



Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Civil

Marcele Martins Prudêncio

Experimentos com a modelagem do sistema BRT proposto pelo PLAMUS para a região metropolitana de Florianópolis utilizando dados e *softwares* abertos

6 de dezembro de 2024

Marcele Martins Prudêncio

**Experimentos com a modelagem do sistema BRT proposto pelo PLAMUS para a região metropolitana de Florianópolis utilizando dados e *softwares* abertos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pela acadêmica Marcelle Martins Prudêncio à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho, Dr.

6 de dezembro de 2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Prudêncio, Marcele Martins

Experimentos com a modelagem do sistema BRT proposto pelo PLAMUS para a região metropolitana de Florianópolis utilizando dados e softwares abertos / Marcele Martins Prudêncio ; orientador, Alexandre Hering Coelho, 2024.

84 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Modelagem de tráfego. 3. Transporte coletivo. 4. Macroscópica. 5. TrPlan. I. Coelho, Alexandre Hering. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**Marcele Martins Prudêncio**

**Experimentos com a modelagem do sistema BRT proposto pelo PLAMUS para a região metropolitana de Florianópolis utilizando dados e *softwares* abertos**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Liane Ramos da Silva, Dra.  
Coordenadora do Curso

6 de dezembro de 2024

**Banca examinadora:**

Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.  
Orientador

Profa. Luciana Rohde, Dra.  
Membro

Msc. Fernanda Beckhauser Mallon  
Membro

# Agradecimentos

Ao professor e orientador Alexandre, por toda sua dedicação e paciência em me orientar na realização deste trabalho e pela disponibilidade em programar partes essenciais para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

À equipe de Transporte de Passageiros e Mobilidade Urbana do LabTrans, por me darem a oportunidade de trabalhar nessa área e por todo o aprendizado que me proporcionaram.

À Lego Engenharia, pela compreensão, apoio concedido ao longo desta etapa e pelo ensinamento que continuam me dando.

À minha irmã, Júlia, por ouvir meus desabafos durante toda esta trajetória.

Aos meus pais, Monice e Anderson, por toda paciência e incentivo e por serem exemplos de força e dedicação.

# RESUMO

O crescimento do transporte individual motorizado nos centros urbanos tem gerado impactos negativos prejudicando a qualidade de vida da população, evidenciando a necessidade de incentivar outros modos de transporte para além do motorizado individual. A modelagem do transporte pode ajudar nesse processo, uma vez que ela tenta reproduzir o comportamento dos usuários dos sistemas de transporte e pode auxiliar na tomada de decisões de possíveis intervenções. Este trabalho pretende criar um modelo do cenário atual da Região Metropolitana de Florianópolis e analisar o impacto da implementação do sistema BRT proposto pelo PLAMUS na RMF utilizando dados e *softwares* abertos. Os dados de demanda e linhas do transporte público são do PLAMUS e os de rede viária e pontos de ônibus do *OpenStreetMap*. O cenário atual é referente a estrutura de transporte já existente, com o ônibus como transporte público. O cenário futuro consiste na simulação da implementação de um sistema BRT coexistindo com o sistema de ônibus na área de estudo. Ambos cenários são modelados com os dados divulgados pelo PLAMUS em 2014 projetados para o ano de 2040. O método de modelagem do tráfego é baseado no modelo 4 etapas, que são: geração, distribuição, divisão modal e alocação. Neste trabalho é feita a alocação do transporte privado e público do cenário atual para calibração do modelo pelo método logit binomial da etapa de divisão modal. Em seguida o logit é processado utilizando as alocações dos cenários atual e futuro para obtenção de dados ajustados de demanda, agora com o sistema BRT adicionado. As alocações são refeitas com o resultado da divisão modal para comparação de demandas antes e depois da implementação do BRT. A validação do modelo para o transporte privado é feita de forma visual comparando o resultado encontrado com os divulgados pelo PLAMUS. O modelo logit binomial da etapa de divisão modal é feito utilizando somente a variável tempo. A alocação obtida das demandas do transporte privado na rede viária se assemelham visualmente com a referência. A modelagem do transporte público existente também é muito próximo ao que foi divulgado. Acredita-se que a ideia de modelar analiticamente cenários com e sem a implementação do BRT e analisar os impactos gerados nas demandas dos transportes público e privado é passível de ser tema em trabalhos futuros. No decorrer do trabalho é possível observar que a etapa de calibração do modelo logit resulta em um valor inesperadamente baixo de  $R^2$  sugerindo uma representação pouco realista. Apesar disso, há um esforço em buscar possíveis modelos que expliquem a relação entre a variável tempo e a escolha de modal para prosseguir com o experimento, mas sem sucesso, por isso concluiu-se que, no modelo desenvolvido, a variável tempo não é levada em consideração pelos usuários. Os dados utilizados não foram suficientes para modelar a área de estudo utilizando o método escolhido.

Palavras-chave: mobilidade urbana, transporte coletivo, modelagem macroscópica

# ABSTRACT

The growth of individual motorized transport in urban centers has had negative impacts on the population's quality of life, highlighting the need to encourage other modes of transport besides the motorized transport. Transport modeling can help in this process, as it tries to reproduce the behavior of users of transport systems and can help in making decisions for possible interventions. This work aims to create a model of the current scenario in the Florianópolis Metropolitan Region and analyze the impact of implementing the BRT system proposed by Plamus in the RMF using open data and software. The demand data and public transport lines are from PLAMUS and the road networks and bus stops data are from OpenStreetMap. The current scenario refers to the existing transport structure, with the bus as public transport. The future scenario consists of simulating the implementation of a BRT system coexisting with the bus system in the study area. Both scenarios are modeled using the data released by PLAMUS in 2014 and projected to 2040. The traffic modeling method follows the 4-step transportation modeling: trip generation, trip distribution, mode choice and trip assignments. In this paper, the trip assignments of private and public transport in the current scenario is done to calibrate the model using the binomial logistic regression of the mode choice step. The logit is then processed using the trip assignments from the current and future scenarios to obtain adjusted demand data, now with the BRT system added. The assignments are redone with the result of the mode choice to compare demand before and after BRT implementation. The data validation for private transport is done visually by comparing the results found with those published by Plamus. The binomial logit regression of the mode choice step is made using the time as the only variable. The obtained assignment of private transport demands on the road network visually resembles the reference. The modeling of existing public transport is also very close to what was published. The idea of analytically modeling scenarios with and without the implementation of the BRT and analyzing the impacts generated on public and private transport demands is likely to be the subject of future paper. During the work, it is possible to observe that the calibration stage of the logit regression resulted in an unexpectedly low value of  $R^2$  suggesting an unrealistic representation. Despite this, there is an effort to look for possible models that explain the relationship between the time variable and mode choice in order to proceed with the experiment, but without success, so it was concluded that, in the model developed, the variable "time" is not taken into account by users. The data used was not sufficient to modeling the study area using the chosen method.

*Key-words: urban mobility, public transport, macroscopic modeling*

## Lista de Figuras

1	Comparação de ocupação viária de 80 pessoas em ônibus e em carros . . . . .	8
2	Veículos do sistema de BRT . . . . .	12
3	Comparação da implementação de três tipos de transportes urbanos . . . . .	15
4	Área de estudo . . . . .	25
5	Densidade demográfica por município . . . . .	26
6	Índice de desenvolvimento humano municipal por município . . . . .	26
7	Atividade com maior valor adicionado ao PIB bruto . . . . .	27
8	Fluxograma do método . . . . .	34
9	Velocidades na rede viária . . . . .	42
10	Capacidades na rede viária . . . . .	43
11	Antes e depois do uso da ferramenta <i>v.clean</i> . . . . .	43
12	Antes e depois da união de <i>links</i> em desnível . . . . .	44
13	Rede viária . . . . .	44
14	Classificação das rodovias da malha viária . . . . .	46
15	Centróides das zonas de tráfego . . . . .	47
16	Pontos de ônibus . . . . .	47
17	Rede do transporte público . . . . .	48
18	Volume na rede . . . . .	49
19	Comparação da alocação incremental obtida com a do PLAMUS . . . . .	49
20	Volume do transporte privado nas pontes Pedro Ivo Campos e Colombo Salles . . . . .	50
21	Volume do transporte privado na BR-101 . . . . .	50
22	Volume do transporte privado na Avenida Beira-Mar . . . . .	51
23	Volume do transporte privado na SC-401 . . . . .	51
24	Saturação dos <i>links</i> da rede . . . . .	53
25	Dispersão dos pontos da calibração do modelo logit . . . . .	55
26	Calibração do modelo logit . . . . .	56
27	Regressões com do Curve Expert . . . . .	58
28	Sistema de BRT . . . . .	59
29	Rede do sistema de BRT . . . . .	60
30	Capacidades reduzidas na rede viária . . . . .	61
31	Sistema de transporte público com BRT . . . . .	62
32	Volume na rede com capacidade reduzida . . . . .	63
33	Comparação dos volumes na rede com alocação incremental . . . . .	65



## Lista de Tabelas

1	Custo de uma viagem hipotética de sete quilômetros nas cidades brasileiras (R\$) . . . . .	7
2	Classificação do transporte coletivo de passageiros segundo a NBR 15570 . . . . .	9
3	Tamanho e capacidade por tipo de BRT . . . . .	12
4	Frota registrada nos municípios da RMF . . . . .	28
5	Localização dos pontos mestre das pesquisas de CVC e FOV . . . . .	30
6	Dados de demanda e infraestrutura utilizados para a modelagem . . . . .	35
7	Velocidade e capacidade das rodovias . . . . .	36
8	Dados de entrada utilizados para criação de linhas e redes do transporte público . . . . .	38
9	Dados de entrada utilizados para as alocações do transporte . . . . .	39
10	Métricas por classe da rodovia . . . . .	45
11	Alocação incremental do transporte privado . . . . .	52
12	Quantidade de <i>links</i> saturados na rede . . . . .	53
13	Alocação do transporte público . . . . .	54
14	Regressões para calibração do modelo logit . . . . .	57
15	Alocação incremental do transporte privado na rede com capacidade reduzida . . . . .	64
16	Alocação do transporte público com BRT . . . . .	65

