



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

MATHEUS CAVALCANTE ALBINO

**MODELAGEM DA OPERAÇÃO DE UMA PARADA DE ÔNIBUS COM O USO DA
MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO**

FORTALEZA

2017

MATHEUS CAVALCANTE ALBINO

MODELAGEM DA OPERAÇÃO DE UMA PARADA DE ÔNIBUS COM O USO DA
MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia de Transportes 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)

A295m

Albino, Matheus Cavalcante.

Modelagem da operação de uma parada de ônibus com o uso da microssimulação de tráfego / Matheus Cavalcante Albino. – 2017.

51 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. Transporte público. 2. Microssimulação de tráfego. 3. VISSIM. I. Título.

CDD 620

MATHEUS CAVALCANTE ALBINO

MODELAGEM DA OPERAÇÃO DE UMA PARADA DE ÔNIBUS COM O USO DA
MICROSSIMULAÇÃO DE TRÁFEGO

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

Aprovada em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

A Deus.

Aos meus pais, Auxiliadora e Ricardo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças alcançadas e pela vida.

A minha família, por estar sempre comigo em todos os momentos, minha mãe, Auxiliadora, meu pai, Ricardo, meu irmão João Vitor e todos os que estiveram ao meu lado e que acreditaram no meu potencial.

A minha namorada, Larissa, por ter sido compreensiva e dedicada, estando ao meu lado nessa etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Manoel Mendonça de Castro Neto, pela excelente orientação, paciência, disponibilidade e por acreditar nesse projeto.

Aos professores participantes da banca examinadora, Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto e Prof. Dr. Mário Angelo Nunes de Azevedo Filho, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos meus amigos do GTTEMA, por toda ajuda para a realização desse projeto em todas as etapas, em especial Lisel, promovendo estudo e conhecimento a respeito de tantos assuntos.

Ao Prof. Dr. Luís Gonzaga Rodrigues Filho, pela oportunidade de ter sido monitor da disciplina de Física Fundamental, por todo respeito e amizade construídos nesse tempo.

Aos amigos que a faculdade me proporcionou, em especial Artur Costa, Clereston, Felipe Oscar, Filipe Araújo, Larissa Sena, Rafael, Rosângela, Vitor Werton e Webert e todos os outros que fizeram desse momento da faculdade algo tão marcante, com tantas conversas, situações e sonhos.

Aos meus amigos antigos e de infância, Edvaldo, Fernando, Hicaro, Ismael, Júnior, Marcos, Pedro e Whanderson pela ajuda e apoio ao longo dessa caminhada.

A todos os meus professores que contribuíram ao longo da minha formação, transmitindo conhecimentos e tantos valores inerentes à profissão de Engenheiro Civil.

Obrigado a todos que, de alguma forma, contribuíram com este trabalho.

“A cidade avançada não é aquela em que os pobres andam de carro, mas aquela em que os ricos usam transporte público.” (Enrique Peñalosa)

RESUMO

A microssimulação de tráfego se mostra uma importante ferramenta para o estudo da operação do transporte público. Esse tipo de transporte precisa ser muito bem estudado tendo em vista a influência que ele exerce na vida das pessoas e na sociedade. Assim, o trabalho apresenta como objetivo a modelagem da parada BRT: Estação North Shopping, localizada em Fortaleza, no Ceará, com o uso da microssimulação de tráfego a partir da utilização do *software* VISSIM. Primeiramente, foram feitas visitas em que foi possível o registro de informações inerentes ao entorno da parada BRT em estudo, às linhas de ônibus que operam na parada BRT e aos veículos que são utilizados. Posteriormente, foi feita uma coleta de dados em dias considerados típicos de serviço de maneira a obter, dentre outros parâmetros, o tempo parado na parada, os *headways* e a quantidade de passageiros embarcando e desembarcando para cada linha de ônibus. Após isso, a rede pertencente ao estudo, contendo a parada BRT em análise, foi simulada com os dados de um dos dias de coleta por três métodos: *distribuição de tempo*, *modelo avançado de passageiros* e *Viswalk*. O modelo representou bem a operação do dia 5 de setembro em que foi modelada a rede e foi validado com o uso do modelo em outro dia de coleta (14 de setembro), tendo como medida-alvo de desempenho o tempo parado das linhas da parada. Foi possível avaliar a operação da parada BRT em estudo a partir das médias dos tempos parado e dos *headways* das linhas, obtendo valores que são abaixo do que geralmente se encontra na literatura para o horário em análise, mostrando que a operação está sendo bem realizada. Com o modelo validado, foi possível verificar as limitações do seu uso e estimar a operação em cenários futuros. Por fim, verificou-se a funcionalidade da microssimulação de tráfego na análise, planejamento e operação do sistema de transporte, devendo o usuário conhecer as limitações, premissas, vantagens e desvantagens dos modelos criados e o custo inerente a esse tipo de análise.

Palavras-chave: Transporte público. Microssimulação de tráfego. VISSIM.

ABSTRACT

Traffic microsimulation is an important tool for studying the operation of public transportation. This type of transport needs to be well studied in view of the influence it has on people's lives and society. Thus, the objective of this work is to model the BRT: North Shopping Station, located in Fortaleza, Ceará, Brazil, using VISSIM traffic microscopic simulator. Firstly, field observations were made to collect the information about the surroundings of the BRT station under study, the bus lines operating at the BRT station, and the vehicles that are used. Subsequently, data were collected on days considered typical of service in order to obtain, among other parameters, the dwell time, the headways and the number of passengers boarding and alighting for each bus line. After that, the BRT station under analysis was simulated with data from one of the collection days by three methods provided by VISSIM: time distribution, advanced passenger model and Viswalk. The model simulated the operation of September 5th, and model was validated with data collected on September 14th, with the target performance measure being the bus dwell times. It was possible to evaluate the operation of the BRT stop under study from the means of the dwell times and the headways of the lines, obtaining values that are below what is usually found in the literature for the time in analysis, showing that the operation is being well performed. With the validated model, it was possible to verify the limitations of its use and to estimate the operation in future scenarios. Finally, the functionality of the traffic microsimulation was assessed for the analysis, planning, and operation of the transportation system, concluding that the user should be aware of the limitations, assumptions, advantages and disadvantages of the models created and the cost inherent to this type of tool.

Keywords: Public transportation. Traffic microsimulation. VISSIM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Distribuição empírica realizada no <i>software</i> VISSIM	17
Figura 2	– Distribuição de probabilidade para o uso das portas em um transporte público no <i>software</i> VISSIM	18
Figura 3	– Parâmetros necessários ao <i>modelo avançado de passageiros</i>	20
Figura 4	– Parâmetros necessários ao <i>Viswalk</i>	22
Figura 5	– Parâmetros necessários à linha de transporte público	24
Figura 6	– Geração dos momentos de entrada do transporte público na rede	24
Figura 7	– Etapas metodológicas do estudo	26
Figura 8	– Exemplo de imagens internas da estação BRT	27
Figura 9	– Filmagens próprias da estação BRT	28
Figura 10	– Localização da parada BRT em análise	32
Figura 11	– Ônibus Comum Padron característico das linhas 222 e 026	33
Figura 12	– Ônibus Articulado característico da linha 200	33
Figura 13	– Representação de parte da rede simulada	34

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição dos <i>headways</i> para a linha 026	35
Gráfico 2 – Distribuição dos <i>headways</i> para a linha 200	35
Gráfico 3 – Distribuição dos <i>headways</i> para a linha 222	36
Gráfico 4 – Distribuição dos tempos parado para a linha 026	37
Gráfico 5 – Distribuição dos tempos parado para a linha 200	37
Gráfico 6 – Distribuição dos tempos parado para a linha 222	37
Gráfico 7 – Probabilidade da velocidade desejada (km/h) para cada tipo de pedestre presente na amostra	39
Gráfico 8 – Estimativa do tempo parado das linhas com o aumento da demanda	47
Gráfico 9 – Embarque com o aumento da demanda	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor da estatística de teste e do valor crítico de acordo com a distribuição dos <i>headways</i>	36
Tabela 2 – Valor da estatística de teste e do valor crítico de acordo com a distribuição dos tempos parado	38
Tabela 3 – Composição dos pedestres que utilizam a parada BRT	39
Tabela 4 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 5 de setembro (Linha 26)	40
Tabela 5 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 5 de setembro (Linha 200)	40
Tabela 6 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 5 de setembro (Linha 222)	40
Tabela 7 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 14 de setembro (Linha 26).....	41
Tabela 8 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 14 de setembro (Linha 200) ...	41
Tabela 9 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 14 de setembro (Linha 222) ...	41
Tabela 10 – Tempo parado médio: método da <i>distribuição de tempo</i>	42
Tabela 11 – Tempo parado médio: <i>modelo avançado de passageiros</i>	43
Tabela 12 – Tempo parado médio: método <i>Viswalk</i>	44
Tabela 13 – Validação do modelo com o dia 14 de setembro	45
Tabela 14 – Valores típicos de sistema de BRT existentes	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos	14
1.3	Estrutura do trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	A operação da parada BRT: o tempo de parada	16
2.2	A modelagem do transporte público por ônibus no <i>software</i> VISSIM	17
3	MÉTODO	26
3.1	Definição da área de estudo	26
3.2	Coleta de dados para a codificação	26
3.3	Codificação da rede	28
3.4	Modelagem da rede por <i>distribuição de tempo, modelo avançado de passageiros e Viswalk</i>	30
3.5	Validação do modelo	30
3.6	Caracterização do desempenho operacional atual	30
3.7	Limitações do modelo e estimação do desempenho operacional em cenários futuros	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Definição da área de estudo	32
4.2	Codificação da rede	34
4.3	Modelagem da rede por <i>distribuição de tempo, modelo avançado de passageiros e Viswalk</i> – dia 5 de setembro	42
4.4	Validação do modelo – dia 14 de setembro	45
4.5	Caracterização do desempenho operacional atual	46
4.6	Limitações do modelo e estimação do desempenho operacional em cenários futuros	46
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, devido ao grau de desenvolvimento das cidades, o transporte urbano é questão fundamental para que os cidadãos possam acessar bens e serviços em uma sociedade. Ferraz e Torres (2004) destaca que mais de 80% da população brasileira reside nas cidades. Essa concentração de pessoas no meio urbano demanda, de maneira considerável, diferentes serviços que são de extrema importância como, por exemplo, saneamento básico, fornecimento de energia elétrica, iluminação pública e o transporte urbano. Ainda de acordo com o autor, o transporte urbano é responsável pelos deslocamentos das pessoas e dos produtos, movimentando as diferentes atividades comerciais, industriais, educacionais, recreativas, etc., fazendo com que a mobilidade proporcionada por ele seja um fator decisivo no processo de desenvolvimento econômico e social das cidades.

Um importante tipo de transporte urbano é o transporte público coletivo, sendo caracterizado por permitir, no mesmo momento, o transporte de várias pessoas em um mesmo veículo. No caso de Fortaleza, o Anuário de Transporte Público de Fortaleza (2010) aborda o fato de que o volume de passageiros transportados pelo transporte coletivo urbano entrou em declínio por volta de 1996, seguindo uma tendência decrescente até 2004, iniciando uma suave retomada a partir de 2005. É sugerido que essa retomada seja justificada pela situação econômica do país, com contínuos aumentos no salário mínimo e, localmente, incentivada com a manutenção da tarifa congelada de 2005 a 2009.

Segundo Sousa (2016), para aumentar a atratividade do sistema de transporte público por ônibus, apresentam-se como estratégias as alterações na operação e na infraestrutura viária, como a aplicação e uso de bilhetes únicos e integração temporal, preferência ao transporte público em interseções semaforizadas (*Transit Signal Priority*) e criação de faixas ou corredores preferenciais (*Bus Rapid Service*) e exclusivos (*Bus Rapid Transit*). O Manual de BRT (2008) cita que o *Bus Rapid Transit* (BRT) se encontra entre um dos mecanismos de custo mais eficientes e que possibilita com que as cidades possam desenvolver rapidamente um sistema de transporte público que possa se expandir por uma rede completa, promovendo um serviço veloz e de excelente qualidade.

