 – Erro médio absoluto dos tempos de espera (calçada norte)

<b>Calçada norte (North Shopping)</b>			
<b>Cenário</b>	<b>EPMA (média da amostra)</b>	<b>EPMA (limite inferior)</b>	<b>EPMA (limite superior)</b>
1	27%	37%	19%
2	<b>9%</b>	18%	<b>2%</b>
3	11%	<b>4%</b>	16%
4	31%	26%	36%
5	52%	48%	55%

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

Verifica-se que, para a travessia da calçada sul, o cenário 3, que foi configurado com 50% de pedestres livres e 50% não livres, foi o que teve menor erro percentual, 7%, quando comparado ao limite superior da estimativa populacional do tempo de espera de campo. Já o cenário 4 (75% de pedestres livres e 25% de pedestres não livres) foi o que apresentou menor EPMA na comparação com a média da amostra coletada em campo e com o limite inferior da estimativa populacional, 9% e 4%, respectivamente. Na travessia norte, o cenário 2, com 25% de pedestres livres e 75% de pedestres não livres, foi que teve menor EPMA quando comparado à média amostral do tempo de espera de campo, 9%, e com o limite inferior da estimativa populacional, 2%. Em contrapartida, o cenário que apresentou menor EPMA em comparação ao limite superior da estimativa populacional foi o 3, no qual metade dos pedestres são livres e a outra metade é não livre.

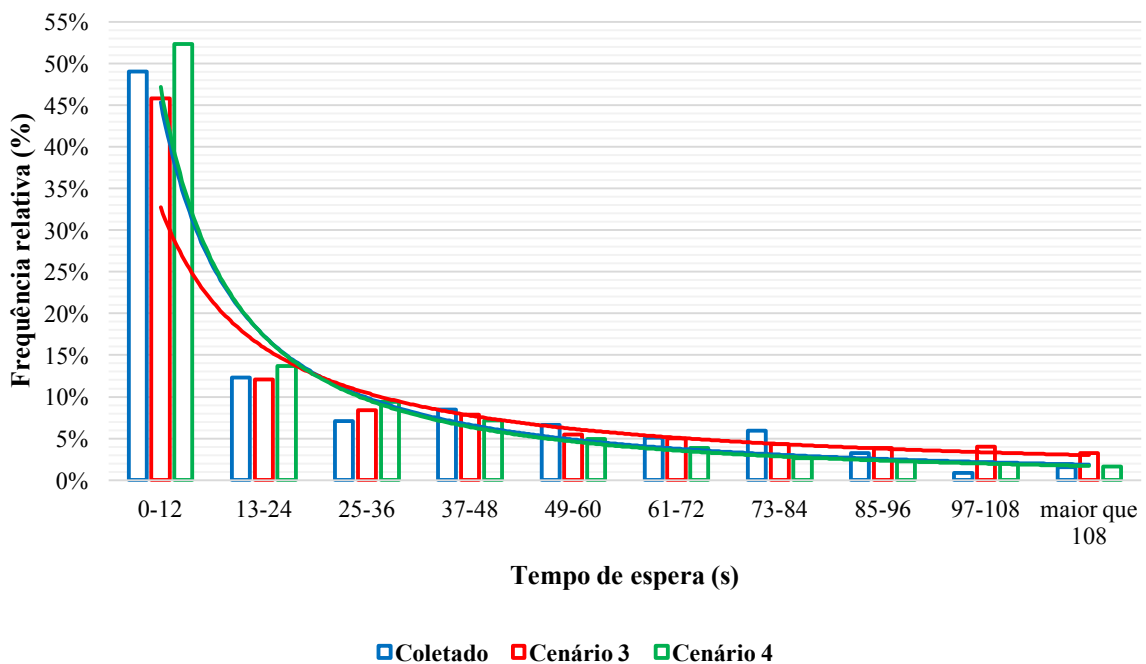
De fato, observou-se em campo que a travessia da calçada sul apresentou uma maior quantidade de pedestres violadores se comparada à travessia da calçada norte. Foram, em média, 59% de violadores no primeiro caso e apenas 10% de violadores no segundo. Com isso, esperava-se que um cenário com maior proporção de pedestres livres representasse de forma mais adequada a travessia da calçada, com relação ao tempo de espera médio. Enquanto isso,

na travessia da calçada norte a expectativa era de que um cenário com menor parcela de pedestres livres fosse a mais adequada, como de fato aconteceu.