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos . . . . .	2
1.1.1	Objetivo geral . . . . .	2
1.1.2	Objetivos específicos . . . . .	3
1.2	Limitações do trabalho . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão bibliográfica</b>	<b>4</b>
2.1	Mobilidade urbana . . . . .	4
2.2	Transporte público coletivo . . . . .	5
2.2.1	Ônibus . . . . .	7
2.2.2	<i>Bus Rapid Transit</i> (BRT) . . . . .	9
2.3	Planejamento de transportes . . . . .	15
2.3.1	Elaboração de modelos de simulação . . . . .	17
2.3.2	Modelo logit . . . . .	20
2.3.3	Alocação incremental . . . . .	22
2.3.4	Alocação tudo ou nada . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Área de estudo</b>	<b>24</b>
3.1	Perfil socioeconômico . . . . .	25
3.2	Mobilidade urbana na Grande Florianópolis . . . . .	28
3.3	Descrição dos dados disponíveis . . . . .	29
3.4	Trabalhos semelhantes . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Método</b>	<b>34</b>
4.1	Modelagem da rede viária . . . . .	35
4.2	Alocação do transporte . . . . .	38
4.3	Logit binomial . . . . .	39
4.4	Estrutura de dados do TrPlan . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>42</b>
5.1	Modelagem da infraestrutura . . . . .	42
5.2	Alocação do transporte privado . . . . .	48
5.3	Alocação do transporte público . . . . .	53
5.4	Logit binomial . . . . .	54
5.5	<i>CurveExpert</i> . . . . .	56
5.6	Modelagem da rede de BRT . . . . .	59

5.7	Alocação do BRT na malha viária . . . . .	62
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>66</b>
6.1	Recomendações para trabalhos futuros . . . . .	67
	<b>Referências</b>	<b>68</b>
<b>A</b>	<b><i>Script</i> para atribuir velocidade aos <i>links</i> de rodovias</b>	<b>70</b>
<b>B</b>	<b><i>Script</i> para atribuir capacidade aos <i>links</i> de rodovias</b>	<b>71</b>
<b>C</b>	<b><i>Script</i> para a elaboração dos dados de itinerários de transporte público</b>	<b>72</b>
<b>D</b>	<b><i>Script</i> para aplicar redução de capacidade na rede de transporte privado</b>	<b>74</b>

# 1 Introdução

O problema da falta de mobilidade urbana no Brasil advém do crescimento urbano orientado pelo uso excessivo do transporte individual, que culminou no aumento do tempo de viagem e do congestionamento nas vias (CARVALHO, 2016), impactando diretamente a qualidade de vida da população, desperdiçando tempo de horas produtivas ou de lazer.

Com a urbanização hoje já consolidada e em constante crescimento, aumentar a infraestrutura viária para transporte individual motorizado pode amenizar temporariamente o problema dos congestionamentos diários, mas não soluciona a longo prazo.

A Lei Federal nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, instituiu as diretrizes do Plano Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU) e tem como objetivo a integração entre os diferentes modos de transporte, orientados pela priorização do transporte público coletivo sobre o individual motorizado. Apesar disso, Moraes (2016) menciona que a lei em questão deixa brechas quanto a obrigatoriedade da implementação do PNMU.

Apesar da cultura voltada aos veículos individuais, no Brasil, mais da metade dos residentes de suas capitais utilizam transporte público coletivo como meio de transporte e aproximadamente 85% deles gastam mais de 30 minutos do trânsito, conforme pesquisa feita pela CNDL, SPC e SEBRAE (2022).

A qualidade do transporte público coletivo está diretamente ligada a frequência, pontualidade, custo, conforto e ao alcance do serviço e torná-lo atraente aos cidadãos fará com que mais pessoas substituam o transporte individual pelo coletivo.

Vasconcellos (2013) coloca que no Brasil, até o momento da publicação do ensaio, não houve circulação fluida e regular dos ônibus por problemas no pavimento, estacionamentos irregulares nas vias, paradas nos semáforos ou congestionamentos causados pelo transporte individual. Esses fatores, além de contribuírem para os congestionamentos nas cidades, aumentam o número de veículos necessários para suprir a demanda do transporte público, afetando também o custo do transporte.

A Região Metropolitana de Florianópolis (RMF) segue a tendência nacional. De acordo com PLAMUS (2014c), a Grande Florianópolis foi a segunda área conurbada brasileira que mais aumentou a população em 2014, com crescimento de 3,19% e concentração de habitantes nas cidades de Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu.

Em relação a frota existente na RMF, segundo levantamento feito pelo Ministério dos Transportes (2024), em 10 anos, houve um aumento de 43% no número de automóveis, correspondente a 3,7% ao ano. Analisando os dados é possível observar que o crescimento do número de veículos da região é maior que seu crescimento populacional. PLAMUS (2014c) afirma que a centralização dos principais serviços na ilha de Florianópolis, que resulta em movimentos pendulares, e a infraestrutura viária existente também contribui para geração de congestionamentos diários de até três horas.

Para Hoel, Garber e Sadek (2011), a solução para os problemas descritos é um eficaz planejamento dos transportes envolvendo previsão, orçamento e componentes da infraestrutura como veículos, redes, terminais e sistemas de controle.

A modelagem de tráfego desempenha um papel fundamental no planejamento e na gestão da mobilidade urbana, permitindo a análise de fluxos viários e a avaliação de alternativas para melhorar a eficiência dos deslocamentos.

Ferramentas computacionais auxiliam nessa análise do sistema de uma região, permitindo o estudo de seu desempenho diante de mudanças sugeridas e identificando cenários alternativos que atendam os objetivos propostos inicialmente, diminuindo o tempo e o custo de análise de cada cenário proposto, sem comprometer o tráfego nas vias. Ajudam também na identificação de gargalos e na proposição de soluções que otimizem o uso da infraestrutura disponível. Para mais, as ferramentas computacionais ajudam a monitorar o desempenho do tráfego possibilitando a gestão do sistema.

Diversos *softwares* podem ser usados para modelar o tráfego, dependendo das necessidades específicas de análise e do contexto, da escala do estudo e da complexidade da rede viária. A escolha do *software* adequado pode influenciar diretamente a precisão dos resultados e a qualidade das decisões baseadas na modelagem.

Uma opção para a modelagem de tráfego é utilizar o *software* TrPlan juntamente com o *software* QGIS. Suas funcionalidades se complementam para possibilitar a uma modelagem mais próxima da realidade.

O TrPlan foi desenvolvido pelo professor Alexandre Hering Coelho, no Departamento de Engenharia Civil da UFSC, originalmente para apoiar as atividades práticas da disciplina ECV2932 - Planejamento de Transportes. Ele implementa métodos clássicos do Modelo 4 Etapas de Transportes e possui uma usabilidade simples e acessível para o usuário. Permite a modelagem das etapas de geração, distribuição, divisão modal e alocação do transporte, além de prover outras ferramentas computacionais como criação de linhas, redes de transporte público, ajustes de matrizes OD entre outras ferramentas úteis para processamento de dados envolvidos nas modelagens.

O QGIS é um sistema de informação geográfica (SIG) de código aberto criado pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) que permite a visualização dos resultados. Também é possível criar, editar, analisar dados e compor mapas.

*Softwares* de código aberto são ferramentas interessantes para explorar o grau de realismo e sofisticação que podem alcançar em uma modelagem e quais são as limitações de cada um.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração de um modelo de simulação de transportes da Região Metropolitana da Grande Florianópolis abrangendo os modos privado motorizado e público coletivo

utilizando softwares e dados abertos visando avaliar o grau de realismo e de sofisticação que pode ser obtido. O modelo envolve a elaboração de um cenário atual e de um cenário futuro alternativo contendo a rede de BRT prevista para a região.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são os seguintes:

- a) avaliar a disponibilidade de dados abertos que agreguem ao modelo proposto;
- b) desenvolver a modelagem com base no *software* TrPlan para testar as suas funcionalidades;
- c) desenvolver e implementar estratégias para a elaboração de dados necessários para avançar na modelagem, quando necessário, mas minimizando redução de realismo no modelo;
- d) avaliar se houve mudança na escolha do modo de transporte após a inserção do BRT.

## **1.2 Limitações do trabalho**

Os dados disponíveis de demanda da área de estudo são oriundos do Plano de Mobilidade da Região Metropolitana de Florianópolis (PLAMUS) de 2014, que usou como base o censo do IBGE de 2010, e foram projetados para o cenário temporal adotado neste trabalho (2040). A rede viária deste modelo é do OpenStreetMap de 2024, podendo gerar conflitos devido às mudanças que ocorreram neste período.

Para o desenvolvimento do modelo apresentado neste trabalho, foram utilizados exclusivamente dados de acesso público. Busca-se criar um modelo base o mais realista possível, embora a disponibilidade dos dados possa limitar essa possibilidade.

## 2 Revisão bibliográfica

Esta seção contextualiza a importância da mobilidade urbana nas cidades, as vantagens do planejamento de transporte priorizando o transporte público coletivo e são apresentados conceitos para a elaboração de modelos de simulação de tráfego.

### 2.1 Mobilidade urbana

Entende-se como mobilidade urbana a capacidade de deslocamento de um indivíduo (ARAÚJO et al., 2011). Segundo Jones (1981), citado por Raia Junior (2000), há dois fatores envolvidos na mobilidade urbana e são eles: a) efetividade do sistema de transporte e b) necessidade do cidadão. O primeiro fator tem relação com conectar um lugar a outro e o segundo refere-se a realidade vivida por cada um, como a possibilidade de escolher o meio de transporte que deseja utilizar.

A mobilidade urbana é um dos pilares fundamentais para o funcionamento eficiente e sustentável das cidades modernas. A forma como as pessoas se deslocam dentro do centro urbano não apenas afeta sua qualidade de vida, mas também tem um impacto significativo no meio ambiente e na economia (PIRES; PIRES, 2016). Neste contexto, políticas e práticas de mobilidade urbana podem ser desenvolvidas para servir melhor à população, promovendo acessibilidade, equidade e sustentabilidade.

Segundo Portugal (2017), as primeiras instituições criadas com o propósito de estudar e planejar a mobilidade datam do início do século XX quando os veículos motorizados foram popularizados e a demanda era por construções de estradas, mas foi só em meados de 1900, que o assunto se tornou uma disciplina.

Jones (2014) caracteriza a política do transporte dos últimos 50 anos em 3 fases:

- a) fase 1: houve um aumento do número de automóveis e um foco em atender a demanda que surgia do crescimento do tráfego sem que a cidade pare. Nesta fase, a quantidade de estradas aumenta, assim como a oferta de estacionamentos. Por se tratar de uma política voltada para o veículo individual, o investimento no transporte público é reduzido;
- b) fase 2: a ideia de que o transporte coletivo utiliza o espaço público de forma mais eficiente que o privado e transporta mais passageiros começa a ser difundida e as políticas públicas se voltam para a ideia de acomodar o tráfego de automóveis existente e incentivar o uso de outros meios de transporte para a demanda excedente. Nesta fase há um investimento em transporte ferroviário na Europa, Japão e China e no ônibus e BRT na América do Sul para que o tempo do transporte coletivo se assemelhe ao tempo do transporte privado;
- c) fase 3: nesta fase se começa a avaliar o impacto do transporte na vida das pessoas e a qualidade de vida surge como um assunto de debate. Transportes sustentáveis e a melhoria do espaço

público para realização de atividades ao ar livre são pontos que caracterizam a fase 3. Há avanços nas técnicas de modelagem do tráfego a nível de pesquisa.

Um dos aspectos mais importantes da mobilidade urbana para Geurs e Wee (2004) é a acessibilidade ao transporte público e, neste caso, o termo acessibilidade refere-se a possibilidade de um ou mais indivíduos chegarem ao seu destino por meio de um ou mais meios de transporte.