De acordo com NTU (2014), os benefícios das faixas exclusivas são vários, como permitir a prioridade no sistema viário ao transporte coletivo; aumento da velocidade operacional dos ônibus; diminuição do tempo que os passageiros ficam dentro dos veículos; impacta positivamente nos deslocamentos individuais; permite maior fluidez na circulação viária para os ônibus; permite a racionalização da operação com otimização da frota; aumenta

a produtividade do transporte público sobre pneus; permite a redução dos custos do transporte público e, conseqüentemente, contribui para a modicidade tarifária e facilita a integração com os outros modos de transporte, permitindo o devido compartilhamento de espaços na cidade, de forma justa e racional.

Devido à importância que o transporte público urbano apresenta para as cidades, são necessários estudos cuidadosos nessa área de maneira a dar base para diferentes análises que podem ser feitas no transporte urbano nas mais variadas situações. Uma das ferramentas que podem ser utilizadas para dar suporte ao estudo na área de transporte é a simulação.

Na área de transportes, a simulação é utilizada para estudar vários aspectos do sistema, incluindo operações portuárias, aeroportuárias e ferroviárias, modelagem de demanda, interações entre uso do solo e transportes e operações de trânsito (ELEFTERIADOU, 2014).

O uso dessa técnica de simulação em programas computacionais, com a criação de modelos, permite o estudo de diferentes cenários do sistema, havendo a possibilidade de incluir, nessa análise, diferentes meios de transporte, como automóveis, ônibus, etc., permitindo, ainda, a consideração de efeitos individuais a cerca de características dos veículos e dos usuários e, dessa forma, obter dados referentes a todos os veículos de maneira detalhada, sendo esse tipo de análise característica de um tipo de simulação que é a microssimulação.

Para Owen *et al.* (1996), o modelo pode ser definido como uma aproximação, representação ou idealização de aspectos selecionados da estrutura, comportamento, operação ou outras características de um processo, conceito ou sistema do mundo real.

1.1 Justificativa

Para Ferraz e Torres (2004), o custo do transporte público coletivo representa uma importante parcela dos gastos nesse meio, envolvendo investimentos em manutenção e operação do sistema viário, dispositivos de controle de tráfego, sinalização etc., havendo, dessa forma, a necessidade do estudo desse tipo de transporte devido à sua importância.

Sousa (2016) ressalta que pesquisas realizadas com a microssimulação para modelagem do transporte público por ônibus têm sido voltadas para a análise do impacto deste modo na fluidez do tráfego. Ainda de acordo com a autora, há a necessidade de estudos voltados para analisar questões de qualidade do transporte público ou questões específicas da

operação deste modo uma vez que tais estudos não são encontrados com facilidade na literatura.

Por meio da simulação, podemos analisar diversos fenômenos pertencentes ao tráfego urbano a partir de diferentes considerações à respeito dos muitos atores pertencentes ao sistema de transporte, sendo, desta maneira, uma importante ferramenta para a caracterização e a avaliação de alternativas. Espera-se, assim, por meio desse trabalho, contribuir com o sistema de transporte público coletivo, promovendo um processo de análise detalhado a respeito das diferentes considerações que podem ser feitas nessa interação entre usuários e veículos.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é modelar a operação do transporte público por ônibus na parada BRT: Estação North Shopping do corredor urbano da Av. Bezerra de Menezes, em Fortaleza, no Ceará, por meio da microssimulação. Mais especificamente, será utilizado o *software* VISSIM para modelar a chegada e o tempo parado dos ônibus nessa parada BRT. Para a realização desse objetivo geral, o trabalho compreende os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar as funcionalidades do VISSIM para a representação dos principais elementos da operação da parada BRT em estudo;
- b) Codificar a parada BRT em análise;
- c) Calibrar os parâmetros dos métodos de tempo parado e validar os modelos do VISSIM para a modelagem da operação da parada BRT em estudo;
- d) Caracterizar a operação atual da parada BRT;
- e) Avaliar a operação da parada BRT para cenários de demanda futuros.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho apresenta 5 capítulos. O primeiro capítulo é referente à introdução, contextualizando o assunto do estudo, apresentando justificativa, objetivos e a sua estrutura.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica a cerca dos fatores que influenciam o tempo parado dos ônibus em uma parada. Em seguida, é comentado sobre a modelagem do transporte público no *software* VISSIM.

No capítulo 3, as etapas metodológicas do trabalho são descritas. No caso do capítulo 4, há a representação e discussão dos resultados provenientes do estudo.

Por fim, o capítulo 5 ilustra as principais conclusões do trabalho, considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Primeiramente, há uma descrição dos fatores que influenciam no tempo de parada dos veículos. Em seguida, são apresentados os métodos inerentes à modelagem do transporte público no *software* VISSIM.

2.1 A operação da parada BRT: o tempo de parada

Deve-se ter em mente que as operações de embarque e de desembarque, para o transporte público coletivo, influenciam de maneira decisiva no tempo de viagem uma vez que os veículos podem, em suas viagens, realizar essas operações em diversas paradas. Dessa forma, há a necessidade de um estudo a respeito do tempo de parada dos veículos. O Manual de BRT (2008) cita que o tempo de parada é a quantidade de tempo que um dado veículo ocupa determinada baía de parada, sendo constituído de três demoras separadas: tempo de embarque, tempo de desembarque e tempo morto e é influenciado pelos seguintes fatores:

- a) Volume de fluxo de passageiros embarcando e desembarcando;
- b) Quantidade de portas do veículo;
- c) Largura das portas;
- d) Características do acesso: havendo a possibilidade de apresentar degraus ou plataforma em nível;
- e) Espaço aberto próximo das portas (tanto do lado do veículo quanto da estação);
- f) Sistema de controle de portas.

Ainda de acordo com o manual, outros elementos da parada de veículos podem afetar a velocidade e os tempos de viagem, como a taxa de desaceleração e de aceleração, influenciando, também, no conforto do usuário. Em relação ao tempo morto, ele é definido como o tempo necessário para que o veículo possa reduzir a sua velocidade, aproximar-se da plataforma e abrir suas portas para o embarque e desembarque de passageiros, somado ao tempo de fechar as portas e acelerar para fora da posição de embarque.

Além desses fatores, o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) também cita os procedimentos de pagamento da tarifa e o embarque de cadeirantes e de ciclistas. No caso do pagamento da tarifa, o tempo total de embarque pode ser reduzindo quando há o incentivo de usos de bilhetes pré-pagos, passagens, cartões inteligentes ou um sistema de coleta de tarifas antes do embarque. Em relação ao segundo fator, os veículos devem ser preparados de

maneira a otimizar o tempo de embarque desses usuários pois o embarque deles pode afetar o tempo parado.

2.2 A modelagem do transporte público por ônibus no *software* VISSIM

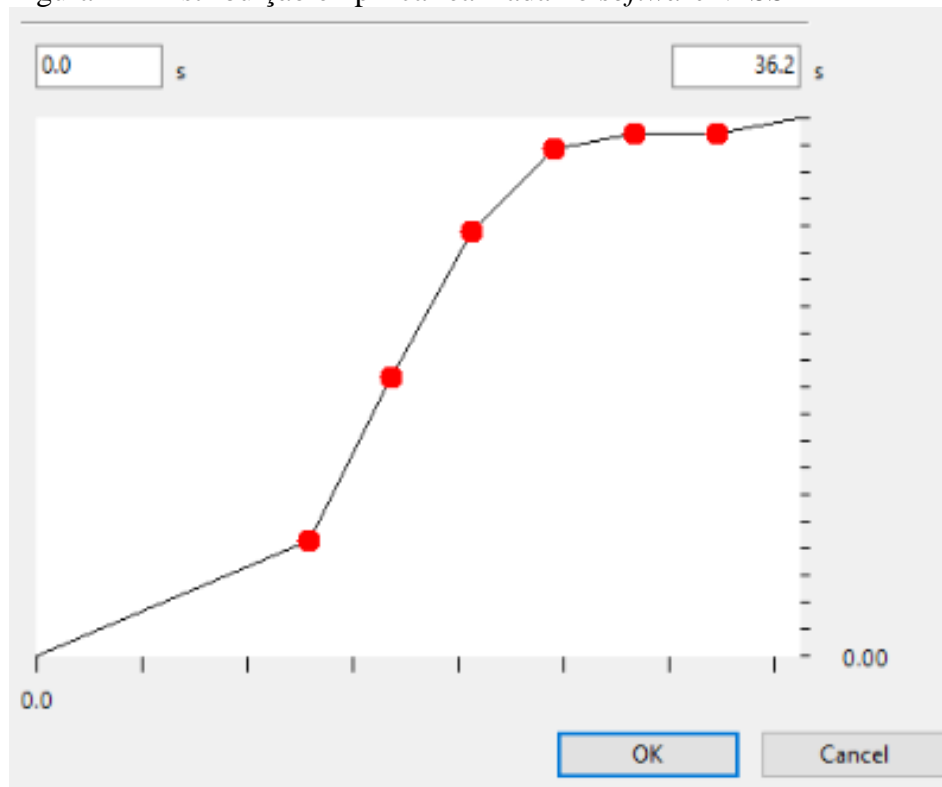
O tempo parado dos ônibus no *software* VISSIM, versão 9, pode ser simulado por três métodos:

- a) *Distribuição de tempo*;
- b) *Modelo avançado de passageiros*;
- c) *Viswalk*.

Todos esses métodos apresentam suas respectivas premissas, vantagens, desvantagens e limitações. A seguir, serão feitos comentários a respeito deles.

O *software* permite que o usuário trabalhe com distribuições de probabilidade. Assim, fornecendo um conjunto de pares contendo um valor da variável com sua respectiva probabilidade, é possível construir uma distribuição de probabilidade empírica. Na figura 1, por exemplo, é ilustrada uma distribuição de probabilidade empírica do tempo parado de uma linha de transporte público.

Figura 1 – Distribuição empírica realizada no *software* VISSIM

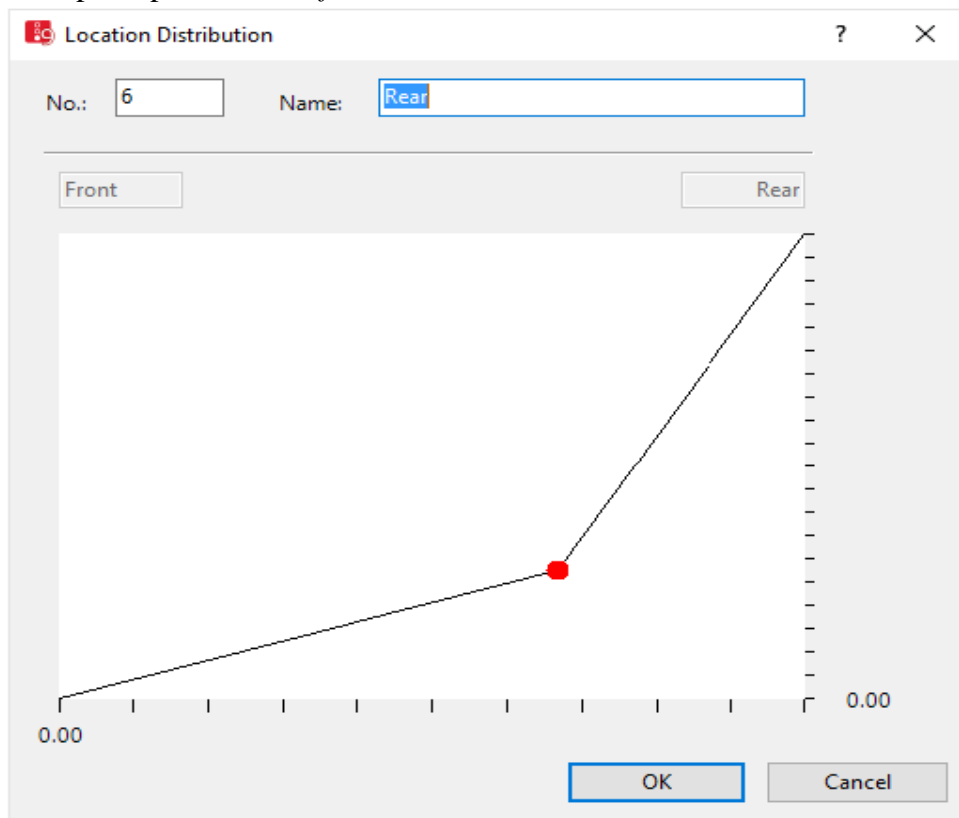


Fonte: PTV VISSIM 9.