Entretanto, para ambas as travessias, dependendo da medida de desempenho escolhida, existem dois cenários que podem corresponder bem ao que foi observado em campo. Para se ter uma melhor ideia de qual cenário é o que melhor representa cada uma das travessias, comparou-se as distribuições de frequência relativas dos tempos de travessia coletados em campo com as mesmas distribuições dos cenários, correspondentes a cada travessia. A Figura 26 e a Figura 27 mostram os resultados.

A partir da análise visual das curvas de distribuição de frequência relativa, chega-se a conclusão de que, para a travessia sul, o cenário 4 é o que mais se aproxima dos tempos de esperas coletados em campo. Já na travessia norte, a curva referente ao cenário 2 é a que mais se aproxima da curva com os tempos coletados, especialmente para valores de tempo de espera mais altos.

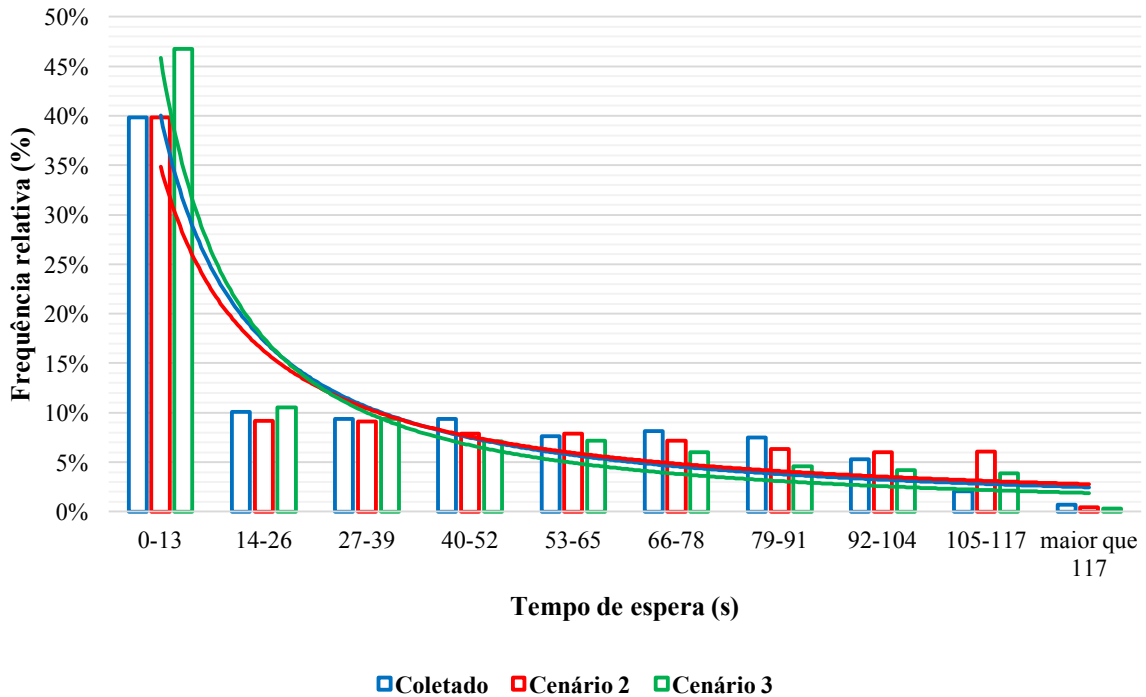
Figura 26 – Distribuição de frequência relativa dos tempos de espera (calçada sul)



Fonte: elaborado pelo autor (2017)



Figura 27 – Distribuição de frequência relativa dos tempos de espera (calçada norte)



Fonte: elaborado pelo autor (2017)

#### 4.4 Comparação dos modelos

Agora que as duas metodologias foram aplicadas e os resultados foram obtidos para as duas situações, é possível realizar uma análise quantitativa e qualitativa das duas abordagens propostas.

Qualitativamente, pela análise pelo método do HCM 2010 obteve-se como medida de atraso, equivalente ao tempo de espera no VISSIM 9, o valor de 39,2 segundos para as duas travessias analisadas. Comparando-se esse resultado com a média da amostra coletada em campo, o método do HCM 2010 apresentou um EPMA de 10% e 52% em relação às travessias da calçada norte e da calçada sul, respectivamente. Já no VISSIM 9, considerando os cenários que apresentaram menores erros com relação à mesma média amostral, forneceram EPMA de 9% e 10% para as travessias norte e sul, respectivamente.