De acordo com Mello (1981) as tecnologias mais comumente utilizadas para transporte urbano são o ônibus, o metrô, o trem e o VLT. Este trabalho, no entanto, focará em sistemas de transporte coletivo realizado por ônibus e um caso especial de ônibus, o BRT.

## 2.2 Transporte público coletivo

Vasconcellos (2013) diz que o transporte público coletivo no Brasil é utilizado, em grande maioria, por pessoas que não podem escolher pelo motorizado individual e para mudar esta realidade é preciso tornar esse meio de transporte atrativo tanto em questões de conforto como econômicas.

Para o autor, há três tempos importantes na qualidade da acessibilidade ao sistema de transporte: o tempo andando, que compreende a distância de caminhada até o ponto de parada do transporte público, o tempo de viagem, que é afetado pelo congestionamento das vias, e o tempo de transferência, que se relaciona com o tempo de troca entre veículos nas integrações.

Além disso, políticas de subsídio e tarifas acessíveis podem ajudar a tornar o transporte público mais acessível para todos, independentemente de sua condição socioeconômica, além de contribuir para a diminuição dos congestionamentos nos centros urbanos. Para Gomide (2006), essas políticas podem ser referentes à operação ou ao usuário. O vale transporte é um exemplo de subsídio ao usuário, em que os empregadores são responsáveis pelo pagamento do que excede 6% do salário do funcionário. A subvenção à operação pode acontecer de diversas formas, como, por exemplo, no preço do combustível ou na produção de acordo número de passageiros transportados.

Segundo Ferraz et al. (2024), há 12 fatores que influenciam na qualidade do transporte público:

1. **acessibilidade:** este fator está ligado a facilidade de chegar ao local de embarque e sair do local de desembarque rumo ao destino. No caso do deslocamento a pé, o estado de conservação das calçadas, a declividade do trajeto, a iluminação pública e a facilidade de atravessar as ruas são fatores observados;
2. **frequência de atendimento:** relacionada a quantidade de vezes que o transporte público passa em um ponto por período de tempo. Determina o tempo de espera pelo transporte;
3. **tempo de viagem:** associado ao tempo dentro do transporte. Pode variar de acordo com o congestionamento das vias do trajeto, da distância entre o ponto de embarque e o ponto de desembarque, do itinerário da linha, condições das estradas, etc.;



4. **lotação:** associado a quantidade de pessoas no interior do veículo. Idealmente, todos os passageiros viajariam sentados, mas aumentaria o custo do transporte. Normalmente é utilizado uma taxa de até 4,5 pass/m<sup>2</sup> em pé dentro dos veículos (Ministério dos Transportes, 2013);
5. **confiabilidade:** este parâmetro está relacionado com a certeza de que o transporte vai passar pelo ponto de embarque no horário previsto;
6. **segurança:** a segurança está ligada tanto a segurança no interior dos veículos como fora deles, abrangendo também os pontos de paradas;
7. **características dos veículos:** pode englobar fatores como nível de conforto dos veículos, tipo de assento ofertado, número de portas para embarque e desembarque. Além disso, a aparência externa dos veículos e a idade deles também entram em consideração;
8. **características dos locais de parada:** os locais de paradas desejáveis possuem abrigos para proteger de sol e chuva, bancos, sinalização. Além disso, estão localizados em calçadas largas para que não atrapalhe o fluxo de pedestres;
9. **sistemas de informações:** neste quesito, a divulgação das linhas, horários e localização dos pontos de parada auxiliam não só os usuários diários do transporte como os usuários menos habituais do sistema. Hoje em dia, aplicativos com o mapa do sistema de transporte estão disponíveis a população, e ainda é possível conferir a localização em tempo real da linha desejada para a viagem;
10. **conectividade:** relacionada a disposição das linhas na malha viária, existência ou não de integração física e tarifária e a facilidade que os usuários possuem em se deslocar de um ponto a outro da cidade. Quando há a necessidade de transbordo, a sincronização entre as linhas também é avaliada;
11. **comportamento dos operadores:** esse fator está associado a habilidade de condução dos veículos por parte dos motoristas, a espera do desembarque completo do passageiro, a disponibilidade em fornecer informações tanto por parte do motorista, quanto do cobrador (quando há), etc.;
12. **estado das vias:** rodovias com uma boa superfície de rolamento evitam que os veículos aumentem e diminuam a velocidade constantemente por algum tipo de obstáculo na pista. Sinalização viária também é um fator que influencia no estado da via, pois aumenta a segurança e o conforto dos passageiros.

### 2.2.1 Ônibus

Apesar dos vários meios de transporte público coletivo existentes, Gomide (2006) destaca que, no Brasil, o transporte coletivo mais implementado é o ônibus que compreende cerca de 90% do transporte público nacional operados por empresas privadas e gestão do município.

Ferraz et al. (2024) expõe que os ônibus convencionais transitam nas faixas da direita das vias, junto ao transporte privado, a tarifa é normalmente cobrada no interior do veículo e não há preferência semafórica.

Quando comparado com motos, carros à gasolina e carros à álcool, o ônibus, em 2010, segundo ANTP (2010), possuía o menor custo de deslocamento. Os custos levantados para esta comparação foram o custo social, que engloba acidentes de trânsito e emissão de poluentes, outros custos, referentes à impostos, taxas, manutenção e depreciação (para o ônibus esse custo é R\$0,00 pois já está inserido no preço da tarifa) e o custo de desempenho, sendo: tarifas, para o ônibus e combustível mais o valor de estacionamento para os carros. A Tabela 1 traz os resultados.

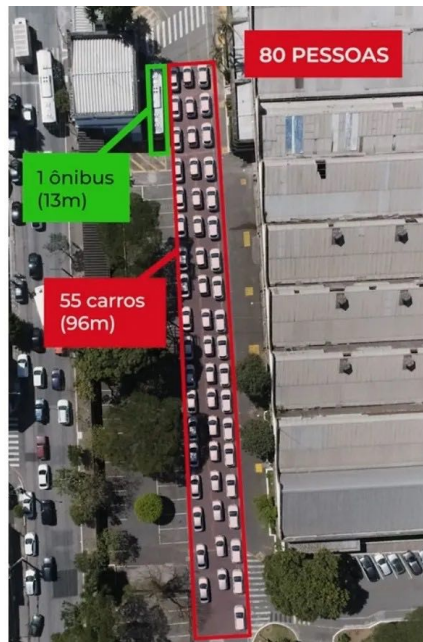
Tabela 1: Custo de uma viagem hipotética de sete quilômetros nas cidades brasileiras (R\$)

Modo	Social	Outros	Desembolso	Total
Ônibus	0,20	0,00	2,17	2,37
Auto gasolina	0,50	2,83	2,23	5,55
Auto álcool	0,50	2,94	2,39	5,83

Fonte: ANTP (2010)

Para Mello (1981), além do custo do ônibus ser menor, ele ocupa menos espaço viário por passageiro do que um automóvel individual. Um ônibus ocupa três vezes mais espaço urbano que um carro, mas transporta 160 vezes mais passageiros. A Figura 1 ilustra essa espacialidade. Trocar os automóveis por ônibus no espaço viário, reduzirá o consumo de combustível, a quantidade de veículos nas rodovias e ainda reduzirá o custo de acidentes.

Figura 1: Comparação de ocupação viária de 80 pessoas em ônibus e em carros



Fonte: Diário do transporte<sup>1</sup>

A NBR 15570 (ABNT, 2021) que trata da fabricação de veículos acessíveis do transporte coletivo de passageiros, classifica os veículos considerando o tipo, complementação de tipo, categoria, capacidade de passageiros sentados e em pé, peso bruto total e comprimento total. A Tabela 2 mostra as especificidades de cada modelo de ônibus convencional.

<sup>1</sup>Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2022/09/22/sptrans-divulga-video-comparando-a-ocupacao-de-um-onibus-e-de-um-automovel/>>

Tabela 2: Classificação do transporte coletivo de passageiros segundo a NBR 15570

<b>Tipo</b>	<b>Complementação de tipo</b>	<b>Capacidade</b>	<b>Comprimento total</b>
Micro-ônibus	Micro-ônibus	$\leq 20$ passageiros sentados e em pé	$\leq 8$
Ônibus	Miniônibus	$\geq 21$ passageiros sentados e em pé	$\leq 10$
Ônibus	Midiônibus	$\geq 40$ passageiros sentados e em pé	$\leq 12$
Ônibus	Básico	$\geq 70$ passageiros sentados e em pé	$\leq 14$
Ônibus	Padrón	$\geq 80$ passageiros sentados e em pé	$\leq 14$
Ônibus	Articulado	$\geq 100$ passageiros sentados e em pé	$> 15$
Ônibus	Biarticulado	$\geq 160$ passageiros sentados e em pé	$> 25$

Fonte: (ABNT, 2021)

Para aumentar a capacidade e velocidade dos veículos no Brasil, algumas estratégias estão sendo empregadas (FERRAZ et al., 2024). Segundo os autores, a principal e mais visível é o aumento do tamanho dos veículos para comportar mais passageiros. Além disso, vêm sendo implementadas faixas exclusivas, preferência em semáforos, pagamento da tarifa fora do veículo em estações, plataformas dos veículos no mesmo nível do local de embarque e desembarque, paradas com mais de uma baia e entrada e saída de terminais de forma independentes.

Vasconcellos (2013) acredita que o uso excessivo do espaço viário pelos automóveis reduz a velocidade dos ônibus, forçando as operadoras a colocar mais veículos em circulação para cumprir o atendimento predefinido. Com isso, o uso de mais equipamentos e de mais mão de obra acaba aumentando o custo e o valor da tarifa cobrada dos usuários.

### 2.2.2 *Bus Rapid Transit* (BRT)

De acordo com Ministério das Cidades (2008):

"*Bus Rapid Transit* (BRT) é um sistema de transporte de ônibus que proporciona mobilidade urbana rápida, confortável e com custo eficiente através da provisão de infraestrutura segregada com prioridade de passagem, operação rápida e frequente e excelência em marketing e serviço ao usuário."

Segundo Diaz (2004), são seis os principais elementos que compõem o sistema BRT e são listados a seguir.

#### 1. Via de circulação:

As vias de circulação são os fatores mais críticos do sistema BRT. O modo como as faixas para uso do BRT são implementadas determinam a velocidade e a confiabilidade do sistema. Além disso, o custo delas são os mais significativos na hora de implementar esse modo de transporte. Há três características das vias.

- Grau de separação: refere-se ao grau de separação das vias de BRT com as demais. Quanto mais segregada esta pista for, maior é a confiabilidade do sistema e menor é o tempo de viagem. As separações em desníveis, são os maiores graus segregação, os mais caros, os mais seguros e os que conseguem prover maior velocidade para o BRT.