O programa também permite que se insira uma distribuição normal para uma variável. Nesse caso, é necessário fornecer apenas a média e o desvio padrão da distribuição. O programa não aceita valores negativos, ou seja, se em uma distribuição com certa média e desvio padrão característicos houvesse a possibilidade de ocorrer números negativos, o programa simplesmente atribui zero na simulação. Isso é lógico uma vez que não teria como haver, por exemplo, tempo parado negativo de certo veículo na parada, sendo a situação possível simplesmente o veículo não parar para a realização das operações de embarque e de desembarque.

O fato de o programa trabalhar com distribuições de probabilidade é muito importante não só para o modelo de tempo parado de *distribuição de tempo*, mas também para outros fatores inerentes à simulação como o processo de entrada dos veículos da rede ocorrer de forma aleatória ou mesmo o uso das portas no transporte público. Na imagem 2, pode-se ver que o usuário pode fornecer ao programa uma distribuição de probabilidade para determinada operação ser realizada em portas dianteiras ou traseiras.

Figura 2 – Distribuição de probabilidade para o uso das portas em um transporte público no *software* VISSIM



Fonte: PTV VISSIM 9.

Fornecendo uma distribuição de probabilidade, o programa usa essa distribuição para o tempo parado dos veículos de uma determinada linha. Vale lembrar que isso é feito pela relação entre linha e parada, ou seja, uma determinada linha pode ter uma distribuição de tempo parado, enquanto em outra parada a mesma linha pode ter outra distribuição ou mesmo um dos outros dois métodos de tempo parado citados anteriormente.

Nota-se que esse método é relativamente simples, uma vez que não há a necessidade de informar parâmetros mais detalhados inerentes à operação do transporte como tempos de embarque e de desembarque por passageiro, volume de passageiros embarcando e desembarcando etc.

Enquanto tal modelo apresenta essa vantagem de ser relativamente simples de trabalhar, não tendo necessidade de fornecer diferentes parâmetros para o seu funcionamento, ele apresenta também desvantagens no que diz respeito ao fato de que não é possível ter informações à respeito da quantidade de passageiros embarcando e desembarcando, pois nas simulações é sempre zero o número de passageiros nessas operações e o processo de calibração fica, de certa forma, comprometido, pois depende apenas da distribuição de probabilidade do tempo parado.

O *modelo avançado de passageiros* apresenta um maior grau de detalhamento da operação do transporte público na parada. Na relação linha – parada, é possível estabelecer uma quantidade de passageiros, por hora, que irá chegar à parada para a linha em um determinado intervalo de tempo, assim como a porcentagem de passageiros que irá desembarcar, sendo essa porcentagem relacionada com a ocupação do veículo. É importante ter em mente que a quantidade de passageiros embarcando, no final, também depende do padrão de chegada dos veículos. Isso ocorre quando um veículo realiza o serviço em um instante em que ainda teria um tempo razoável de simulação para a chegada dos pedestres que irão utilizar determinada linha de transporte público e, dessa forma, os passageiros ainda não terão sido gerados e a quantidade de passageiros embarcando será menor que a programada anteriormente. Assim, caso haja uma necessidade de informar uma quantidade certa de passageiros em um serviço para um determinado veículo, é importante, na programação, colocar como dado de entrada o volume de passageiros no tempo certo em que irá ocorrer o serviço de maneira a diminuir essa diferença. No entanto, toda essa restrição e exatidão a um serviço específico podem comprometer uma análise mais geral da operação em que, por exemplo, poderia ser suscetível à relativa aleatoriedade do padrão de chegada dos veículos

e/ou dos usuários, devendo, dessa forma, o analista escolher a forma como deseja trabalhar de acordo com o tipo de veículo e operação existentes.

Na Figura 3, são apresentados os diferentes parâmetros que são necessários para o *modelo avançado de passageiros*, de acordo com o veículo utilizado:

- a) *Capacity*: capacidade de passageiros do veículo;
- b) *Alighting Time*: tempo médio de desembarque, por passageiro, em segundos;
- c) *Boarding Time*: tempo médio de embarque, por passageiro, em segundos;
- d) *Total Dwell Time*: aqui, há a consideração de como se deseja realizar o cálculo do tempo parado. Assim, o usuário pode escolher se, no cálculo, há a soma do tempo total de embarque com o tempo total de desembarque ou se o cálculo terá como base o maior dentre esses dois tempos de maneira a melhor representar a operação que ocorre na realidade;
- e) *Clearance Time*: no programa, é definido como o tempo em que o veículo pára, abre e fecha as portas.

Figura 3 – Parâmetros necessários ao *modelo avançado de passageiros*

The screenshot shows a dialog box titled "PT Parameters" with a question mark icon and a close button (X). The parameters are as follows:

- Capacity:** 150 Passengers
- Enforce capacity limit exactly
- "Calculation" method**
 - Alighting Time: 1,33 s / Pass
 - Boarding Time: 1,63 s / Pass
- Total Dwell Time**
 - Additive (alighting + boarding)
 - Maximum (exclusive doors)
- Clearance Time: 4,06 s / Stop
- "Viswalk" method & 3D visualization**
 - Door closure duration: 2,00 s

At the bottom, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Fonte: PTV VISSIM 9.

O parâmetro *Door closure duration* diz respeito ao método *Viswalk*. Esse parâmetro e os demais necessários à esse método serão comentados posteriormente.

No *modelo avançado de passageiros*, a partir da seleção de como será o tempo parado (adição do tempo da operação de embarque e de desembarque ou o valor máximo entre elas), será somado o *Clearance Time* e, dessa forma, terá o tempo total parado do veículo na parada. Vale lembrar que, nesse modelo, o tempo de embarque é resultado do produto da quantidade de passageiros embarcando pelo tempo médio de embarque por passageiro. Em relação ao tempo de desembarque, é o produto da quantidade de passageiros desembarcando pelo tempo médio de desembarque por passageiro.

Nota-se que o *modelo avançado de passageiros*, quando comparado com o método anterior (*distribuição de tempo*), apresenta maiores detalhes a respeito da operação de um transporte público na parada. O fato de apresentar maiores detalhes não necessariamente irá ser o que melhor irá representar o tempo parado, tendo em vista que a aquisição dos dados é mais complexa e sujeita a erros. No entanto, a partir desse modelo, já é possível extrair informações a respeito da operação de embarque e de desembarque. Informações essas que podem ser necessárias a análises relativas ao sistema de transporte.

Em relação ao uso do método do *Viswalk*, é perceptível pela Figura 4 que ele já apresenta um maior grau de detalhes a respeito de outros fatores inerentes ao veículo e à operação:

- a) *Door lock duration before departure*: tempo registrado a partir do momento em que as portas do veículo estão totalmente fechadas até o momento em que o veículo inicia a partida;
- b) *Alighting composition*: composição dos pedestres que irão desembarcar na parada;
- c) *Alighting location*: localização do desembarque, devendo ser relacionada com uma distribuição de probabilidades para o uso das portas;
- d) *Door closure delay*: tempo registrado a partir do momento em que o pedestre passa pela porta até o momento em que a porta começa a fechar;
- e) *Door closure duration*: não representado na Figura 4 e sim na Figura 3, diz respeito à duração do tempo de fechamento das portas do veículo;
- f) *PT stop active*: quando selecionada essa opção, a linha simulada pode realizar serviço na parada específica;

- g) *Skipping possible*: se essa opção é selecionada, a linha não realiza serviço na parada específica, dependendo do método usado para o cálculo do tempo parado das linhas;
- h) *Alighting possible/boarding possible*: seleciona o uso das portas para determinada operação de desembarque e de embarque, respectivamente;
- i) *Late boarding possible*: considera que, enquanto houver passageiros para embarcar ou desembarcar em um serviço, o veículo continuará parado até o serviço ser realizado.

Figura 4 – Parâmetros necessários ao *Viswalk*

The screenshot displays the configuration window for a stop in the Viswalk software. The parameters are as follows:

- PT stop active
- Skipping possible
- Departure time offset: 0 s
- Door lock duration before departure: 1,0 s
- Dwell time:
 - Minimum: 1: 0.5 s
- Calculation:
 - Alighting percentage: 6,00 %
- Boarding and alighting of passengers:
 - Alighting composition: 34: PG - Viswalk - Parada BRT North Sho
 - Alighting location: 3: Front
- Alighting possible: (left side)
- Boarding possible: (right side)
- Late boarding possible
- Door closure delay: 2,5 s

At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fonte: PTV VISSIM 9.

Diferentemente do *modelo avançado de passageiros*, em que há a referência à um volume por hora para cada linha na parada, no modelo *Viswalk*, na parada, é necessário informar uma proporção de embarque entre as linhas em um determinado intervalo de tempo. Para o desembarque, há a consideração da porcentagem de passageiros que irão desembarcar, por linha, na parada. Em relação ao padrão de chegada, os usuários ficam acumulados na parada vindos de outra área que será a geradora dos usuários, e, posteriormente, a quantidade de passageiros embarcando e o tempo parado total de um veículo em serviço na parada será

calculado pelo programa. À essa área que será a geradora dos usuários, o programador precisa fornecer ao *software* um volume horário de passageiros que serão gerados em um intervalo de tempo, estando esse volume sujeito à possíveis variações advindas do método ao longo das simulações.

Os parâmetros necessários ao *Viswalk* se mostram mais dependentes dos usuários do transporte público além de precisar de outros parâmetros inerentes ao veículo. Isso pode fazer com que o programador avalie se há recursos, como tempo e dinheiro, necessários para a coleta de dados. Esse maior detalhe a respeito do pedestre pode favorecer a análise de fatores inerentes ao usuário, como o tempo de espera pelo transporte ou mesmo a lotação na parada.

Uma questão importante a ser comentada a respeito do *modelo avançado de passageiros* e do *Viswalk* é a porcentagem de passageiros desembarcando. Quando há o desejo de representar essa operação, nota-se que é disponível ao programador atribuir essa porcentagem à ocupação do veículo no momento do serviço. Essa pode ser uma limitação porque não há uma possível variação dessa porcentagem de uma linha na parada. Assim, em todo o serviço de uma determinada linha em uma parada escolhida, a porcentagem de passageiros que irá desembarcar será fixa. Logo, essa questão precisa ser analisada, pois a operação de desembarque para um transporte público pode ser determinante para o tempo parado do veículo, devendo, assim ser representada da melhor maneira possível, mesmo com as limitações do modelo.

Para Chagas (2014), esta forma de inserção do parâmetro desembarque pode ser interpretada como uma limitação do VISSIM uma vez que o cálculo e o lançamento da porcentagem de desembarque para todas paradas, ao longo de todas as linhas, gera um trabalho excessivo que o *software* poderia e deveria executar.