Levando-se em conta apenas a travessia norte, nota-se que as duas metodologias apresentaram medidas de erro praticamente iguais. Isso pode ser explicado pelo fato de que nesta travessia, a influência do comportamento de violação da indicação do semáforo por parte dos pedestres era, em termos percentuais, praticamente irrelevante. Com isso, o método do

HCM 2010, que não considera esse tipo de comportamento, conseguir produzir resultados similares de tempo de espera quando comparado ao *software* de microssimulação.

Enquanto isso, na travessia sul, o erro observado na metodologia do manual americano foi bem maior do que o erro produzido pelo VISSIM 9. Como nesta travessia, o comportamento de violação por parte dos pedestres aconteceu com maior frequência, o método do HCM 2010 falhou em fornecer resultados de atraso compatíveis com os valores obtidos em campo. Já no VISSIM, que possibilita uma maior flexibilidade na construção de diferentes cenários de simulação, permitindo, inclusive, simular a violação por parte dos pedestres, foi possível construir um cenário em que se obtiveram tempos de espera com valores próximos aos valores da amostra coletada em campo.

Vale destacar, ainda, que o HCM 2010 realiza a modelagem de pedestres em um nível macroscópico, ou seja, não há a possibilidade de representar diferentes características entre os pedestres. Em contrapartida, no VISSIM 9, que modela a rede a partir de uma abordagem microscópica, o analista está livre para representar diferentes tipos de pedestres na simulação, na qual cada pedestre vai influenciar nos resultados obtidos.

Dadas todas essas considerações, conclui-se que, para a simulação de ambientes em que não haja grande complexidade no comportamento dos pedestres, cujo objetivo seja uma análise mais simplificada da infraestrutura existente, o método do HCM 2010 é preferível ao do VISSIM 9. Isso, pelo fato de que a primeira abordagem é bem menos exigente em relação à segunda, principalmente quanto a aspectos de dedicação de tempo e economia. Já para cenários mais complexos, nos quais verifica-se a importância de representar bem os comportamentos dos diferentes integrantes da rede para a obtenção de uma análise mais apurada, é recomendado a utilização de microssimuladores, como o VISSIM 9.

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Conforme estabeleceu-se como objetivo geral desse trabalho, realizou-se uma comparação entre as metodologias propostas pelo HCM 2010 e pelo microssimulador VISSIM 9 para a avaliação do tempo de espera de pedestres em travessias de interseções semaforizadas. Quanto à primeira abordagem, o que se pode concluir é que ela apresenta uma metodologia pouco flexível, passível de utilização apenas em cenários bastante específicos, mas válida para análises mais simplificadas, nas quais a representação de diferentes comportamentos dos pedestres não é relevante. Alternativamente, a simulação de pedestres no VISSIM 9 possibilita a representação de diversos cenários, além de diferentes comportamentos por parte dos pedestres. O uso do módulo Viswalk, aliado à possibilidade de utilizar o modelo de força social de Helbing e Mölnar (1995), traz a possibilidade de simular o comportamento de pedestres em inúmeras situações, desde travessias em uma interseção semaforizada até situações de evacuação de estádios de futebol, por exemplo.

Com relação ao primeiro objetivo específico determinado para esse estudo, definiu-se o tempo de espera para a realização da travessia como a medida de desempenho a ser avaliada para a comparação dos dois modelos. Percebe-se que essa medida avalia bem a diferença dos resultados obtidos quando se considera o comportamento dos pedestres que violam a indicação semafórica de “não atravesse”. A partir dela, foi possível verificar as diferenças entre os modelos do HCM 2010 e do VISSIM 9, considerando essa característica. Entretanto, é recomendável que outros trabalhos façam essa comparação utilizando, além dessa, outras medidas de desempenho, como o tempo de travessia ou a velocidade de caminhada dos pedestres, por exemplo.

O segundo objetivo específico dessa pesquisa foi o estabelecimento de uma metodologia de coleta dos dados necessários para a análise. Como já dito anteriormente, parte dos dados utilizados foram coletados através de observações de campo, enquanto outra parte foi coletada a partir de vídeos de fiscalização eletrônica. A obtenção dos dados através dos vídeos foi feita de forma manual, a partir de observações visuais. Sabe-se, porém, que, realizando a coleta de dados de forma manual, a probabilidade de ocorrência de erros durante essa fase é maior. Portanto, recomenda-se que, em pesquisas futuras sobre o assunto, busque-se a utilização de recursos mais precisos, como *softwares* de rastreamento, para a coleta de dados utilizando vídeos.