Há quatro formas de implementar as vias para BRT, que variam de acordo com o grau de segregação adotado. Quanto mais segregada a via for, mais investimento é necessário para sua implementação.

A primeira opção é adoção de vias de fluxos mistos. Essa é a forma que opera a maioria dos serviços de transporte urbano mas gera atrasos para os veículos BRT. Uma variação da via de fluxo misto é a implementação de uma faixa de ultrapassagem. Essa faixa geralmente é uma seção curta de via próxima a gargalos no trânsito para uso exclusivo do BRT. Normalmente, tem o objetivo de dar prioridade ao BRT no trânsito.

A segunda maneira é ter uma faixa designada ao BRT para uso exclusivo. Normalmente não possuem barreiras físicas para a separação do trânsito de outros veículos. Os veículos BRT geram atrasos mínimos, reduzem tempo de viagem e ganham confiabilidade. Em alguns casos é possível permitir o tráfego de outros veículos na via exclusiva em conversões, mas haverá uma redução no desempenho do sistema.

O terceiro modo de implementação das vias de BRT, são os corredores urbanos. Os corredores são faixas da via exclusivas para BRT com separação física do restante do tráfego, diminuindo o risco de acidentes e aumentando a velocidade de fluxo. No caso em há condições de construção de apenas uma faixa para BRT, essa pode ser bidirecional, necessitando de cronogramas alinhados para não prejudicar a fluidez do sistema.

A quarta e última maneira de implementar faixas de BRT são vias exclusivas em desnível. As vias são totalmente separadas do tráfego geral, por elevados ou viadutos. São as que

requerem maior investimento, mas possuem elevado nível de confiabilidade e menor tempo de viagem.

- Sinalização horizontal: delimita o espaço destinado a operação do BRT, separando-o dos outros automóveis. Há três técnicas de delimitação. A primeira é através de sinalização e faixas. São a forma mais básica de marcação de espaço destinado a BRT. A segunda é com a utilização de itens com elevação, podem ser tachões, meios-fios elevados, *bollards*, ou outros objetos que impedem que outros veículos utilizem a faixa. Já a terceira técnica de delimitação é por meio de cores no pavimento, indicando que a via é exclusiva para BRT.
- Orientação lateral: é utilizada para a orientação lateral do veículo na pista. Esta tecnologia orienta os motoristas na hora de dirigir e facilita o embarque e desembarque sem degraus. Podem ser instaladas em toda a extensão da via de BRT ou em lugares estratégicos como curvas, passagens estreitas, entrada e saída de estações. Pode ser mecânica, eletromagnética ou óptica.

## 2. Estações:

Há cinco características relacionadas as estações de BRT e elas são listadas a seguir.

- Tipo de estação: como normalmente o sistema BRT possui menos paradas que as linhas de ônibus convencional, há um número maior de passageiros para embarcar na estações. Essas estações podem variar desde simples abrigos até a terminais de integração.  
As paradas básicas constituem um abrigo simples para proteger os usuários de intempéries. Possuem o menor custo de implantação e oferecem o menor nível de conforto aos passageiros.  
As paradas aprimoradas, já possuem um nível de conforto maior que a anterior, com bancos e latas de lixo. O *design* dessas paradas normalmente é feito para diferenciar a parada do BRT da parada do ônibus convencional.  
As estações reservadas oferecem embarque e desembarque em nível e, em sua maioria, oferecem outros serviços como quiosques para alimentação.  
O terminal intermodal é o último tipo de estação possível e o que demanda maior investimento. Além das comodidades encontradas nas estações reservadas, ele dá suporte a integração com outros modos de transporte, como o ônibus convencional, por exemplo.
- Altura da plataforma: a altura da plataforma ajuda na acessibilidade do transporte, auxiliando no embarque e desembarque de pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida. Quanto mais nivelada for a plataforma, mais reduz o tempo de viagem.
- Layout da plataforma: define quantos veículos podem parar na estação ao mesmo tempo. A plataforma de comprimento único comporta apenas um veículo, a plataforma estendida, por sua vez, comporta no mínimo dois veículos. Há também a plataforma designada, que comporta vários veículos e cada linha possui seu local específico de parada.

- Capacidade de ultrapassagem: a possibilidade de ultrapassagem diminui o tempo de viagem e é benéfica ao sistema quando o fluxo de veículos é intenso e quando várias linhas operam ao mesmo tempo e possuem demandas muito variáveis. Podem ser recuos para parada nas estações ou uma nova pista destinada a ultrapassagem.
- Acesso à estação: a estrutura de acesso à estação pelos pedestres deve conectar a estação aos locais do entorno por meio de calçadas, passarelas, etc. Estacionamentos próximos também contribuem em atrair novos passageiros a utilizar o BRT.

### 3. Veículos:

Os veículos possuem ligação direta com a velocidade, capacidade, meio ambiente e conforto, sua configuração é uma combinação de tamanho, altura do piso e tipo de carroceria conforme mostra a Tabela 3. Os modelos são ilustrados na Figura 2.

Tabela 3: Tamanho e capacidade por tipo de BRT

Modelo	Padrão	Articulado	Biarticulado
Comprimento (metros)	12	18,5	24
Capacidade (passageiros)	60-80	120-170	240-270

Fonte: Ministério das Cidades (2008)

Figura 2: Veículos do sistema de BRT



Fonte: Volvo (2021)

O primeiro modelo de veículo é o padrão convencional, que possui ao menos duas portas e uma rampa para acessibilidade e pisos altos. O modelo padrão modificado moderniza a carroceria do padrão convencional para torná-lo mais atrativo. Os articulados convencionais têm maior capacidade para passageiros, os pisos são mais baixos e possuem de duas a três portas. Os

veículos articulados modificados oferecem mais conforto aos usuários com pisos baixos e três portas. Os veículos BRT especializados são os mais modernos existem hoje em dia. No geral possuem sistemas de transporte inteligentes e de navegação.

Tecnologias no interior do veículo também contribuem para adesão de novos passageiros ao sistema BRT. Boa iluminação, ar condicionado e materiais de qualidade dentro dos veículos aumentam o nível de satisfação dos usuários. Portas mais largas e posicionadas nos dois lados dos veículos auxiliam não só os passageiros a embarcar e desembarcar com mais facilidade como também flexibiliza a possibilidade de implementar estações no centro das rodovias.

#### 4. Tarifa:

Para diminuir o tempo de viagem dos veículos BRT e aumentar a confiabilidade deste modo de transporte, o ideal é que os passageiros paguem a tarifa fora dos veículos e esse sistema pode ser implementado de várias maneiras.

Uma opção é o pagamento nas estações com a instalação de catracas nas estações de ambientes fechados. Nesse modelo, há o controle na entrada da estação, ou, caso o pagamento seja por distância percorrida, o controle é feito tanto na entrada como na saída.

#### 5. Sistema de transporte inteligente:

Os sistemas de transporte inteligentes ajudam na segurança, eficiência e qualidade do serviço. Dar preferência para o veículo BRT diminui os atrasos, e, conseqüentemente, o tempo de viagem, gerando confiabilidade dos usuários. Outro uso do sistema inteligente é normalizar eventuais atrasos ocorridos durante a corrida. Outras tecnologias disponíveis são: automação e assistência ao motorista, prevenção de colisão, aviso de colisão, parada precisa e orientação de veículos. Cada uma dessas opções ajudam a regular o sistema BRT e auxilia no cumprimento do tempo de viagem previsto e até a diminuição dele. Para implementá-los é necessário um investimento relativamente alto, visto que nem todos são tecnologias difundidas.

As tecnologias também podem prover auxílio aos passageiros através de painéis nas estações ou aplicativos que fornecem informações sobre a localização dos veículos e atrasos no sistema e onde os usuários podem simular uma rota e descobrir a linha que devem utilizar.

Há ainda sistemas que otimizam futuras pesquisas de embarque e desembarque com tecnologia de contagem de passageiros que desembarcam do veículo BRT. Esses dados podem ser armazenados em um banco de dados para uso futuro.

#### 6. Planos de serviços e operações:

Este item é relacionado com a percepção do usuário acerca do sistema BRT. A operação do sistema deve ser frequente, direta, fácil de entender, confortável, confiável, eficiente e rápida.

Há cinco características dos serviços a serem observados.

- Comprimento da rota: determina até onde os usuários podem ir com o transporte público sem que necessite de integração com outra linha ou outro modo de transporte.



- Estrutura da rota: a estrutura das rotas podem ser diretas, que é uma boa opção para rotas de longas distâncias, *skip-stop*, em que as paradas ocorrem em apenas alguns pontos do trajeto e linhas troncais e alimentadoras combinadas, onde as troncais transitam pelas rodovias de principais com maior velocidade e as alimentadoras levam os passageiros até uma estação em que as linhas integram.
- Tempo de serviço: o tempo de serviço determina quanto tempo o serviço irá funcionar. Normalmente, serviços de transporte público operam durante o dia todo, com maior frequência nas horas de pico, mas pode acontecer de algumas linhas operarem apenas nas horas de pico, porém isso diminuiria a confiabilidade do sistema.
- Frequência do serviço: está relacionada ao tempo de espera para utilizar o serviço de BRT, devendo adaptar a frequência com a demanda da linha.
- Distância entre estações: essa distância interfere na velocidade de operação do BRT, e, conseqüentemente, no tempo de viagem do passageiro. Quanto mais distantes forem as estações uma das outras, maior é a velocidade que os veículos conseguem atingir.

Para Munoz e Paget-Seekins (2016), o BRT não será igual para todos os lugares, a estratégia certa de implementação dependerá do contexto urbano, do padrão de demanda, da largura da rua e do nível de mudança desejado. Nas diversas situações, diferentes aspectos do sistema BRT podem ser implementados, pois alguns componentes podem não ser apropriados ou viáveis.

O Manual de BRT, elaborado pelo Ministério das Cidades (2008), cria três categorias de implementação de um sistema BRT, sendo o "BRT-completo" o mais alto nível do sistema.

#### 1. BRT-leve:

- alguma forma de prioridade, mas não vias totalmente segregadas;
- melhores tempos de viagem;
- paradas de melhor qualidade;
- tecnologia veicular (de emissões) limpa;
- identidade de mercado.

#### 2. BRT:

- vias segregadas;
- tipicamente cobrança externa;
- estações de melhor qualidade;
- tecnologia veicular (de emissões) limpa;
- identidade de mercado.

#### 3. BRT-completo:

- vias segregadas ou faixas exclusivas na maioria da extensão do sistema troncal/corredores centrais da cidade;

- localização das vias de ônibus no canteiro central, em vez de no lado das calçadas;
- existência de uma rede integrada de linhas e corredores;
- estações modernas, com conveniências, conforto, seguras e abrigadas;
- serviço rápido e frequente;
- estações oferecem acesso em nível entre a plataforma e o veículo;
- cobrança e controle de tarifas antes do embarque;
- distinta identidade de mercado.