Em relação às linhas do transporte público, no programa, há a relação entre a linha e o tipo de veículo que será utilizado, fazendo com que todos aqueles parâmetros citados anteriormente para o *modelo avançado de passageiros* ou para o *Viswalk* possam ser incorporados à linha assim como pode ser visto na Figura 5, dentre outros fatores, a célula *Vehicle type*. Além disso, na mesma Figura, há uma célula muito importante para a modelagem do transporte público: *Entry time distribution*. Esse parâmetro é mais uma distribuição de probabilidade que pode ser utilizada e diz respeito a um “atraso” que é atribuído à entrada dos veículos na rede, permitindo com que o programador possa fazer com que os veículos sigam uma distribuição de chegada desejada ou mesmo fazer com que os veículos entrem na rede de maneira aleatória.

Essa entrada dos veículos, no programa, é atribuída na aba *Departure Time* (Figura 5), em que o programador pode escolher o momento certo de entrada ou mesmo fazer com que o programa gere a entrada em intervalos constantes.

Figura 5 – Parâmetros necessários à linha de transporte público

Fonte: PTV VISSIM 9.

Além dos parâmetros que regem o momento em que os veículos entram na rede, nota-se, pela Figura 6, o parâmetro que registra a ocupação do veículo quando entra na rede: *Occupancy*, relacionando diretamente às questões descritas anteriormente para a porcentagem de desembarque para os métodos do *modelo avançado de passageiros* e o *Viswalk*.

Figura 6 – Geração dos momentos de entrada do transporte público na rede

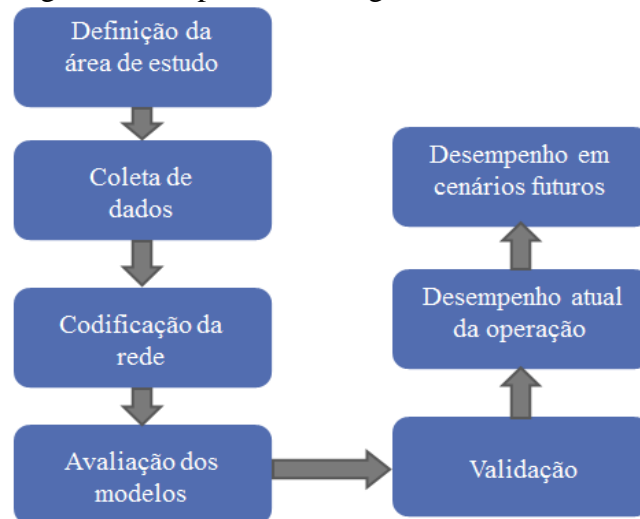
Fonte: PTV VISSIM 9.

Após relacionar os métodos que o programa simula o tempo parado dos veículos aos parâmetros inerentes aos veículos, às linhas e à parada, têm-se condições de modelar a operação de transporte público, tendo em vista as limitações, vantagens e desvantagens de cada modelo. Assim, cabe ao programador estabelecer a forma coerente de modelagem da operação tendo em vista o custo necessário como tempo, dados, etc.

3 MÉTODO

A seguir, encontram-se as etapas metodológicas executadas de maneira a atingir os objetivos específicos do trabalho. O fluxograma das etapas que serão realizadas é representado pela Figura 7.

Figura 7 – Etapas metodológicas do estudo



Fonte: Autor.

3.1 Definição da área de estudo

Nessa etapa, busca-se identificar as características que vão servir para ilustrar área em análise. Dentre essas características, aquelas referentes à rede de tráfego, como a sua extensão, a parada BRT, etc. Além disso, é necessário descrever as linhas de ônibus que operam na parada em estudo, fornecendo parâmetros, como, por exemplo, a frota e as características dos veículos. Essa definição é feita a partir de visitas realizadas ao local e por meio de dados fornecidos pelas empresas responsáveis pela operação do sistema de transporte público.

3.2 Coleta de dados para a codificação

Houve o planejamento da coleta de dados para a codificação da rede de tráfego. Eles são importantes porque apresentam a funcionalidade de servir como dados de entrada para o programa, tornando possível a análise do sistema de transporte público. A coleta de dados foi realizada em um mês considerado típico, escolhendo o dia e o horário em que foi

possível obter os dados de maneira mais representativa dos parâmetros necessários. Esses dias foram os pertencentes ao mês de setembro (dias 5 e 14), sendo, respectivamente, uma Terça-feira e uma Quinta-feira, apresentando o tempo correspondido de coleta de dados de 10:30h às 12:00h. Os dados foram coletados a partir de registros escritos e de filmagens próprias. Além disso, foram fornecidas filmagens internas da parada BRT (Figura 8). Os dados coletados foram:

- a) Volume veicular: quantidade de ônibus, por linha, que opera na parada BRT;
- b) Localização do ponto de parada e itinerários das linhas de ônibus: confirmar a posição da parada na rede e quais linhas realizam embarque/desembarque nela;
- c) Demanda de embarque e de desembarque: quantidade de passageiros realizando a operação de embarque e de desembarque na parada, por linha, em cada operação de serviço;
- d) Tempos de embarque e de desembarque: tempo registrado, para todas as linhas, a partir do momento em que o ônibus abre as portas para embarque e desembarque até que todos os passageiros realizem a respectiva ação;
- e) Tempos de abertura e de fechamento das portas;
- f) Tempo em serviço das linhas: tempo a partir do qual o ônibus pára na parada e inicia a ação de abrir as portas até o momento em que ele se movimenta para sair da parada ou fecha as portas (por linha);
- g) Possíveis observações a respeito do comportamento dos condutores e dos pedestres.

Figura 8 – Exemplo de imagens internas da estação BRT



Fonte: Filmagens fornecidas pela ETUFOR.

Além dos dados obtidos nos dias mencionados, foram realizadas novas filmagens (Figura 9) nos dias 26 e 28 de setembro, no mesmo horário, para uma maior quantidade de observações da operação da parada BRT. Mais precisamente, com o objetivo de coletar o tempo parado das linhas que operam na parada em estudo e os *headways*.

Figura 9 – Filmagens próprias da estação BRT



Fonte: Autor.

No programa VISSIM, há a necessidade de fornecer um perfil de aceleração e de desaceleração de acordo com a velocidade para os tipos de veículos que irão trafegar na rede analisada. Foram utilizados os valores *default* para ônibus nesses perfis.

3.3 Codificação da rede

A partir da aquisição dos dados referentes à rede, foi possível fornecer ao programa as suas características. É importante ter em mente que não obrigatoriamente todos os dados obtidos na coleta serão necessários para todos os métodos de análise da parada BRT estudada, tendo, dessa forma, cada método as suas premissas, limitações e conceitos. A rede foi codificada por meio dos seguintes parâmetros:

- a) Vias: dimensões, permissões de trânsito, demandas e rotas;
- b) Inserir linhas de ônibus (rotas, frequência, distribuição de velocidade, tipo de veículo, etc.);
- c) Atribuir o momento em que os ônibus entram na rede;

- d) Codificação dos veículos (dimensões, comprimento, largura, quantidade de portas, distância entre as portas, uso das portas, degrau);
- e) Codificação das paradas (modelagem do tempo parado dos ônibus, área de espera, demanda e rotas para pedestres);
- f) Padrão de chegada dos pedestres, características dos usuários.

Para atribuir o momento de entrada dos ônibus na rede, foram estudados os *headways* dos veículos por linha que operam na parada. Foi verificado como ocorre a distribuição dos *headways*, comparando com a distribuição exponencial para que seja validada a hipótese de que as chegadas podem ser aleatórias. Sendo aleatória, no programa foi escolhido esse comportamento de maneira a representar o padrão de chegada a partir de uma distribuição de probabilidade empírica.

Em relação à modelagem do tempo parado dos ônibus, para cada método de análise, parâmetros diferentes são necessários assim como foi apresentado na revisão bibliográfica. Para o método da *distribuição de tempo*, a partir dos dados obtidos da coleta dos tempos parado dos veículos para cada linha, foi verificada se as distribuições podem ser representadas por uma distribuição normal ou por uma distribuição empírica a partir do teste de aderência pela comparação da estatística de teste com o valor crítico.

No caso do *modelo avançado de passageiros*, as premissas inerentes ao método como tempo de embarque e de desembarque médio por passageiro, *Clearance Time*, quantidade de passageiros embarcando e desembarcando, ocupação e capacidade dos veículos foram fornecidas ao programa de acordo com o tipo de veículo utilizado pelas linhas e de acordo com as respectivas demandas pelas linhas obtidas nos dias de coleta.

Uma observação válida quanto à codificação da rede diz respeito ao tempo médio de embarque e de desembarque por passageiro. Esse tempo foi obtido a partir das filmagens internas da parada BRT em que, pelo registro do tempo total de embarque, desembarque e da demanda para cada serviço, a relação entre essas medidas foi realizada.

No caso do *Viswalk*, não foram alterados os valores *default* para a movimentação dos pedestres tendo em vista que o foco era a operação do transporte público. No entanto, dados foram coletados a respeito da composição do fluxo de pedestres que iriam utilizar a parada e da velocidade desejada para cada tipo de pedestre. Isso foi feito a partir de filmagens e do registro do tipo de pedestre (homem, mulher, jovem e idoso), escolhendo aleatoriamente, que caminhava no entorno da parada e da velocidade de caminhada quando havia pouco fluxo de pedestres. Além disso, foi criada uma plataforma que iria servir como “ponte” permitindo o

embarque e o desembarque dos passageiros e uma área de espera onde os pedestres provenientes de uma área adjacente esperavam os veículos que operam na parada. Essa plataforma permite que os pedestres sejam modelados pelo método do *Viswalk*.

3.4 Modelagem da rede por *distribuição de tempo, modelo avançado de passageiros e Viswalk*

Nessa etapa, busca-se verificar se o modelo existente no programa consegue representar a realidade. Assim, o tempo parado dos ônibus, na parada BRT, foi modelado pelos três métodos descritos anteriormente para o dia 5 de setembro. Em seguida, os dados simulados foram comparados com os dados obtidos em campo pela criação de um intervalo de confiança de 95% da diferença entre a média simulada e a observada em campo. Vale lembrar que a medida-alvo de desempenho que foi analisada é a média do tempo parado por linha na parada BRT.

3.5 Validação do modelo

Como a coleta de dados referente às filmagens internas da parada BRT aconteceu em dois dias, o primeiro deles, dia 5 de setembro, foi usado para a codificação da rede e a calibração dos parâmetros necessários aos métodos de tempo parado e o outro, dia 14 de setembro, para a validação do modelo com o estudo de intervalos de confiança entre as médias simuladas e as observadas em campo em que, a partir de diferentes demandas de outros dias, há indícios de que a operação do transporte público, na parada BRT em estudo, foi bem representada. Essa comparação entre os resultados simulados e os obtidos em campo também teve como base o intervalo de confiança de 95% da diferença entre as médias dos tempos parado de cada linha que opera na parada BRT.

3.6 Caracterização do desempenho operacional atual

Depois de validado o modelo, a operação atual do sistema de transporte público na parada em estudo foi analisada. Dessa forma, foram verificadas as medidas de desempenho relacionadas com a experiência do usuário na parada. Isso foi feito a partir da média do tempo parado dos veículos e dos *headways* na parada, comparando com os valores típicos presentes na literatura.

3.7 Limitações do modelo e estimação do desempenho operacional em cenários futuros

Foi estimada operação do sistema de transporte público por ônibus, na parada, em cenários futuros, estimando a média dos tempos parado dos veículos das linhas. Isso foi feito com o aumento da demanda de passageiros na parada. Assim, foi possível estudar como os tempos parado irão variar ao longo do tempo de maneira a verificar se essa variação pode ocasionar transtornos ao usuário do transporte com a comparação de valores típicos desses parâmetros. Além disso, foram estudadas as limitações do modelo quando há esse aumento da demanda com o objetivo de proporcionar, em análises futuras, o correto uso do software e do modelo.