Finalmente, os últimos objetivos específicos estabelecidos foram a aplicação das duas metodologias propostas: HCM 2010 e VISSIM 9. O primeiro, por ser uma metodologia bastante

simples, não apresentou dificuldades em sua execução. Já a simulação no VISSIM 9 impôs uma necessidade de uma maior atenção a detalhes, especialmente na codificação da rede.

Ainda com relação à simulação realizada no VISSIM 9, cabem aqui algumas recomendações para trabalhos futuros nessa área. A primeira delas está relacionada aos parâmetros de aceitação de brechas por parte dos pedestres. Neste trabalho, estabeleceu-se um único parâmetro de brecha crítica para as duas travessias analisadas. Isso foi feito em virtude da limitação do tamanho da amostra de brechas aceitas pelos pedestres na travessia da calçada norte (North Shopping), o que ocasionou a necessidade de se combinar os valores obtidos nas duas travessias. Porém, sugere-se investigar a estimação do parâmetro de brecha crítica para cada travessia analisada, visto que diferenças nas características destas pode afetar o valor desse parâmetro, como pode sugerir a diferença observada entre as proporções de pedestres violadores entre as duas travessias (Figura 20).

A segunda recomendação refere-se à calibração e validação dos parâmetros do modelo comportamental de força social do VISSIM. Nesta pesquisa, devido a limitações de tempo, toda a análise foi realizada com esses parâmetros em valores *default*. Assim, não foi possível observar como a variação do padrão comportamental dos diferentes tipos de pedestres, dada por esses parâmetros, influenciaria nos resultados obtidos da análise. Portanto, recomenda-se que os próximos trabalhos incluam uma etapa de calibração e validação dos parâmetros do modelo de força social, de modo a verificar a influências destes nas medidas de desempenho analisadas.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Alessandro Macêdo de. **Modelagem do tráfego em interseções não semaforizadas de Fortaleza com o uso de simulação microscópica**. Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2016.
- ARAÚJO, Davi. R. C. *et al.* **Método de calibração de modelos de microsimulação através de otimização multivariada**. Revista Transportes, vol. XII, p. 5 – 12, 2003.
- ARIOTTI, Paula. **Análise do Padrão de Comportamento de Pedestres em Travessias Semaforizadas**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2006.
- AYALA, Rosemary J. L. **Procedimento para identificação dos principais parâmetros dos microsimuladores a serem considerados no processo de calibração**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF., 2013.
- BANKS, James H. **Performance Measurement for Traffic Management Systems**. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, v. 1643, p. 39 – 45, 1998.
- BARCELÓ, Jaime; CASAS, Jordi. **Methodological Notes on the Calibration and Validation of Microscopic Traffic Simulation Models**. TRB 83th Annual Meeting. Washington D.C. 2004.
- BÖNISCH, Cornelia; KRETZ, Tobias. **Simulation of pedestrians crossing a street**. arXiv preprint arXiv:0911.2902, 2009.
- CHANDRA, Satish; RASTOGI, Rajat; DAS, Vivek R. **Descriptive and parametric analysis of pedestrian gap acceptance in mixed traffic conditions**. KSCE journal of civil engineering, v. 18, n. 1, p. 284, 2014.
- CHIN, Shih-Miao *et al.* **Toward National Indicators of Vehicle Travel and Traffic Congestion Based on Real-Time Traffic Data**. Transportation Research Record, v. 1660, p. 132 – 139, 1999.
- CHU, Lianyu *et al.* **A Calibration Procedure for Microscopic Traffic Simulation**. TRB 83th Annual Meeting. Washington D.C. 2004.
- COELHO, Eduardo Cezar. **Avaliação dos níveis de congestionamento em vias arteriais com a utilização da micro-simulação**. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ., Brasil, 2009.
- COLELLA, Diogo A. T. *et al.* **Calibração e validação do modelo fluxo-velocidade do integration para vias urbanas semaforizadas**. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