Quando comparamos o sistema BRT com outros transportes públicos, como o VLT (veículo leve sobre trilhos) e o metrô, seu custo de implementação é menor que os demais. A Figura 3 mostra a comparação da rede implementada dos transportes citados para um investimento de 1 bilhão de dólares. As informações da brochura do BRT da Volvo (2021) ainda indicam que, com esse investimento, é possível implementar 200 km de BRT em 2 anos. Para um sistema de 200 km de VLT necessitaria de 4 vezes mais investimento e 5 anos para implementação. Já o metrô custaria 20 vezes mais e levaria até 10 anos.

Figura 3: Comparação da implementação de três tipos de transportes urbanos



Fonte: Volvo (2021)

Conforme falado por Branco (2013), "o sistema BRT é capaz de conciliar o desempenho e qualidade dos sistemas ferroviários, com a flexibilidade e custos reduzidos dos sistemas rodoviários".

Segundo o Ministério das Cidades (2008), o sistema de BRT com maior capacidade de passageiros do mundo fica em Bogotá na Colômbia. Ele está em operação desde 2000 e transporta 42.000 passageiros por hora por sentido. Até 2006, o sistema BRT colombiano possuía 84 km de corredores troncais e 420 km de linhas alimentadoras, atendendo 1,2 milhões de viagens por dia. No Brasil, o sistema de BRT que se destaca é o da cidade de Curitiba no Paraná. O BRT está em operação na cidade desde 1974.

## 2.3 Planejamento de transportes

Segundo Hoel, Garber e Sadek (2011):

"O papel do processo de planejamento de transportes é prever a demanda de transporte e avaliar os sistemas, as tecnologias e os serviços alternativos. Cada modalidade de transporte tem características próprias e únicas a respeito de como esses componentes interagem e assim, o processo de planejamento refletirá a modalidade considerada e suas capacidades únicas para atender necessidades futuras."

Quando identificados os problemas de mobilidade existentes nas cidades, juntamente com os dados de infraestrutura, socioeconômicos e sociodemográficos, é possível pensar em planejamento dos transportes dentro do qual o sistema de transporte opera. O planejamento visa três principais pilares: desenvolvimento econômico, qualidade ambiental e qualidade de vida da população (MEYER, 2016). Ainda segundo o autor, é importante identificar as medidas de desempenho do sistema para monitorar se os congestionamentos, a média de velocidade, a confiabilidade do sistema e as opções de mobilidade mudaram com o tempo.

O planejamento de transportes visa traçar estratégias que adequem o sistema de transporte à necessidade da população avaliando cenários futuros. A solução encontrada para uma determinada área de estudo é única pois é influenciada pelas atividades desenvolvidas na região, e, por isso, é necessário a realização de um estudo detalhado da área a ser planejada.

Para Caleffi (2023), no Brasil, cidades menores, com cerca de 100 mil habitantes, já começam a enfrentar problemas de congestionamentos causados, muitas vezes, por falta de recursos destinados ao planejamento.

Campos (2013) diz que o processo de planejamento envolve etapas de definições dos objetivos, dos prazos, duração e dos recursos disponíveis levando em consideração não só a área de estudo como também sua relação com as áreas vizinhas.

Ainda segundo a autora, a demanda do transporte depende das características físicas e socioeconômicas do local e que qualquer modificação no uso do solo pode alterar a demanda. Além disso, o planejamento deve sempre acompanhar essas mudanças para não causar desequilíbrio entre oferta e demanda.

O uso do solo influencia diretamente o comprimento das viagens do transporte, haja vista que onde há pouca densidade residencial e uma concentração de postos de trabalho, há deslocamentos mais longos, enquanto que em áreas de uso misto do solo esses deslocamentos são menores. O contrário também é válido. Locais em que há fácil acesso ao transporte tendem a fomentar o crescimento de áreas tanto comerciais como residenciais.

Para Novaes (1986), citado por Toni (2002), o planejamento de transportes é baseado em modelos conceituais que podem ser: a) empíricos, b) comportamentais e c) atitudinais.

O modelo 4 etapas é um método de planejamento empírico que se baseia em quatro etapas: geração de viagens, distribuição, divisão modal e alocação da demanda. Silva (2010) e Campos (2013) definem cada etapa como mostrado a seguir.

1. Geração de viagens: mostra o número de viagens geradas (por produção ou atração) nas zonas de tráfego de acordo com as variáveis que possam justificar a viagem. Essas variáveis podem mudar de acordo com os dados disponíveis e a critério do responsável pelo projeto, mas podem incluir dados socioeconômicos e uso e ocupação do solo. Viagens produzidas são as que se originam em uma determinada zona de tráfego e viagens atraídas são as que possuem essa zona como destino.
2. Distribuição de viagens: distribui o volume de viagens entre as zonas de tráfego de origem e destino. O resultado desta etapa é a matriz origem-destino. O objetivo da distribuição de viagens é desenvolver um relação entre zonas de tráfegos.
3. Divisão modal: especifica a probabilidade de cada modo de transporte ser escolhido. A escolha modal pode ser influenciada por distância, custo e disponibilidade de transporte. Essa etapa é feita predominantemente por meio do modelo logit e os coeficientes obtidos por regressão linear.
4. Alocação de tráfego: aloca as demandas de viagens na rede viária do modelo por meio de caminhos mínimos considerando fluxo, capacidade da via, custo, velocidade, por exemplo. O objetivo é verificar o equilíbrio entre oferta e demanda no sistema. O tempo de análise mais comumente utilizado é para hora de pico, mas pode ser feita alocação diária.

### 2.3.1 Elaboração de modelos de simulação

Para melhor compreender a relação da demanda por transporte e a oferta disponível, é necessário representar a infraestrutura e a demanda existente a partir de algum modelo simples, mas detalhado.

Segundo Campos (2013), a área de estudo ao qual se dará o planejamento é delimitada por uma barreira imaginária denominada cordão externo (*cordon line*). Esse cordão é estabelecido em torno de uma área que englobe todos os movimentos importantes e as principais vias da região. Além disso, deve abranger áreas que serão desenvolvidas futuramente dentro do espaço temporal definido do projeto.

O zoneamento da região se refere a uma subdivisão da área de estudo e a divisão do zoneamento é chamada de zonas de tráfego. As zonas de tráfego devem conter características semelhantes e podem ou não seguir alguma divisão censitária ou administrativa já definida (CAMPOS, 2013). O tamanho das zonas é determinado pelo tamanho da área de levantamento, densidade populacional, itens de dados desejados e finalidade do estudo.

De acordo com Idaho (2003), citado por Campos (2013), as zonas de tráfego em áreas urbanas são menores do que as zonas de tráfego em área rural. O motivo se dá pela recomendação de que as viagens dentro de uma mesma zona não exceda 15% do total de viagens geradas pela mesma zona. Caso o percentual seja maior, é recomendado que se reduza o tamanho da zona de tráfego.

As zonas de tráfego possuem finalidade de estabelecer a quantidade de fluxo suas origens e destinos para avaliar o desenvolvimento econômico e de uso do solo. Para cada zona é atribuído um centróide que representa um ponto de grande concentração de atividades e viagens. Ele é considerado o ponto de partida e chegada das viagens geradas e atraída por sua zona de tráfego. Zonas de tráfego externas

são zonas fora da área de estudo para representar as origens e os destinos de viagens que não estão dentro do cordão externo.

Outra etapa da elaboração de um modelo, são as pesquisas de campo, que, normalmente, têm o objetivo de definir os padrões de viagens, o horário que eles ocorrem e caracterizar o sistema já existente. As pesquisas podem ser por meio de questionários e/ou formulários ou outro método que se julgar necessário.

Campos (2013) define que **padrões de viagens** engloba todos os movimentos, internos, externos e internos-externos na área de estudo e os horários em que estes acontecem e **padrão de uso e ocupação do solo** se refere a diversas atividades desenvolvidas, residencial, comercial, industrial, agricultura, lazer, etc. Ainda menciona que são três os tipos de dados típicos:

1. levantamentos das condições das vias e/ou dos sistemas de transportes;
2. pesquisas de fluxo de tráfego;
3. pesquisas de origem-destino.

De acordo com Bruton (1979), os objetivos desta fase inicial de planejamento são:

1. determinar onde começam e terminam as viagens;
2. determinar os fatores que influenciam a geração de viagens;
3. estabelecer os principais corredores de movimento.

De forma geral, Campos (2013) coloca que os métodos de coleta de dados variam em função do objetivo do plano, do horizonte de projeto e do tipo de região. Em algumas situações, é realizada apenas uma contagem do tráfego nos principais corredores de transporte, em outras é importante identificar as linhas de desejo da população e a movimentação no transporte de carga. Neste caso, torna-se necessário fazer uma pesquisa que identifique a origem e o destino das viagens realizadas.

Para levantamento dos dados de demanda, a autora sugere os seguintes tipos de levantamentos em áreas urbanas:

a) Entrevistas domiciliares

- A mais abrangente, pode identificar tanto as necessidades de deslocamento como o perfil socioeconômico da população.
- É indispensável em caso de planos de longo prazo.

b) Contagem de tráfego

- Realizada em locais críticos onde existe grande movimento de veículos, nos principais corredores de transporte.

c) Pesquisa no tráfego

- Permite identificar a origem e o destino da viagem a partir de uma entrevista com os motoristas.

d) Pesquisa de embarque e desembarque em ônibus

- Identifica as origens e os destinos dos usuários das linhas de ônibus em todo o seu percurso, verificando o ponto em que o usuário pega o ônibus e onde desce.

e) Pesquisa no cordão externo

- Realizada nos principais corredores que cortam estas linhas com o objetivo de checar os movimentos observados através da pesquisa domiciliar.

As pesquisas de origem-destino estudam a natureza das viagens realizadas pelos usuários, características sócio-econômicas da população, as características de produção e consumo e as características dos sistemas de transporte. A pesquisa é utilizada para fins de planejamento, particularmente na localização, projeto e programação de novas e melhores vias, transporte público e estacionamento. Os dados de uma matriz de origem-destino devem sempre necessariamente estarem definidos espacialmente e temporalmente, podendo ser em volumes médios diários ou volumes horários.

O tamanho da amostra das pesquisas devem seguir procedimentos estatísticos para que as informações coletadas sejam representativas da área de estudo. Após a realização da pesquisa, a amostra é expandida e gerada a matriz total de viagens.

Campos (2013) afirma que há dois métodos de aquisição de dados relacionados com a demanda: através de pesquisas de "preferência revelada" ou de "preferência declarada"

- a) **Preferência revelada:** dados obtidos a partir de situações reais ou observadas pelo indivíduo;
- b) **Preferência declarada:** informações sobre deslocamentos a partir de situações hipotéticas (o que os indivíduos escolheriam fazer em determinadas situações). Permite estabelecer curvas de demanda para sistemas ainda não implementados, ou avaliar a sensibilidade da população diante alguma estratégia hipotética.