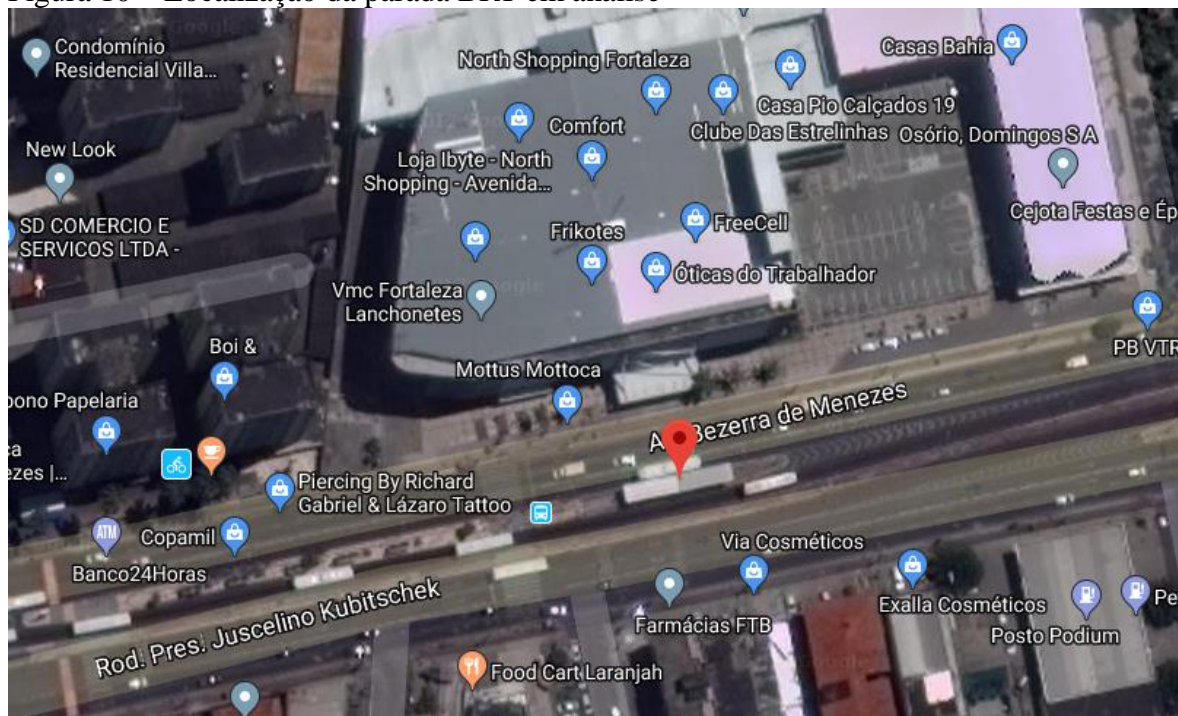
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista a necessidade de análise dos resultados obtidos com o estudo, os tópicos seguintes visam ilustrar o esforço realizado com o trabalho de maneira a promover a discussão e reflexão a respeito do tema, tendo como orientação o método apresentado anteriormente.

4.1 Definição da área de estudo

O objeto de estudo diz respeito à parada BRT localizada na Avenida Bezerra de Menezes, em frente ao North Shopping (Figura 10), em Fortaleza, no Ceará. Mais especificamente, no seu entorno, há diversos estabelecimentos que ocasionam a grande procura por seus serviços como agências bancárias, farmácias, colégios, shoppings, etc, fazendo com que a modelagem da operação do transporte público, aqui representada pela operação da parada BRT, seja de extrema importância para a adequada compreensão dos fenômenos inerentes a essa interação do transporte público com os usuários.

Figura 10 – Localização da parada BRT em análise



Fonte: Google Maps.

Na Bezerra de Menezes, as linhas que utilizam essa parada BRT são as linhas 200 – Antônio Bezerra/Centro, 222 – Antônio Bezerra/Papicu/Antônio Sales e 026 – Antônio

Bezerra/Messejana. Assim, é importante destacar que essas linhas são analisadas no sentido de ida em direção ao Terminal do Antônio Bezerra, visto que, algumas delas também fazem o percurso contrário, indo, assim, em direção ao centro da cidade.

De acordo com dados provenientes da Empresa de Transporte Urbano de Fortaleza – ETUFOR e em relação ao tipo de veículo utilizado pelas linhas, as linhas 222 e 026 utilizam veículos do tipo Comum Padron. Esses veículos apresentam a extensão de, aproximadamente, 14 metros e com cinco portas em que, dependendo se a operação do ônibus está ocorrendo numa parada comum ou na estação BRT, diferentes portas serão utilizadas como apresentado na Figura 11. No caso da linha 200, há a utilização de ônibus Articulados, apresentando o comprimento de, aproximadamente 18,6 metros. Esses ônibus são relativamente novos, possuindo características como câmbio automático, suspensão pneumática e ar condicionado. Na Figura 12, é representado o tipo de veículo descrito.

Figura 11 – Ônibus Comum Padron característico das linhas 222 e 026



Fonte: Fortalbus (2016).

Figura 12 – Ônibus Articulado característico da linha 200



Fonte: Fortalbus (2016).

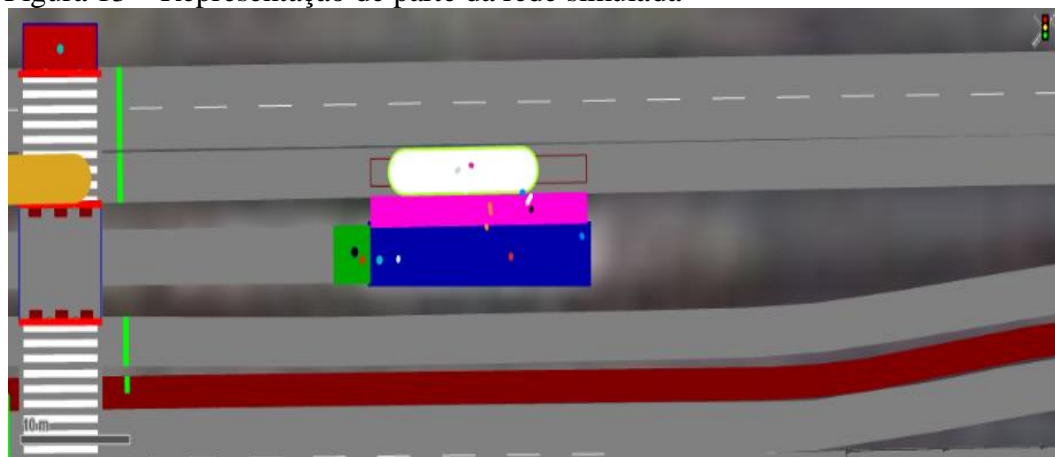
4.2 Codificação da rede

Primeiramente, a rede foi codificada no que diz respeito à sua estrutura. Assim, foi inserida a via pertencente à área de estudo e demais vias que não influenciam especificamente na operação da parada BRT, mas que representam o entorno da área. Em seguida, foram atribuídas as permissões de conversão na rede, os planos semaforicos e a parada BRT no local apropriado.

Foram executadas simulações com o objetivo de verificar se não havia nenhuma forte inconsistência do modelo com a realidade, de maneira a não simular situações que não acontecem (ou não deveriam acontecer) na prática, como conversões ou fluxo em direções contrárias às obtidas.

Após esse procedimento, foi iniciada, de fato, a codificação dos elementos pertencentes à operação da parada BRT estudada. Dessa maneira, as três linhas foram codificadas pelos seus nomes e trajetos. Um detalhe sobre os veículos diz respeito ao degrau do veículo. Como foi verificado em campo que a estação BRT se encontra no mesmo nível que a porta do ônibus quando ele pára, o valor do degrau para os veículos foi assumido como zero, estando a porta, assim, no mesmo nível que o passageiro na simulação.

Figura 13 – Representação de parte da rede simulada



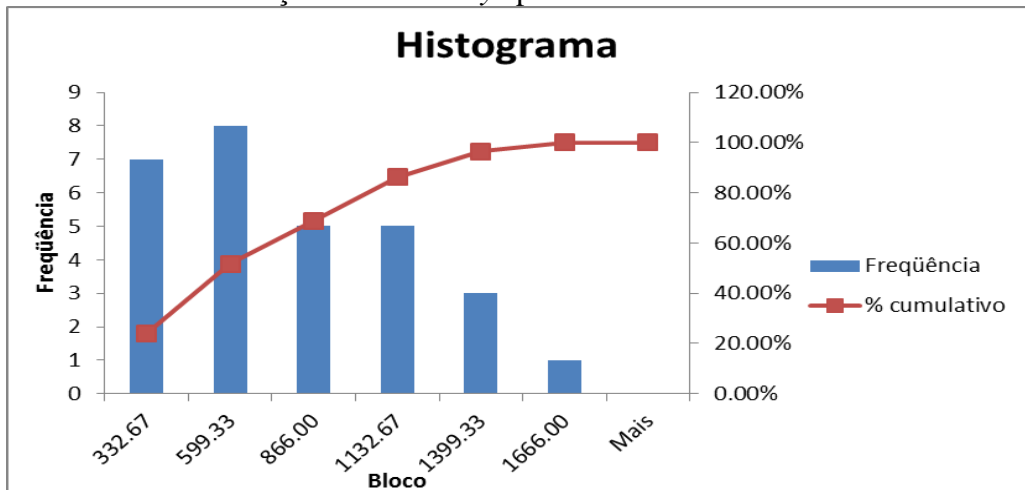
Fonte: PTV VISSIM 9.

Para estimar o padrão de chegada dos veículos, foram coletados os *headways* pertencentes aos quatro dias de coleta de dados. Dessa forma, foi possível verificar se seria correto atribuir que os veículos entrariam na rede de maneira completamente aleatória, ou seja, se os *headways* poderiam ser representados pela distribuição exponencial. Essa

consideração seria conveniente para o caso em que se desejaria criar um modelo que buscasse representar um comportamento médio da rede, promovendo uma taxa média de ônibus por hora de simulação, mas que fosse sujeito à possível variação de horários de chegada dos veículos, aproximando o modelo da realidade. A criação de um modelo considerando exatamente os horários de chegada dos ônibus diminuiria a representação geral do fenômeno e o condicionaria à uma determinada hora de um determinado dia de coleta de dados.

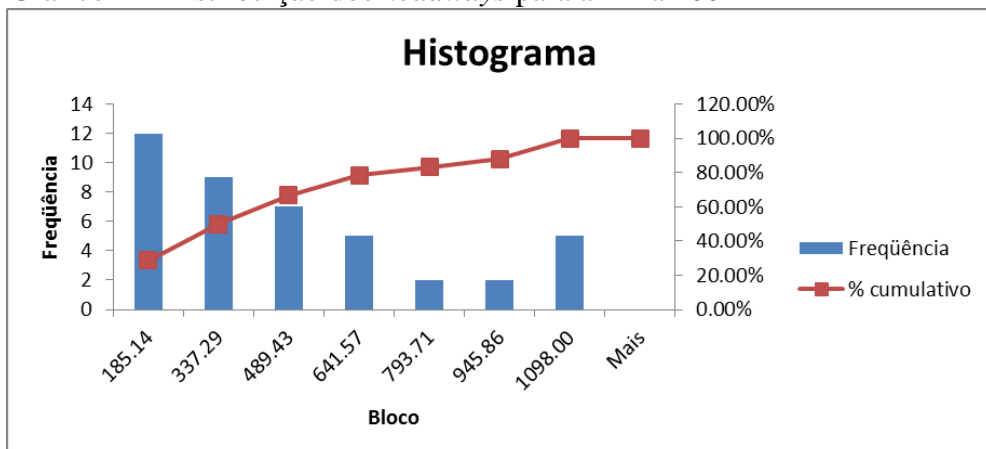
Para verificar se os *headways* poderiam ser bem representados pela distribuição exponencial, foi verificada a aderência da distribuição de *headways* obtida na coleta de dados com a distribuição exponencial a partir da estatística de teste χ^2 com 95% de confiança. Os Gráficos 1 a 3 ilustram esse estudo.