- CROOKS, Andrew T.; HEPPENSTALL, Alison J. **Introduction to agent-based modelling**. In: Agent-based models of geographical systems, p. 85 – 105. Springer Netherlands, 2012.
- DAS, Sanghamitra; MANSKI, Charles F.; MANUSZAK, Mark D. **Walk or wait? An empirical analysis of street crossing decisions**. Journal of Applied Econometrics, v. 20, n. 4, p. 529 – 548, 2005.
- DEUSDADO, Leonel; BELO, Orlando; FERNANDES, António Ramires. **Simulação comportamental de pedestres em ambientes 3D desconhecidos**. In: Proceedings of the Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de la Información. 2008.
- ELEFTERIADOU, Lily. **An Introduction to Traffic Flow Theory**. Springer Optimization and its Applications, Springer v. 84, New York, USA 2014.
- EXPÓSITO MARTÍN, Lisel. **Metodologia de modelagem microscópica de corredores urbanos multimodais**. Qualificação de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 2017.
- FERREIRA, Marcos A. G.; SANCHES, Suely P. **Índice de qualidade das calçadas – IQC**. Revista dos Transportes Públicos – ANTP – Ano 23 – 2º trimestres, p. 47 – 60, 2001.
- FITZPATRICK, K.; S.M. Turner; M.A. Brewer; P.J. Carlson; N. Lalani; B.R. Ullman; N.D. Trout; E. Park; D. Lord e J.A. Whitacre. **Improving Pedestrian Safety at Unsignalized Crossings**. NCHRP Report. 562. Transportation Research Board, 2006.
- FRIIS, Cecilia; SVENSSON, Lina. **Pedestrian Microsimulation. A comparative study between the software programs Vissim and Viswalk**. Master of Science Thesis, Master's Programme Infrastructure and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2013.
- GALLIN, Nichole. **Quantifying pedestrian friendliness – Guidelines for assessing pedestrian level of service**. Road and Transport Research, v. 10, p. 47 – 55, 2001.
- GUALBERTO, Frederico; BARBOSA, Heloísa M. **Estudo dos fatores que influenciam o comportamento de pedestres em travessias de vias urbanas**. XXX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.
- HELBING, Dirk. **A fluid dynamic model for the movement of pedestrians**. arXiv preprint cond-mat/9805213, 1998.
- HELBING, Dirk; JOHANSSON, Anders. **Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics**. arXiv preprint arXiv:1309.1609, 2013.
- HELBING, Dirk; MÖLNAR, Péter. **Social force model for pedestrian dynamics**. Physical Review E, v. 51, p. 4282 – 4286, 1995.
- HOLLANDER, Yaron; LIU, Ronghui. **The principles of calibrating traffic microsimulation models**. Transportation, v. 35, p. 347 – 362, 2008.

ILTANEN, Sanna. **Cellular automata in urban spatial modelling**. In: Agent-based models of geographical systems. p. 69 – 84, Springer Netherlands, 2012.

JACOBSEN, André C.; CYBIS, Helena. B. B. **Microssimulação da travessia de pedestres: coleta de dados para calibração de modelos**. Transportes, v. 19, p. 79 – 86, 2011.

JASKIEWICZ, Frank. **Pedestrian Level of Service Based on Trip Quality**. Transportation Research Circular E – CO19, p. 14, 2000.

JOHANSSON, Anders; HELBING, Dirk. **Analysis of empirical trajectory data of pedestrians**. In: Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008. p. 203 – 214, Springer Berlin Heidelberg, 2010

JOHANSSON, Anders; KRETZ, Tobias. **Applied pedestrian modeling**. In: Agent-based models of geographical systems. p. 451 – 462, Springer Netherlands, 2012.

JOHANSSON, Anders; HELBING, Dirk; SHUKLA, Pradyumn K. **Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data**. Advances in complex systems, v. 10, n. supp02, p. 271 – 288, 2007.

KADALI, B. Raghuram; VEDAGIRI, P. **Modelling pedestrian road crossing behaviour under mixed traffic condition**. European transport, v. 55, n. 3, p. 1 – 17, 2013.

KO, Moonsoo; KIM, Taewan; SOHN, Keemin. **Calibrating a social-force-based pedestrian walking model based on maximum likelihood estimation**. Transportation, v. 40, n. 1, p. 91 – 107, 2013.

KRETZ, Tobias; HENGST, Stefan; VORTISCH, Peter. **Pedestrian flow at bottlenecks-validation and calibration of vissim's social force model of pedestrian traffic and its empirical foundations**. arXiv preprint arXiv:0805.1788, 2008.