Após definida a área de estudo e o zoneamento do projeto e coletado dados socioeconômicos, e de demanda, é possível começar a modelagem da infraestrutura. Segundo Caleffi (2023), a modelagem de redes de transporte mais difundida é a representação da infraestrutura por *links* e nós, que, em conjunto, formam um grafo.

No contexto da modelagem da rede de transporte, um nó pode simbolizar um cruzamento ou um centróide e os *links* normalmente simbolizam as vias. Cada nó ou *link* pode conter atributos vinculados a ele. Os nós normalmente têm informações sobre nome e localização, já os *links*, podem conter dados de número de faixas, velocidade máxima, capacidade, comprimento, origem, destino, direção.

O fluxo de um *link* é determinado pelo número médio de veículos que passam por ele em um determinado período de tempo (CALEFFI, 2023). Ainda segundo o autor, o tempo de viagem demonstra o tempo que leva para ir da origem ao destino de um *link*. Esse tempo pode depender da capacidade, do fluxo e velocidade do *link*.

Como consta em TRB (2010) a capacidade de uma rodovia é a máxima taxa horária de fluxo de tráfego que pode ser esperada em uma seção, por sentido ou nos dois sentidos para o caso de rodovias de sentidos opostos, durante um dado período de tempo, nas condições prevaletentes da via, do tráfego e ambientais. O tempo de análise é normalmente de uma hora.

### 2.3.2 Modelo logit

O modelo logit é utilizado na fase de divisão modal do modelo 4 etapas. De acordo com Ben-Akira e Lerman (1985), citado por Silva (2010), questões socioeconômicas e atratividade de cada alternativa de transporte são variáveis da função probabilidade de uma pessoa optar por determinado transporte e sua representação é através do conceito de utilidade.

A utilidade representa a percepção do usuário acerca dos benefícios quando utiliza um serviço e sua quantificação se dá por meio da função utilidade que demonstra as preferências dos usuários e mostra o nível de satisfação com cada modo de transporte. Seus valores facilitam a comparação dos benefícios de cada um e possibilita estimar o escolha modal de cada indivíduo.

Ainda segundo os autores, a função utilidade é descrita seguindo a Equação 1.

$$V_{ih} = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_{i1} + \beta_2 \cdot X_{i2} + \dots + \beta_k \cdot X_{ik} \quad (1)$$

onde:

$V_{ih}$  = utilidade da alternativa  $i$  para o usuário  $h$ ;

$\beta_0$  = constante do modelo;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  = parâmetros do modelo;

$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$  = valores dos atributos.

Conforme coloca Novaes (1986), a utilidade assume valores algébricos, podendo ser positiva, negativa ou nula. É sempre utilizado em termos relativos, interessando-nos a diferença de utilidade entre duas opções e não seus valores absolutos. Isso ocorre porque, sendo a utilidade uma grandeza subjetiva, não há como fixar seus valores sem associá-la a uma condição de referência.

Campos (2013) coloca que num modelo determinístico seria razoável dizer que a escolha do modo se faz sobre aquele que possui a maior utilidade. Porém um modelo probabilístico considera que a utilidade varia segundo as características e a percepção de cada grupo de indivíduos, atribuindo assim um fator de aleatoriedade ao valor da utilidade, que deu origem aos modelos logit.

Quando em posse dos valores das utilidades, é possível calcular a probabilidade de escolha de cada modo, utilizando a Equação 2 do modelo logit.

$$P_{h(i)} = \frac{e^{\beta V_{ih}}}{\sum_{j \in C_h} e^{\beta V_{jh}}} \quad (2)$$

onde:

$P_{h(i)}$  = probabilidade de escolha da alternativa  $i$  para o usuário  $h$ ;

$V_{ih}$  e  $V_{jh}$  = utilidades das alternativas  $i$  e  $j$  para o usuário  $h$ ;

$\beta$  = parâmetro;

$C_h$  = conjunto de alternativas para o usuário  $h$ .

Um caso especial do modelo logit é o modelo logit binomial. Neste modelo são avaliadas duas alternativas de transporte entre si. Conforme colocam Hutchinson (1974), Bruton (1979)<sup>2</sup>, Novaes (1986) e Campos (2013), o modelo tem a seguinte forma:

$$P_A = \frac{1}{1 + e^{U_B - U_A}} \quad (3)$$

onde:

$P_A$  = probabilidade de ser escolhido o modo de transporte  $A$ ;

$A$  e  $B$  = dois modos de transporte;

$U_A$  e  $U_B$  = utilidades dos modos de transporte  $A$  e  $B$ .

Segundo Novaes (1986), para a calibração do modelo logit binomial, ele deve ser linearizado de forma a ter seus coeficientes ajustados por meio de regressão múltipla. Fazendo  $\Delta U = U_B - U_A$ :

$$P_A = \frac{1}{1 + e^{\Delta U}} \quad (4)$$

$$\frac{1}{P_A} = 1 + e^{\Delta U} \quad (5)$$

$$\ln\left(\frac{1}{P_A} - 1\right) = \Delta U \quad (6)$$

$$\ln\left(\frac{1}{P_A} - 1\right) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot [x_{iB} - x_{iA}] \quad (7)$$

O coeficiente  $\alpha_0$  representa os fatores subjetivos não captados pelo modelo e, eventualmente, alguma variável de serviço não considerada na análise. Fazendo

<sup>2</sup>Este modelo é citado por Bruton (1979) com a designação "Análise discriminante".



$$\lambda_i = x_{B_i} - x_{A_i} \quad (8)$$

temos

$$y = \ln\left(\frac{1}{P_A} - 1\right) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \lambda_1 + \alpha_2 \cdot \lambda_2 + \dots + \alpha_n \cdot \lambda_n \quad (9)$$

Ao realizar a regressão linear múltipla da Equação 9, devemos prestar atenção nos valores de *p-values* resultantes para cada coeficiente, para determinar se cada variável pode ou não ser considerada explicativa para a divisão modal. Caso este valor retorne maior que 0,05, a variável não é representativa para o modelo elaborado. Outro resultado derivado da regressão é o valor de  $R^2$  que indica quanto a regressão realizada explica bem o modelo proposto.

### 2.3.3 Alocação incremental

Como coloca Campos (2013), a alocação de tráfego tem como objetivo distribuir o volume de viagens gerado na etapa de divisão modal nos sistemas de transporte disponíveis através da verificação de oferta e demanda.

O transporte privado, quando é alocado na rede, pode ser feito utilizando o método de alocação incremental. Para Ortúzar e Willumsen (2011), a alocação incremental é um modelo mais realista e consiste em dividir a matriz OD em outras matrizes aplicando fatores de proporcionalidade, normalmente de 10, 20, 30 e 40%. As matrizes são então preenchidas de forma incremental utilizando os valores do último valor acumulado.

Campos (2013) define cinco fases para o método que são repetidas até que todo o fluxo seja alocado na rede:

1. seleção aleatória de um par de zonas de tráfego;
2. determinação de um caminho mínimo entre o par de zonas;
3. utilização de uma taxa específica  $P_n$  para determinar o percentual do volume potencial a ser alocado entre o par de zonas;
4. alocação do volume no caminho mínimo;
5. uso de uma função de desempenho de cada ligação no caminho para atualizar os tempos destes, dado o aumento de fluxo.

Conforme apontado por Ortúzar e Willumsen (2011), o método possui a limitação de que uma vez que o tráfego é alocado em um *link* ele não pode ser movido para outro, portanto é possível que seja atribuída muitas viagens para um mesmo *link*. Por outro lado, o método apresenta vantagens. Ele é de fácil programação e seus resultados podem ser interpretados como congestionamento na hora de pico.

### 2.3.4 Alocação tudo ou nada

A alocação do transporte público na rede viária segue o método de alocação tudo ou nada. A alocação tudo ou nada aloca o fluxo de veículo nas vias em fluxo livre, ou seja, sem congestionamento (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Este método, considera que os usuários do transporte atribuem pesos iguais para os parâmetros de escolha de rota. É recomendado que este método seja usado como representação do que os usuários gostariam de fazer caso não houvesse congestionamentos.

Campos (2013) ainda coloca que o método tudo ou nada é a definição do caminho de menor custo entre a origem e o destino e as viagens são atribuídas a esses caminhos. Ainda, o método sugere que motoristas com mesma origem e mesmo destino escolhem as mesmas rotas.

Ainda segundo a autora, a técnica de alocação tudo ou nada possibilita obter uma visão macro da distribuição do tráfego, principalmente quando se avalia a distribuição incluindo várias ODs numa mesma região. Não é, no entanto, eficiente para uma análise econômica e operacional de alternativas viáveis de transporte.

### 3 Área de estudo

A área de estudo do presente trabalho é a Região Metropolitana de Florianópolis (RMF), instituída pela Lei Complementar nº 636, de 9 de setembro de 2014, com o objetivo de integrar o planejamento regional voltado para o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida da população destas cidades.

Segundo a lei supracitada, a RMF é composta por 9 municípios, além de mais 13 outros pertencentes à sua área de expansão. A lei também institui a Superintendência de Desenvolvimento da Região Metropolitana da Grande Florianópolis (Suderf) que tem a função de elaborar, fazer cumprir e controlar esse planejamento.

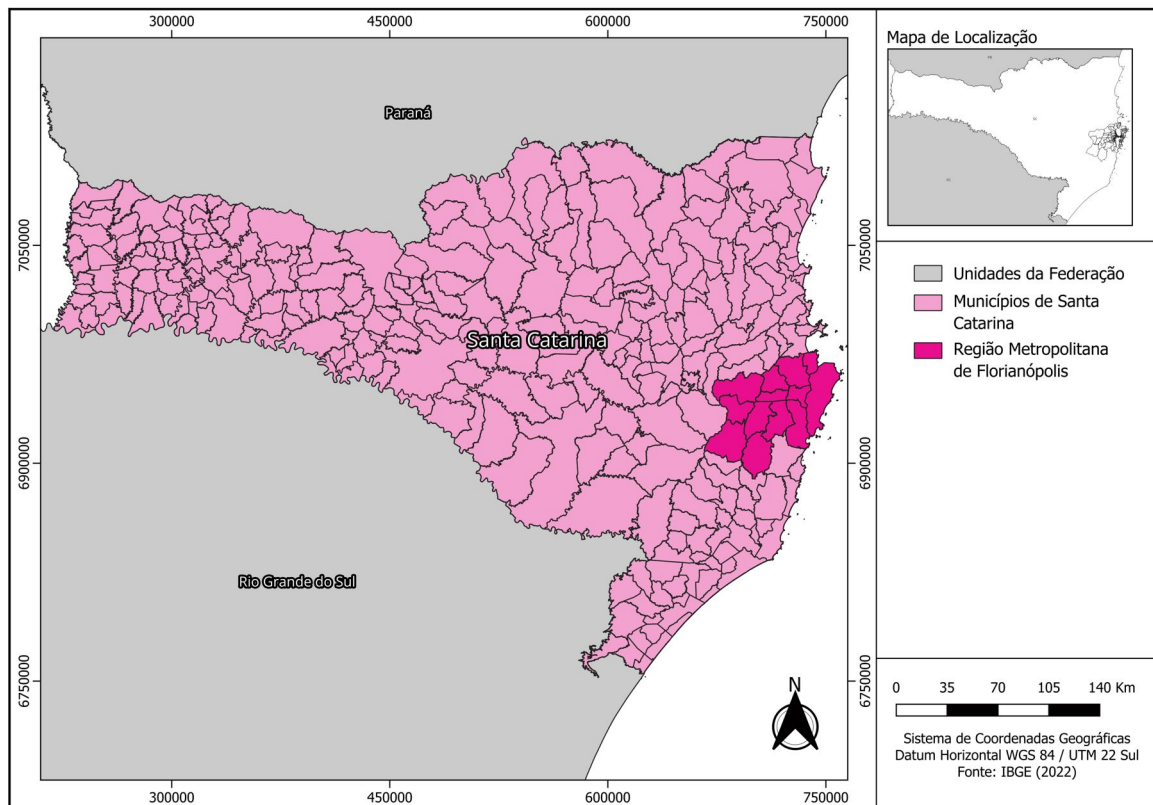
Em 2014, o Governo de Santa Catarina, com o apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), desenvolveu um Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis (PLAMUS), com publicação de 38 relatórios<sup>3</sup>, que foram utilizados como referência para este trabalho. O objetivo do Plamus é identificar as fragilidades, planejar a malha viária da RMF e propor soluções eficientes visando a integração entre os municípios abrangidos.