Gráfico 1 – Distribuição dos *headways* para a linha 026

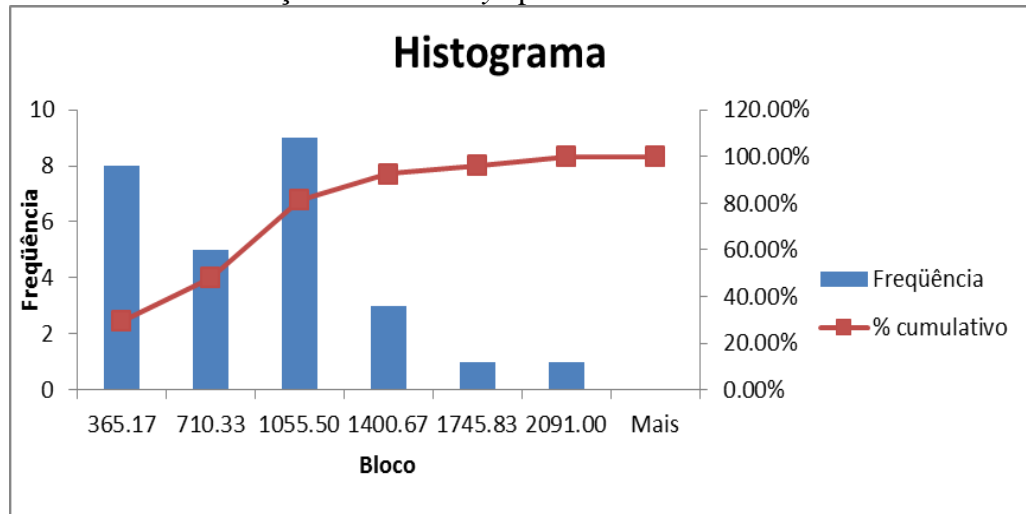


Fonte: Autor.

Gráfico 2 – Distribuição dos *headways* para a linha 200



Fonte: Autor.

Gráfico 3 – Distribuição dos *headways* para a linha 222

Fonte: Autor.

Os respectivos valores da estatística de teste χ^2 para cada distribuição se encontram na Tabela 1. Por ela, nota-se que o valor da estatística de teste é menor que o valor crítico, permitindo a ação de deixar de rejeitar a hipótese nula de que as distribuições dos *headways* seguem uma distribuição exponencial. Logo, verificada a aleatoriedade do padrão de chegada dos veículos, foi estabelecida, no simulador, uma distribuição exponencial de chegada para as três linhas que operam na parada BRT, devendo, no modelo, determinar o número de veículos que será representado no período da simulação.

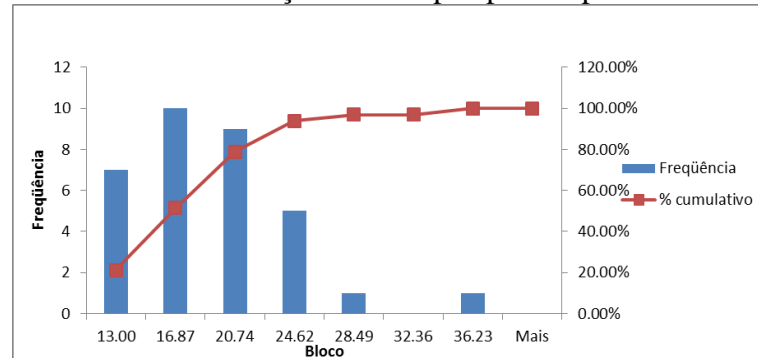
Tabela 1 – Valor da estatística de teste e do valor crítico de acordo com a distribuição dos *headways*

	χ^2	χ^2 crítico	Média (s)	Desvio padrão	Observações
Linha 026	4,55	9,49	669,6	400,1	29
Linha 200	10,02	11,07	435,7	281,7	42
Linha 222	8,13	9,49	700,3	504,2	27

Fonte: Autor.

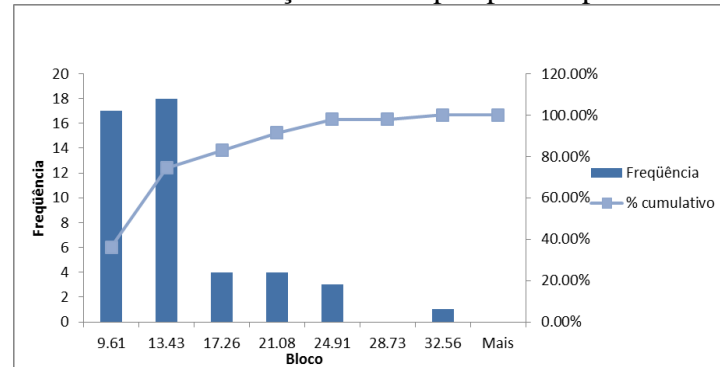
Para a representação da operação da parada BRT por meio do modelo *distribuição de tempo*, é preciso saber como está sendo a distribuição dos tempos parado das linhas. Com esse objetivo, as distribuições foram testadas para verificar se elas podem ser bem representadas pela distribuição normal, com a sua respectiva média e desvio padrão. Os histogramas obtidos para as distribuições de tempo parado para as linhas nos quatro dias de coleta são representados nos Gráficos 4 a 6.

Gráfico 4 – Distribuição dos tempos parado para a linha 026



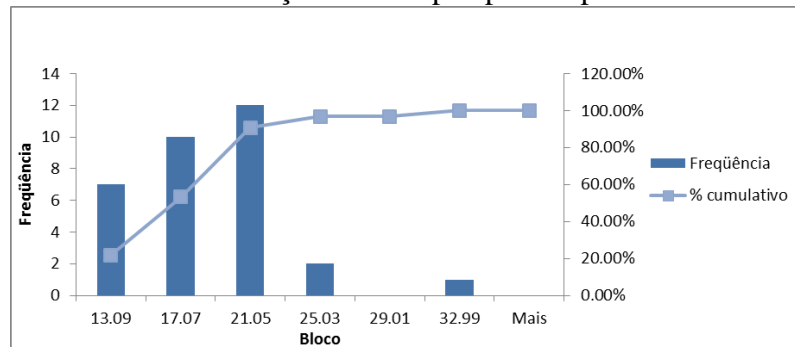
Fonte: Autor.

Gráfico 5 – Distribuição dos tempos parado para a linha 200



Fonte: Autor.

Gráfico 6 – Distribuição dos tempos parado para a linha 222



Fonte: Autor.

Assim como foi feito para o estudo da distribuição dos *headways*, foi utilizado o valor da estatística de teste χ^2 com 95% de confiança para estimar essa aderência entre os dados observados e os esperados para a distribuição que está sendo comparada. No entanto, para esse estudo, pode-se ver pela Tabela 2 que é coerente rejeitar a hipótese nula de que a distribuição dos tempos de parada para todas as linhas segue uma distribuição normal, tendo em

vista que o valor apresentado na estatística de teste foi maior que o valor crítico. No simulador, a distribuição dos tempos parados foi codificada como uma distribuição empírica a partir dos resultados obtidos do histograma, fazendo com que cada linha seja representada pelos valores dos respectivos histogramas.

Tabela 2 – Valor da estatística de teste e do valor crítico de acordo com a distribuição dos tempos parado

	χ^2	χ^2 crítico	Média (s)	Desvio padrão	Observações
Linha 026	12,25	9,49	17,4	5,4	33
Linha 200	41,67	9,49	12,3	5,2	47
Linha 222	10,49	7,81	16,6	4,6	32

Fonte: Autor.

Para o *modelo avançado de passageiros*, há a necessidade de informar ao programa o tempo médio de embarque e de desembarque por passageiro. Na coleta de dados, foram obtidos os valores de média de 1,6 segundos (45 observações) e 1,3 segundos (55 observações), respectivamente. Além disso, é necessário o tempo total para a abertura e fechamento das portas, no programa e para esse modelo, dito como *Clearance Time*. Como esse valor é para cada tipo de veículo, foram obtidos na coleta de dados e registrados no programa os valores de 3,7 segundos para o ônibus articulado e 4,1 segundos para o ônibus convencional.

Para esse modelo e também para o *Viswalk*, era objetivo dos modelos representar tanto os passageiros que embarcam quanto os que desembarcam para cada linha e, por conta disso, foi necessário um “artifício” que representasse o volume de desembarque médio por linha, pois, como foi comentado na revisão bibliográfica, o programa necessita da porcentagem de desembarque a partir da ocupação do veículo, e não o número de desembarques. Dessa maneira, foi atribuído que os ônibus, ao entrarem na rede, estariam com 100 passageiros, de maneira que o desembarque que foi obtido na coleta de dados seria representado como a quantidade média de passageiros por meio da respectiva porcentagem. Assim, uma linha que, em média, desembarcam 2 passageiros, teria como porcentagem 2%, o que iria corresponder aos 2 passageiros obtidos.

Na realidade, seria necessário ter informações da ocupação do veículo no momento do serviço. No entanto, essa medida não foi possível ser realizada. Como não era objetivo desse estudo estimar parâmetros inerentes ao interior do veículo como a ocupação, essa estratégia representa bem o comportamento e a quantidade média de passageiros

desembarcando. Essa operação de desembarque é importante na parada em estudo porque, frequentemente, ela determina o tempo parado, sendo maior que a operação de embarque.

A capacidade dos veículos foi atribuída como 150 passageiros para que não ocorresse uma situação em que não haveria embarque por conta do veículo estar totalmente ocupado, situação esta que não ocorreu na prática. Assim, possibilitando o livre embarque de acordo com a demanda do dia simulado, foi possível representar de maneira mais próxima da realidade a operação de embarque e, conseqüentemente, o tempo parado dos veículos.

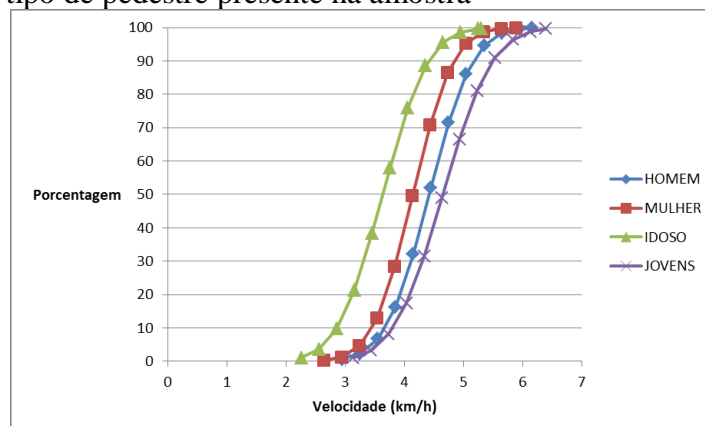
No modelo *Viswalk*, para os parâmetros de movimentação dos pedestres, foi utilizado os valores *default*. No entanto, como comentado anteriormente, para representar melhor a realidade estudada, foi registrada a composição do fluxo de pedestres e a velocidade desejada para cada tipo de pedestre que irá utilizar a parada. Observando a Tabela 3, nota-se que a maior parte dos pedestres que irão utilizar a parada é composta por mulheres e, pelo Gráfico 7, pode-se observar que, dependendo do tipo pedestre, uma maior ou menor velocidade desejada será atribuída tendo em vista a probabilidade de ocorrer. Além disso, nota-se que os jovens podem apresentar uma velocidade maior do que os idosos e os adultos. Em outro sentido, os idosos apresentam a menor velocidade máxima.

Tabela 3 – Composição dos pedestres que utilizam a parada BRT

Pedestre	Porcentagem (%)
Homem	19
Mulher	48
Jovem	17
Idoso	16

Fonte: Autor.