LACERDA, Victor M.; CASTRO-NETO, Manoel M. **Considerações sobre a calibração do modelo de *car-following* do VISSIM para vias arteriais urbanas**. Anais do XXVIII Congresso ANPET. Curitiba, PR, 2014.

LACERDA, Victor M. **Metodologia de calibração dos modelos comportamentais do microssimulador VISSIM para vias arteriais urbanas**. Dissertação de Mestrado -Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 2016.

LAGERVALL, Malin; SAMUELSSON, Sandra. **Microscopic Simulation of Pedestrian Traffic in a Station Environment: A Study of Actual and Desired Walking Speeds**. Master's Thesis of Science in Communication and Transport Engineering, Linköping University. Norrköping, Sweden, 2014.

LIBDE, Abhay *et al.* **Comparative study os Simulated Annealing and Genetic Algorithm for Calibration of Microssimulation Model**. TRB 95<sup>th</sup> Annual Meeting. Washington D.C. 2016.

LIU, Yung-Ching; TUNG, Ying-Chan. **Risk analysis of pedestrians' road-crossing decisions: Effects of age, time gap, time of day, and vehicle speed.** *Safety Science*, v. 63, p. 77 – 82, 2014.

MANJUNATHA, Pruthvi *et al.* **Methodology for the calibration of VISSIM in Mixed Traffic.** TRB 92th Annual Meeting. Washington D.C. 2013

MEDEIROS, André L. *et al.* **Calibração de Redes Viárias Urbanas Microssimuladas com o uso de Algoritmos Genéticos.** Anais do XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Belém, 2013.

MELLO, Mônica B. A. **Estudo das variáveis que influenciam o desempenho das travessias de pedestres em semáforos.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

MUSSE, Soraia R. *et al.* **Crowd modelling in collaborative virtual environments.** In: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology. p. 115-123, ACM, 1998.

NISHINARI, Katsuhiro *et al.* **Extended floor field CA model for evacuation dynamics.** *IEICE Transactions on information and systems*, v. 87, n. 3, p. 726-732, 2004.

O'SULLIVAN, David; HAKLAY, Mordechai. **Agent-based models and individualism: is the world agent-based?.** *Environment and Planning A*, v. 32, n. 8, p. 1409-1425, 2000.

PARK, Brian; QI, Maggie. **Development and Evaluation of a Procedure for the Calibration of Simulation Models.** *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, v. 1934, p. 208-217, 2005

PTV – PLANUNG TRANSPORT VERKEHR AG. **PTV VISSIM 9 User's Manual.** Karlsruhe: PTV AG, 2016.

SANTOS, Paula M. **Método de calibração de um modelo veículo seguidor para BRT e ônibus em corredor segregado.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2013.

SUH, Wonho *et al.* **Modeling pedestrian crossing activities in an urban environment using microscopic traffic simulation.** *Simulation*, v. 89, n. 2, p. 213-224, 2013.

SUN, Dazhi *et al.* **Modeling of motorist-pedestrian interaction at uncontrolled mid-block crosswalks.** *Urbana*, v. 51, p. 61801, 2002.

TOLEDO, Tomer; KOUTSOPOULOS, Haris N. **Statistical validation of simulation models.** *Journal of the Transportation Research Board*, v. 1876, p. 161-181, 2004.

TOLEDO, Tomer *et al.* **Calibration and validation of microscopic traffic simulation tools: Stockholm case study.** *Journal of the Transportation Research Board*, v. 1831, p. 65-75, 2003.



TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). **Highway Capacity Manual**. Washington, D.C. Transportation Research Board, 2010.

WERBERICH, Bruno R. *et al.* **Análise e simulação de comportamentos de pedestres em momento de travessia**. PANAM, 2012.

WIEDEMANN, Reiter; REITER, U. **Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state**. Project ICARUS (V1052) Final Report, v. 2, p. 1-53, 1992.

ZHOU, Ronggang; HORREY, William J.; YU, Ruifeng. **The effect of conformity tendency on pedestrians' road-crossing intentions in China: An application of the theory of planned behavior**. *Accident Analysis & Prevention*, v. 41, n. 3, p. 491-497, 2009.