O PLAMUS compreende os 9 municípios oficiais da RMF e 4 dos 13 da área de expansão, a saber: Águas Mornas, Angelina, Anitápolis, Antônio Carlos, Biguaçu, Florianópolis, Governador Celso Ramos, Palhoça, Rancho Queimado, Santo Amaro da Imperatriz, São Bonifácio, São José e São Pedro de Alcântara, conforme mostra a Figura 4. Apesar disso, o PLAMUS aponta que há concentração de população nas cidades de Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu.

---

<sup>3</sup>Disponíveis em: <<https://observatoriodamobilidadeurbana.ufsc.br/publicacao/projetos-de-pesquisa/>>

Figura 4: Área de estudo



### 3.1 Perfil socioeconômico

Segundo o censo do IBGE (2022), a RMF possui 4.546,55 km<sup>2</sup> e 1.189.987 habitantes. Da quantidade de habitantes, 93% deles residem nos 4 municípios destacados anteriormente, ressaltando a capital catarinense que concentra 45% da população da RM.

A densidade populacional também ilustra uma concentração de habitantes nos municípios mais próximos da capital, com destaque para cidade de São José, que apresenta a maior densidade de habitantes por quilômetro quadrado da área de estudo. A média do índice de desenvolvimento humano municipal da região é 0,749, sendo o maior índice o de Florianópolis (0,847) e o menor o de Anitápolis (0,674). Os dados são ilustrados nas Figuras 5 e 6 respectivamente.

Figura 5: Densidade demográfica por município

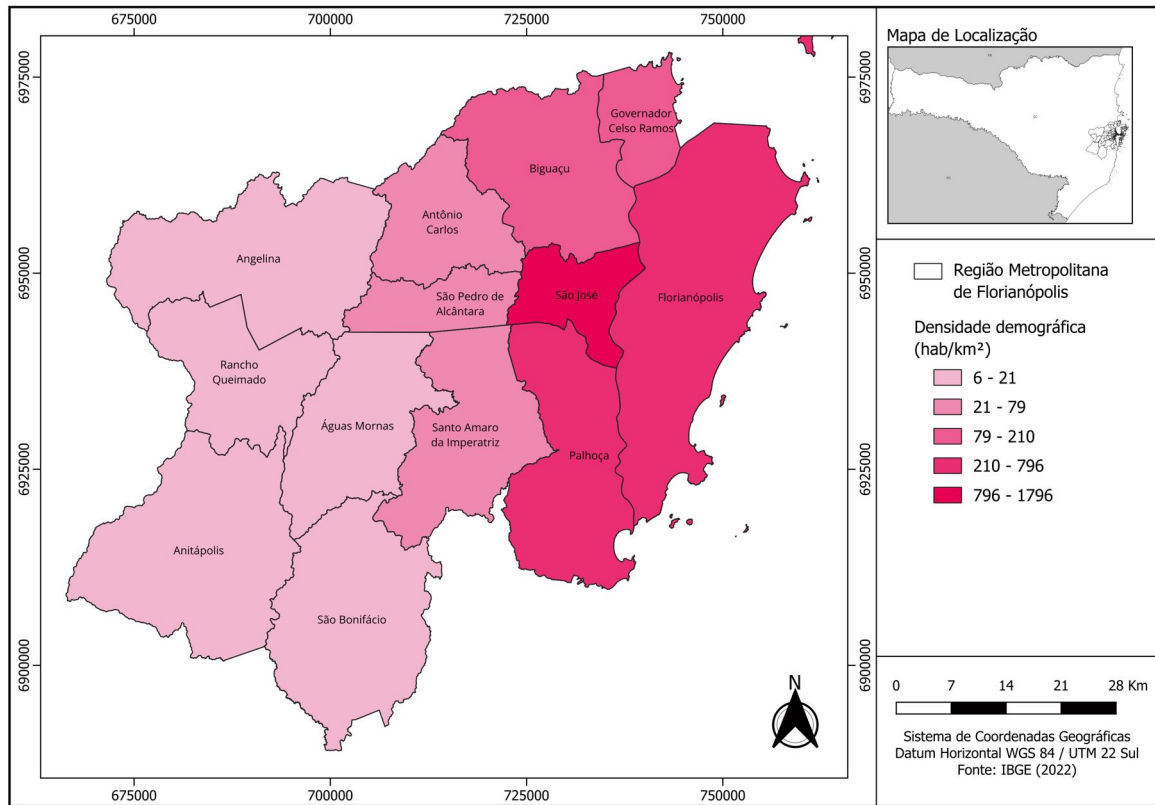
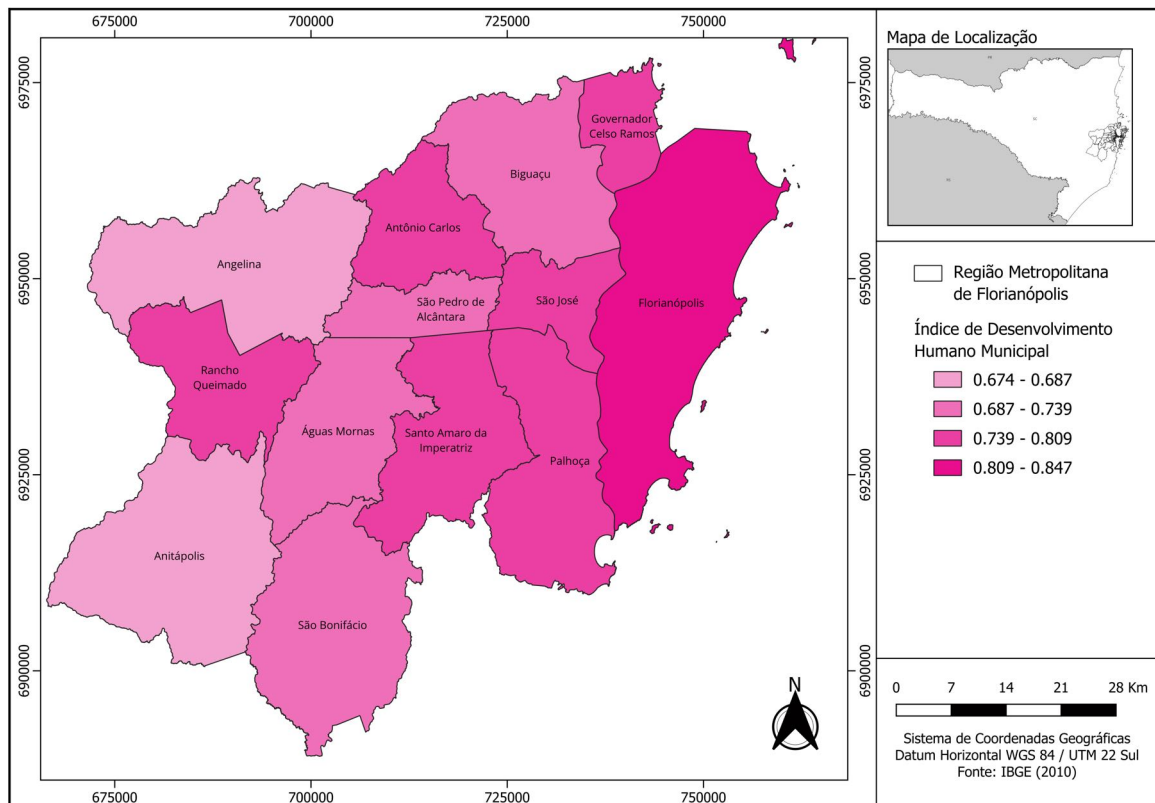
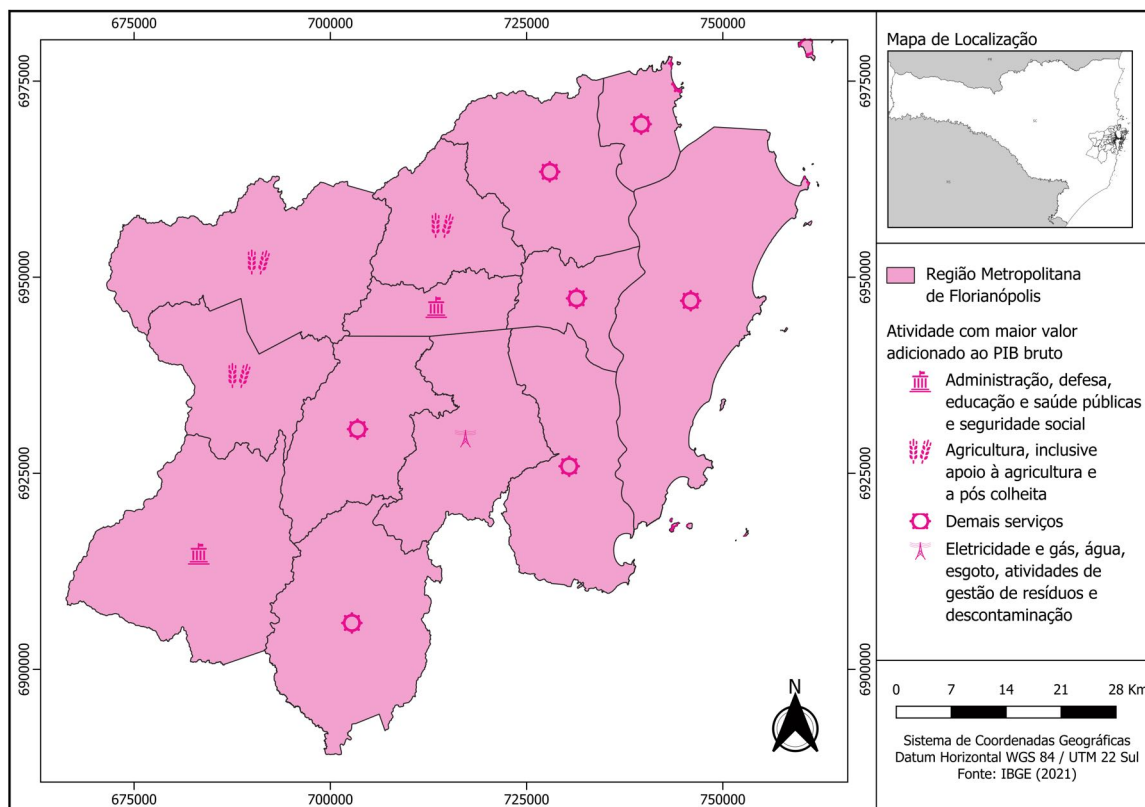


Figura 6: Índice de desenvolvimento humano municipal por município



Em relação à economia, a Figura 7 mostra a atividade que mais adiciona valor ao PIB municipal de cada cidade integrante da RMF. Pode ser observado que a região se destaca no setor de serviço, sendo a atividade principal de 7 dos 13 municípios analisados.