Gráfico 7 – Probabilidade da velocidade desejada (km/h) para cada tipo de pedestre presente na amostra



Fonte: Autor.

As Tabelas 4 a 6 ilustram os dados obtidos para a hora que será simulada (11:00 h – 12:00 h) do dia 5 de setembro. A média de desembarque foi arredondada para o inteiro mais próximo.

Tabela 4 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 5 de setembro (Linha 26)

Veículo	Tempo Parado (s)	Embarque	Desembarque
1	21	8	2
2	20,4	2	4
3	19	1	9
4	19,7	0	12
5	15,8	2	7
6	14,7	0	4
7	14	3	1
Média	17,8	Total: 16	Média: 6

Fonte: Autor.

Tabela 5 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 5 de setembro (Linha 200)

Veículo	Tempo Parado (s)	Embarque	Desembarque
1	18,2	7	1
2	12,1	1	2
3	12	2	1
4	17,5	11	4
5	11,3	0	3
6	4,1	0	0
7	13,1	4	2
8	11	1	5
9	10,3	0	4
Média	12,2	Total: 26	Média: 2

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 5 de setembro (Linha 222)

Veículo	Tempo Parado (s)	Embarque	Desembarque
1	17,7	3	9
2	13,8	2	4
3	20,4	4	11
4	17,8	7	6
Média	17,4	Total: 16	Média: 8

Fonte: Autor.

Em relação à hora referente ao dia 14 de setembro (11:00 h – 12:00 h), o qual será utilizado para a validação do modelo que será escolhido em tópicos seguintes, os dados obtidos estão representados nas Tabelas 7 a 9.

Tabela 7 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 14 de setembro (Linha 26)

Veículo	Tempo Parado (s)	Embarque	Desembarque
1	16,4	1	7
2	13	8	3
3	15,4	0	3
4	18,7	4	9
5	19,6	11	5
6	14,5	1	4
7	11,8	5	0
Média	15,6	Total: 30	Média: 4

Fonte: Autor.

Tabela 8 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 14 de setembro (Linha 200)

Veículo	Tempo Parado (s)	Embarque	Desembarque
1	8,2	1	1
2	11,6	4	3
3	17,6	5	3
4	10,5	1	4
5	7,7	0	0
6	11,6	4	6
7	9	4	1
8	13,7	5	3
9	11,1	4	3
Média	11,2	Total: 28	Média: 3

Fonte: Autor.

Tabela 9 – Dados obtidos da hora em análise para o dia 14 de setembro (Linha 222)

Veículo	Tempo Parado (s)	Embarque	Desembarque
1	14,6	3	4
2	17,9	6	9
3	20	0	8
4	14,9	0	7
Média	16,8	Total: 9	Média: 7

Fonte: Autor.

No que diz respeito ao parâmetro de tempo de fechamento das portas (*Door closure duration*), para o veículo articulado, foi obtido o valor médio de 2 segundos. Para o

veículo convencional, foi obtido o valor médio de 1,9 segundos. Como os valores são bem próximos do valor default (2 segundos), foi deixado o valor *default* para os dois veículos.

Por último, será comentado a respeito dos parâmetros *Door closure delay* e *Door lock duration before departure*. Foi coletada em campo uma média de 2,5 segundos (58 observações) e 0,3 segundo (59 observações) respectivamente. O valor baixo do *Door lock duration before departure* reflete o fato de que em grande parte das observações o motorista não esperava a porta fechar por completo para iniciar o movimento, sendo, nesses casos, o valor representado como zero. Na simulação, não foi possível estabelecer que esse parâmetro apresentasse um valor menor do que 1. Dessa forma, de maneira a representar a soma desses tempos, foi atribuído ao *Door closure delay* 1,8 segundo e ao *Door lock duration before departure*, 1 segundo, transferindo, assim, para o primeiro parâmetro, a diferença de 0,7s entre o observado e o fornecido ao programa do segundo parâmetro.

4.3 Modelagem da rede por *distribuição de tempo, modelo avançado de passageiros e Viswalk* – dia 5 de setembro

Nesse tópico, são ilustrados os resultados da representação da operação da parada BRT analisada por meio dos três métodos descritos anteriormente: *distribuição de tempo, modelo avançado de passageiros* e o *Viswalk*. No programa, foram realizadas 10 simulações de uma hora com os dados referentes ao dia 5 de setembro e tempo de aquecimento da rede de 300 segundos. Na Tabela 10, podem ser vistos os resultados referentes ao método da *distribuição de tempo* em que há a representação da média das simulações, da média observada em campo, a diferença entre elas e o resultados dos limites do intervalo de confiança da diferença entre as médias com 95% de confiança.

Tabela 10 – Tempo parado médio: método da *distribuição de tempo*

	Linha 26	Linha 200	Linha 222
Média das simulações	15,5	9,9	15,2
Observações (simulação)	70	90	40
Desvio padrão (simulação)	6,5	6,2	6,5
Média coletada	17,8	12,2	17,4
Observações (coleta)	7	9	4
Desvio padrão (coleta)	2,9	4,2	2,7

	Linha 26	Linha 200	Linha 222
Diferença das médias	-2,3	-2,3	-2,2
Limite inferior	-5,2	-5,7	-6,2
Limite superior	0,6	1,0	1,9

Fonte: Autor.

Nota-se que o modelo representou bem a operação da parada BRT uma vez que o intervalo de confiança da diferença entre as médias contém o valor zero, mostrando que a diferença entre elas não é significativa.

Continuando a análise, a Tabela 11 representa os resultados obtidos para o *modelo avançado de passageiros*. Aqui, cabe o seguinte questionamento: como um método que apresenta mais detalhes como das operações de embarque e de desembarque, tempo de abertura e fechamento das portas, passando pela ocupação e capacidade dos veículos pode resultar em diferenças entre as médias maiores que o método anterior, que pode ser considerado relativamente mais simples? A resposta para esse questionamento está nas premissas inerentes ao *modelo avançado de passageiros* e nos dados obtidos em campo.

Nesse modelo, como apresentado na revisão bibliográfica, há a comparação de dois produtos: o primeiro é o produto da quantidade de passageiros embarcando pelo tempo médio de embarque por passageiro; o segundo, o produto da quantidade de passageiros desembarcando pelo tempo médio de desembarque por passageiro. Àquele produto que apresentar o maior valor, será somado o *Clearance Time* e, dessa forma, será obtido o tempo parado do respectivo veículo. Quando ocorria essa comparação, dificilmente o produto em que se encontra a quantidade de embarque iria superar o produto em que se encontra a quantidade de desembarque por conta que a demanda não é muito grande, fazendo com que os resultados ficassem mais dependentes da porcentagem de desembarque, mesmo que em alguns casos o produto que apresenta o embarque realmente superasse o outro. Porcentagem essa que é fixa, sendo uma limitação do modelo.

Tabela 11 – Tempo parado médio: *modelo avançado de passageiros*

	Linha 26	Linha 200	Linha 222
Média das simulações	12,3	9,2	15,0
Observações (simulação)	70	90	40
Desvio padrão (simulação)	0,9	4,2	1,2

	Linha 26	Linha 200	Linha 222
Média coletada	17,8	12,2	17,4
Observações (coleta)	7	9	4
Desvio padrão (coleta)	2,9	4,2	2,7
Diferença das médias	-5,5	-3	-2,4
Limite inferior	-8,2	-6,2	-6,7
Limite superior	-2,8	0,3	2,0

Fonte: Autor.

Observando a tabela, nota-se que o intervalo de confiança para a diferença entre as médias para a linha 26 não apresenta o zero, mostrando que a diferença entre elas é significativa. Assim, a simulação não está representando de maneira adequada a média do tempo parado da linha 26.

Em relação ao modelo *Viswalk*, em que há um maior grau de aleatoriedade da chegada da demanda, os resultados apresentaram diferenças menores que o modelo anterior, como pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12 – Tempo parado médio: método *Viswalk*

	Linha 26	Linha 200	Linha 222
Média das simulações	15,1	12,9	17,8
Observações (simulação)	70	90	40
Desvio padrão (simulação)	2,8	3,7	3,8
Média coletada	17,8	12,2	17,4
Observações (coleta)	7	9	4
Desvio padrão (coleta)	2,9	4,2	2,7
Diferença das médias	-2,7	0,7	0,4
Limite inferior	-5,4	-2,5	-3,7
Limite superior	0,02	4,0	4,5

Fonte: Autor.

O modelo também representou bem a operação da parada BRT, apresentando o valor zero no intervalo de confiança para a diferença entre as médias. Com a razoável representação do modelo do *Viswalk*, há indícios de que a operação da parada BRT, para àquela hora do dia 5 de setembro, foi bem simulada. Isso faz com que não haja a “necessidade” de calibração dos parâmetros por tentativa-e-erro, tendo em vista que os valores dos parâmetros foram observados em campo. Dito isto, foi escolhido validar o modelo com os dados que foram obtidos em campo uma vez que ele representou bem a operação do dia 5 de setembro.

4.4 Validação do modelo – dia 14 de setembro

Utilizando o modelo codificado, mas, agora, com os dados inerentes à operação do dia 14 de setembro apresentados anteriormente, foram obtidos os seguintes resultados apresentados na Tabela 13:

Tabela 13 – Validação do modelo com o dia 14 de setembro

	Linha 26	Linha 200	Linha 222
Média das simulações	15,4	13,2	15,6
Observações (simulação)	70	90	40
Desvio padrão (simulação)	3,5	3,6	2,0
Média coletada	15,6	11,2	16,8
Observações (coleta)	7	9	4
Desvio padrão (coleta)	2,8	3,1	2,6
Diferença das médias	-0,2	2,0	-1,2
Limite inferior	-2,9	-0,4	-5,4
Limite superior	2,5	4,4	3,0

Fonte: Autor.

Nota-se que os valores atribuídos aos diferentes parâmetros inerentes ao modelo também representaram bem o dia 14 de setembro, dia este que apresenta uma demanda de

embarque totalmente diferente para as linhas assim como a média de desembarque para cada linha. Logo, há indícios de que esse modelo representa bem a operação da parada BRT em estudo.

4.5 Caracterização do desempenho operacional atual

Os resultados obtidos em campo mostram os seguintes valores médios para os tempos parado das linhas: para a linha 026, o valor foi de 17,4 segundos; linha 200, 12,3 segundos e, para a linha 222, 16,6 segundos. Em relação aos *headways* de atendimento da parada, foi obtido o valor médio de 3 minutos e 16 segundos.

Pela Tabela 14, podem ser vistos os valores típicos de fatores pertencentes à sistemas BRT existentes retirado do Manual de BRT(2008).

Tabela 14 – Valores típicos de sistema de BRT existentes

Fator	Intervalo típico
Capacidade de veículo, ônibus padrão	60 – 75 passageiros
Capacidade de veículo, ônibus articulado	140 – 170 passageiros
Capacidade de veículo, ônibus biarticulado	240 – 270 passageiros
Fator de ocupação, horário de pico	0,80 – 0,90
Fator de ocupação, horário fora de pico	0,65 – 0,80
Headways por baía de parada, horário de pico	1 – 3 minutos
Headways por baía de parada, horário fora de pico	4 – 8 minutos
Tempo de parada, horário de pico	20 – 40 segundos
Tempo de parada, horário fora de pico	17 – 30 segundos
Número de baias de parada	1 - 5

Fonte: Adaptada de Manual de BRT (2008).