ANEXO A – PARÂMETROS DO MODELO DE FORÇA SOCIAL UTILIZADOS NO VISSIM 9

PARÂMETROS DO MODELO DE FORÇA SOCIAL		
Parâmetro	Descrição	Valor <i>Default</i>
<i>tau</i> ( $\tau$ )	Parâmetro relacionado ao tempo de reação do pedestre. Determina a aceleração, a partir da velocidade desejada	0,4s
<i>lambda_mean</i> ( $\lambda$ mean)	Quanto maior esse parâmetro, mais o pedestre será influenciado por pessoas atrás dele	0,3
<i>A_soc_isotropic</i> <i>B_soc_isotropic</i>	Compõem um dos termos da força de repulsão exercida por outros pedestres. <i>A_soc_isotropic</i> determina a intensidade dessa força e <i>B_soc_isotropic</i> o limite de distância a partir da qual o pedestre será influenciado por outros	2,72 m/s <sup>2</sup> 0,2m
<i>A_soc_mean</i> <i>B_soc_mean</i> VD	Compõem o segundo termo da força de repulsão exercida por outros pedestres. <i>A_soc_mean</i> refere-se à intensidade dessa força, <i>B_soc_mean</i> ao alcance e VD ao tempo considerado de aproximação entre dois pedestres para o cálculo da força de repulsão entre eles	0,4 m/s <sup>2</sup> 2,8m 3s
<i>noise</i>	Quanto maior esse parâmetro, maior será uma força aleatória gerada para compor as flutuações referente ao comportamento inesperado dos pedestres, quando estes se encontram abaixo da velocidade desejada por um certo período de tempo	1,2
<i>react_to_n</i>	Regula a quantidade de pessoas (n) que exercerão influência sobre o pedestre	8
<i>queue_order</i> <i>queue_straightness</i>	Esses parâmetros combinados determinam o grau de organização das filas formadas pelos pedestres. Ambos os parâmetros podem assumir valores de 0-1. Quanto mais próximo de 1, mais organizadas serão as filas	0,7 0,6
<i>side_preference</i>	Esse parâmetro define por qual lado o pedestre irá passar ao cruzar com outros pedestres em direção oposta. O valor 1 define que o pedestre irá sempre passar pela esquerda, enquanto o valor -1 determina que o pedestre irá passar sempre pela direita. E finalmente, o valor 0 define uma decisão aleatória	0

Fonte: elaborado pelo autor (2017)

ANEXO B – PARÂMETROS GLOBAIS DO MODELO COMPORTAMENTAL DE  
PEDESTRES NO VISSIM 9

PARÂMETROS GLOBAIS		
Parâmetro	Descrição	Valor <i>Default</i>
<i>grid_size</i>	Refere-se à distância máxima na qual os pedestres exercem influência uns aos outros. Computacionalmente, os pedestres são alocados em um grid com células de <i>grid_size</i> x <i>grid_size</i> m <sup>2</sup>	5m
<i>routing_obstacle_distance</i>	Esse parâmetro refere-se à distância na qual um obstáculo irá exercer influência na escolha de rota estática dos pedestres na rede	0,5m
<i>cell_size</i>	Esse parâmetro define a distância entre os pontos de controle determinados para o cálculo das distâncias até o destino final do pedestre	0,15m
<i>never_walk_back</i>	Esse parâmetro é usado para definir se o pedestre deve parar quando o ângulo entre a direção do movimento e a direção desejada for maior que 90°. O usuário deve definir o valor de 1 caso deseje que o pedestre pare. Caso contrário, deve-se	0
<i>dynamic_potential_g</i>	Esse parâmetro considera o atraso causado por células ocupadas em relação a células não-ocupadas para o cálculo da escolha de rota dinâmica. Quanto maior o valor desse parâmetro, maior será o atraso calculado	1,5
<i>dynamic_potential_h</i>	Esse parâmetro define a influência da velocidade na estimativa do tempo de viagem de uma célula para o cálculo da escolha de rota dinâmica. Quanto maior o valor do parâmetro, maior será a influência	1,5
<i>dynamic_potential_direction_change_cipping</i>	Esse parâmetro é usado para determinar se o ângulo entre a rota mais rápida e a rota mais curta poderá aumentar acima de determinado valor. Ele pode assumir o valor 0 ou 1. Se o valor for 1 há um limite, a ser determinado pelo parâmetro <i>dynamic_potential_direction_change_p</i> . Usa-se o valor 0, caso contrário	1
<i>dynamic_potential_direction_change_p</i>	É o acréscimo máximo permitido para o ângulo entre a rota mais rápida e a rota mais curta	4°

Fonte: elaborado pelo autor (2017)