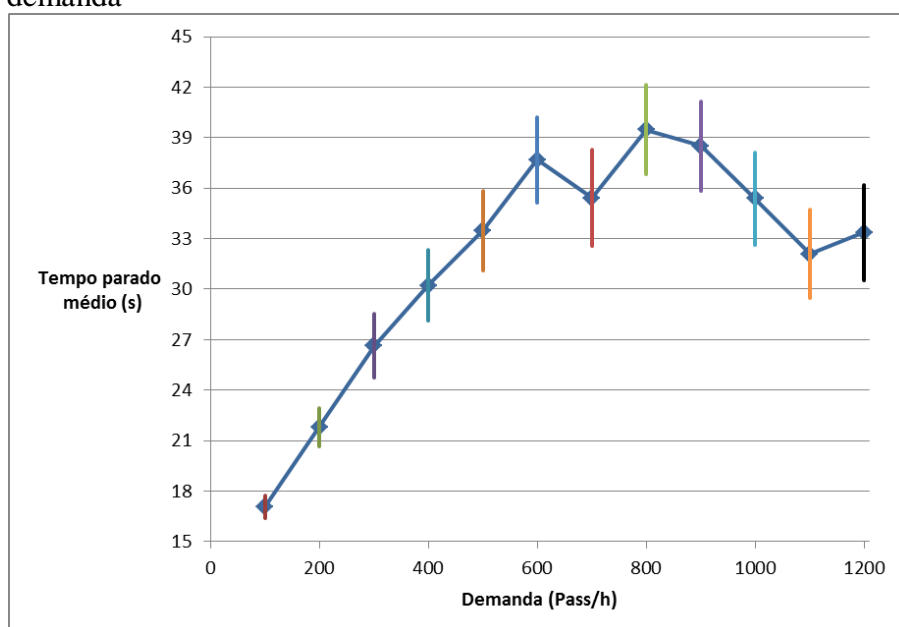
Logo, para o horário fora de pico, em que foram coletadas as observações, pode ser verificado que tanto os valores de *headways* quanto os tempos de parada se encontram abaixo do intervalo típico existente em sistemas BRT. Dessa forma, a operação da parada BRT analisada se encontra razoável do ponto de vista do usuário, não necessariamente para as empresas de transporte, pois uma oferta maior que a necessária pode acarretar em gastos financeiros excessivos.

4.6 Limitações do modelo e estimativa do desempenho operacional em cenários futuros

Utilizando o modelo validado, aumentando a demanda de passageiros para embarque na parada, mantendo a quantidade de ônibus por hora de 20 veículos e a proporção

de embarque entre as linhas assim como a porcentagem de desembarque para cada uma das linhas sendo uma média dos dados coletados no dia 5 de setembro e no dia 14 de setembro, foi possível estimar como irá se comportar o tempo médio parado das linhas em cenários futuros. O Gráfico 8 ilustra esse estudo. Por ele, nota-se a esperada tendência de crescimento do tempo parado médio das linhas e os intervalos de confiança de 95% provenientes dos resultados das 10 simulações realizadas de maneira similar às realizadas nos tópicos anteriores.

Gráfico 8 – Estimativa do tempo parado das linhas com o aumento da demanda



Fonte: Autor.

Em relação à média do tempo parado das linhas, foi estimado que quando a demanda de embarque foi da ordem de 400 passageiros por hora, na parada, o valor do tempo parado já seria superior àquele considerado típico para o horário fora de pico, devendo, assim, ser realizada ou estudada alguma medida que busque controlar esse valor.

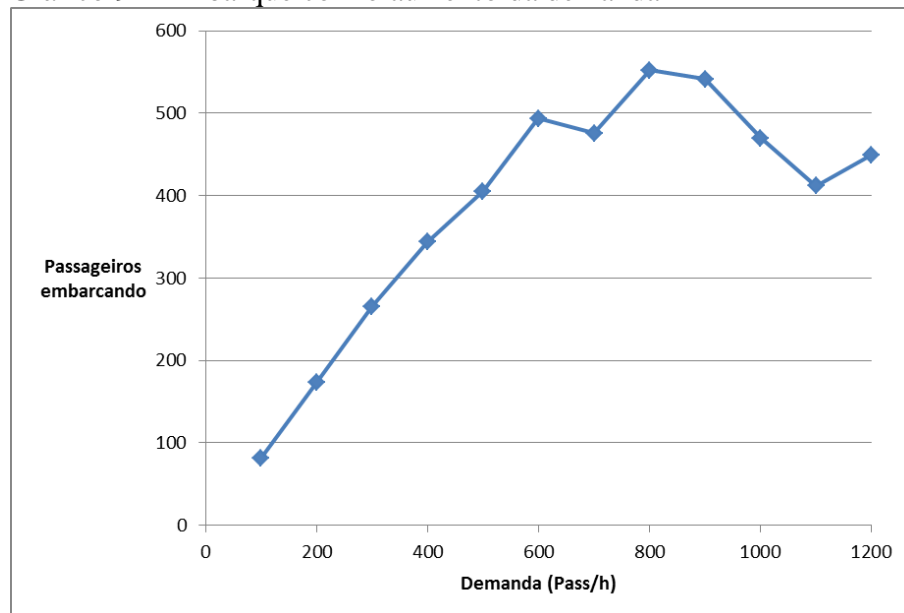
O fato de haver uma queda e uma oscilação do tempo parado médio das linhas com o aumento da demanda na parada tem como justificativa não estar havendo todo o embarque proveniente da demanda e na limitação do modelo a partir da quantidade máxima de passageiros que embarcam. Pelo gráfico 9, entende-se esse fato.

Observa-se a esperada tendência de aumento da quantidade de passageiros embarcando com o aumento da demanda na parada. No entanto, a partir do aumento da demanda de 600 passageiros por hora, há uma redução da quantidade de passageiros

embarcando seguida de uma oscilação desse valor. Essa oscilação é em torno da quantidade de passageiros embarcando de aproximadamente 500 passageiros.

Essa grandeza sugere a limitação do modelo em torno desse valor, pois mesmo com o aumento da demanda, não há um acréscimo significativo da quantidade de passageiros embarcando, havendo casos em que há a redução do embarque. A limitação pode ter como base a própria representação da parada, com suas dimensões na simulação de maneira a comportar um número grande de passageiros na sua área de espera, não permitindo o livre embarque dos passageiros que, posteriormente, chegam à parada e, conseqüentemente, a proporção de embarque entre as linhas fica comprometida.

Gráfico 9 – Embarque com o aumento da demanda



Fonte: Autor.

5 CONCLUSÕES

Com o estudo realizado, foi possível utilizar o *software* VISSIM para a modelagem da operação da parada BRT: Estação North Shopping, em Fortaleza, Ceará. Possuindo diferentes tipos de métodos que representam o tempo parado dos veículos, como o método da *distribuição de tempo*, o *modelo avançado de passageiros* e o *Viswalk*, com suas devidas limitações, premissas, vantagens e desvantagens para a modelagem da operação do transporte público, o *software* utiliza a microssimulação para esse fim, favorecendo o processo de análise, planejamento e gestão do sistema de transporte.

Na codificação da parada BRT em estudo, foi possível verificar o quanto é importante a etapa de coleta de dados para a simulação, devendo esta ser tratada com seriedade em virtude da influência que esses dados possuem não só na modelagem da rede por meio de considerações, dentre outras, a respeito das linhas que operam na parada, dos veículos que são utilizados e do tempo de entrada na rede, como também exercem influência nos próprios dados de saída que são obtidos pelo programador, havendo a possibilidade de, quando essa coleta é realizada de maneira não adequada, comprometer todo o processo de simulação e análise do sistema. A média do parâmetro *Door lock duration before departure* apresentou um valor baixo (0,3 segundo), refletindo uma prática frequente da operação o fato de que, em muitas observações, o motorista do veículo não esperava a porta fechar totalmente para iniciar a partida do veículo. Isso precisa ser avaliado tendo em vista que influencia na segurança do usuário.

Em relação à calibração e validação, verificou-se que o modelo representa relativamente bem a operação do sistema com os dados de campo, não havendo a necessidade de calibrar por tentativa-e-erro um parâmetro em virtude somente do desejo de diminuir um erro entre os dados simulados e os obtidos em campo. Fazer isso seria diminuir o erro de uma medida-alvo da simulação. No entanto, estaria compensando um erro pelo outro pelo fato de que, ao modificar o valor de um parâmetro do modelo somente com esse fim, poderiam surgir operações da simulação que não estariam coerentes com a realidade, podendo influenciar na funcionalidade do modelo. Com isso, foi validado o modelo com os dados obtidos em campo uma vez que ele representou bem a operação da parada em mais de um dia.

A operação da parada BRT em estudo apresentou valores de tempo parado médio por linha e *headways* abaixo dos valores considerados típicos em sistemas BRT existentes de acordo com a literatura, mostrando que, de certa forma, a operação da parada BRT se encontra em níveis adequados, tendo como base o ponto de vista do usuário. No entanto, seria

conveniente a realização de uma posterior análise do ponto de vista da gestão do sistema de transporte para um estudo mais adequado.

Com o modelo validado, foi possível estimar a operação da parada BRT em cenários futuros a partir do aumento da demanda pelo serviço, comprovando a tendência de crescimento do tempo parado médio das linhas. Assim, foi visto que por volta de 400 passageiros por hora, o tempo parado médio das linhas se encontraria em valores fora dos pertencentes à intervalos típicos de sistemas de BRT existentes para horário fora de pico, devendo haver um posterior estudo para a verificação e acompanhamento do comportamento da demanda para a possível análise de alternativas que busquem melhor favorecer a gestão do sistema de transporte. Além disso, nota-se uma limitação do modelo em torno do valor de, aproximadamente, 500 passageiros embarcando, tendo em vista o fato de que o aumento da demanda já não representava aumentos significativos da quantidade de passageiros embarcando, havendo, em certas ocasiões, diminuição do embarque.

Por fim, o uso da microssimulação está condicionado à um intenso processo de aprendizado, considerações, limitações e de dedicação. Não é desejo da simulação representar todos os processos e variáveis da realidade. É conveniente representar da maneira mais fiel possível, tendo em vista o custo inerente a esse tipo de estudo. É necessário entender que o modelo apresenta limitações que vão desde considerações a respeito de parâmetros até a aplicação dos dados de entrada, devendo, dessa forma, ser utilizado da melhor maneira.

Como sugestões para trabalhos futuros, é possível destacar:

- a) Simular corredores com estações BRT;
- b) Simular modelos em que haja a consideração da ocupação real dos veículos e, conseqüentemente, um estudo a respeito da porcentagem de desembarque;
- c) Coletar os diferentes parâmetros inerentes à movimentação dos pedestres nas paradas de maneira a representar maiores interações entre os passageiros.

REFERÊNCIAS

- CHAGAS, L. A. **Crítérios para definição de elementos de projeto de estações de corredores de BRT**. 2014. Dissertação de Mestrado. Curso de Mestrado em Geotecnia e Transportes. Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- ELEFTERIADOU L. **An Introduction to Traffic Flow Theory**. New York: Springer. 2014.
- ETUFOR (2010). **Anuário de Transportes Públicos de Fortaleza**. Relatório. Fortaleza, Brasil.
- FERRAZ, A. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte Público Urbano**. 2a.ed. São Carlos: Rima, 2004.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Manual de BRT (2008)**. Brasília, Brasil.
- NTU - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS (2014). **Anuário 2013-2014**. Brasília, Brasil.
- OWEN, B.; BROCK, G.; MASTBROOK, P.; PAVLIK, R.; RAO, S.; STALLARD, C.; SUNKARI, Z.; ZHANG, Y. (1996) **A compendium of Traffic Model Validation Documentation and Recommendations: Phase I, Tasks A-H**. USA: Department of Transportation.
- PTV – PLANUNG TRANSPORT VERKEHR AG . **PTV VISSIM 9 User Manual**. 2016.
- SOUSA, V. V. **Uso da Simulação Microscópica na Avaliação do Desempenho Operacional de Sistemas de Transporte Público por Ônibus**. 2016. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2016.
- TRB (2000). **Highway Capacity Manual 2000**. Transportation Research Board, Washington, D.C.