Figura 7: Atividade com maior valor adicionado ao PIB bruto



Em setembro de 2024, o Ministério dos Transportes divulgou o relatório mensal<sup>4</sup> com a estimativa da frota brasileira. Ao analisar a RMF podemos observar que a região concentra 14,77% dos automóveis registrados em Santa Catarina, e 13,80% da frota catarinense pertence aos municípios de Florianópolis, Palhoça, São José e Biguaçu. A Tabela 4 mostra a frota em quantidade de veículo dos municípios abrangidos pelo PLAMUS.

<sup>4</sup>Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024>>

Tabela 4: Frota registrada nos municípios da RMF

<b>Município</b>	<b>Frota total</b>	<b>Automóveis</b>
Águas Mornas	6.172	3.028
Angelina	4.829	1.996
Anitápolis	3.143	1.373
Antônio Carlos	9.872	4.333
Biguaçu	59.152	32.018
Florianópolis	409.895	240.285
Governador Celso Ramos	11.349	5.779
Palhoça	157.685	86.114
Rancho Queimado	3.183	1.424
Santo Amaro da Imperatriz	23.957	12.055
São Bonifácio	2.961	1.336
São José	203.642	115.741
São Pedro de Alcântara	3.622	1.730

Fonte: (Ministério dos Transportes, 2024)

### 3.2 Mobilidade urbana na Grande Florianópolis

Segundo GOV-SC (2014), o desenvolvimento da ocupação urbana na região que hoje é a RMF teve início na segunda metade do século XVIII com o aumento da população da capital Florianópolis (na época Desterro), que impulsionou a economia das cidades ao redor e o crescimento dos municípios de São José, Palhoça e Biguaçu.

Conforme sugere Campos (2009), em 1926, com a inauguração da ponte Hercílio Luz (primeira ligação entre a ilha e o continente), houve um aumento populacional dos bairros próximos a ela, mas foi só na década de 1960, com a construção da BR-101, que, lentamente, o sistema viário começou a se desenvolver. Foi nesse período que ocorreu a construção das pontes Colombo Machado Sales e Pedro Ivo Campos, além dos aterros das baías Norte e Sul.

Após a estruturação dos municípios constituintes da RMF, de acordo com Meyer e Günther (2019), um dos desafios acerca da mobilidade urbana é a falta de contratos de concessão vigente para a operação do transporte público coletivo (com excessão da cidade de Florianópolis). Além disso, a ineficiência do sistema também ocorre devido à sobreposição e má distribuição das linhas operantes.

Schreiner et al. (2019) dizem que esses problemas resultam em deslocamentos municipais feitos com linhas intermunicipais, gerando gastos adicionais aos usuários do transporte. Além disso, ainda segundo os autores, os problemas podem gerar: a) perdas de tempo em congestionamentos, reduzindo a qualidade de vida e trazendo prejuízos econômicos devido à altos índices de acidentes e b) alto custo de deslocamento entre os municípios da RMF, limitando que pessoas baixa renda tenham acesso aos serviços oferecidos.

Foi por causa desses problemas que o Plamus foi elaborado. De acordo com o PLAMUS (2014f), a Região Metropolitana de Florianópolis, no ano do estudo, era atendida por nove empresas de ônibus e a maioria das linhas convergiam para o Terminal de Integração do Centro (TICEN) em Florianópolis, evidenciando a falta de um planejamento integrado e racional do transporte público. Em fevereiro de 2014, houve uma licitação do transporte público de Florianópolis que teve o consórcio Fênix como vencedor, formado pelas empresas que já atuavam na cidade e, por isso, não apresentou substancial mudança nos itinerários.

### 3.3 Descrição dos dados disponíveis

Inicialmente, deve-se observar se os dados encontrados suprem a necessidade dos objetivos deste trabalho, que neste caso, refere-se a existência de camadas de dados geográficos do sistema viário, de transporte e pesquisas de demanda nas horas de pico.

Os centróides utilizados provêm da camada *shapefile* das zonas de tráfego estabelecidas pelo PLAMUS. São ao todo 325 zonas de tráfego distribuídas em 13 cidades da Grande Florianópolis.

Oriundas do PLAMUS, estão disponíveis pesquisas de origem-destino, contagem volumétrica e classificatória (CVC), frequência e ocupação visual dos veículos (FOV) e pesquisa sobe e desce.

Para o PLAMUS (2014a), a CVC é de extrema importância para projetos que envolvam o tráfego de veículos uma vez que ela determina a quantidade e a composição do tráfego das rodovias. A pesquisa de contagem classificatória e volumétrica do PLAMUS foi feita em duas fases: a de veraneio e a normal. A fase de veraneio teve o objetivo de estudar a mobilidade da Grande Florianópolis durante as férias de verão compreendidas de dezembro a fevereiro e a fase normal levantou os problemas de mobilidade no resto do ano.

Os dados de FOV do PLAMUS foram determinados pela realização de pesquisa em mais de 300 km da rede viária (PLAMUS, 2014a). Para esta pesquisa, foi utilizado um GPS para medição de velocidade e retardamento da rede. Nos ônibus, essa medição foi realizada juntamente com a pesquisa sobe e desce que determina a demanda dos pontos de ônibus pela origem e destino das viagens dos passageiros.

Apesar de não utilizadas diretamente neste trabalho, as pesquisas CVC e FOV foram utilizadas pelo PLAMUS, conforme consta em PLAMUS (2014e), para confrontar os dados coletados das pesquisas de origem e destino, que foi amplamente utilizada para o modelo de simulação.



Ainda de acordo com PLAMUS (2014e), as pesquisas CVC e FOV foram realizadas utilizando 41 e 40 postos de contagem respectivamente. Desses postos, alguns foram escolhidos para serem pontos mestres (6 para CVC e 5 para FOV), como mostrado na Tabela 5. As contagens nos pontos mestre indicaram o período do pico da manhã e da tarde. O horário de realização das pesquisas foram o período do pico da manhã (das 6h30 às 10h) e o período do pico da tarde (das 16h às 19h30). Os pontos mestre foram avaliados das 6h às 22h.

Tabela 5: Localização dos pontos mestre das pesquisas de CVC e FOV

<b>Ponto Mestre</b>	<b>Município</b>	<b>Pesquisa</b>
Rod. Gov. Gustavo Richard	Florianópolis	CVC e FOV
Ponte Gov. Pedro Ivo Campos e Gov. Colombo Machado Salles	Florianópolis	CVC e FOV
BR-101 saída 210 (Rua Pedra Cota de Castro)	São José	CVC
BR-282 (Shopping Itaguaçu)	São José	CVC e FOV
BR-101 saída 207 (Shopping MundoCar)	São José	CVC e FOV
Avenida Beira Mar Norte	Florianópolis	CVC e FOV

Fonte: (PLAMUS, 2014e)

Nas pesquisas de origem e destino são levantados dados de população, número de domicílios, empregos, matrículas escolares, valor de produção e atração de viagens do transporte, além da quantidade de veículos do transporte privado e a quantidade de viagens do transporte público.

A pesquisa sobe e desce define a quantidade de passageiros embarcados, a seção crítica de cada linha, o IR e o IPK. O IR se refere ao índice de renovação e é calculado pela extensão da seção crítica dividido pelo número de passageiros embarcados. O IPK é o índice de passageiros por quilômetro, calculado dividindo a quantidade de passageiros embarcados pela extensão da linha.

Os dados socioeconômicos são importantes para explicar o comportamento da demanda por transportes e entender as necessidades de mobilidade da região. Além disso, a densidade populacional auxilia na determinação de onde há maior solicitação de transporte. Eles provêm dos censos demográficos feitos pelo IBGE.

Com as pesquisas feitas e expandidos os dados, a equipe técnica responsável pelo PLAMUS elaborou uma matriz origem destino para o cenário atual (2014) e para cenários futuros (2020, 2030 e 2040). São dois os tipos de cenários futuros: o tendencial e o orientado.

O **cenário tendencial** estudou cenários futuros simulando melhorias no sistema viário, mas sem alteração do sistema de transporte coletivo e ainda considerando que as propostas contidas nos planos diretores dos municípios da região seriam implementadas. A expansão urbana, neste caso, cresceu com taxas atuais, seguindo um padrão já conhecido.

Já o **cenário orientado**, foi estudado um sistema de mobilidade urbana sustentável orientado pelo transporte público coletivo, analisando a implementação de faixa exclusiva para ônibus e o desenvolvimento da parte continental de Florianópolis.

Para cada cenário, foi proposta uma rede de BRT (*Bus Rapid Transit*). No tendencial, rede BRT abrange, na parte continental, a BR-101, BR-282 e a Avenida das Torres, no município de São José. Na ilha de Florianópolis, a rede BRT contorna o Morro da cruz, e se estende para a SC-401 norte e a SC-405 sul chegando ao aeroporto.

Em relação aos pontos de ônibus existentes na área de estudo, os dados, assim como a camada de rede viária, advém do *OpenStreetMap* (2024). Conforme é relatado em PLAMUS (2014d), a camada de pontos de ônibus utilizada na realização do PLAMUS advém da mesma fonte. Esses pontos de ônibus integram um sistema de ônibus com 454 linhas de ônibus operantes.

A rede viária da área de estudo é do *OpenStreetMap*, de 2024. Os tipos de rodovias que contêm "*\_link*" no final do nome se referem a *links* que dão acesso às rodovias principais.

De 2014, ano da publicação do PLAMUS, para 2024, ano dos dados oriundos do *OpenStreetMap*, a malha viária da área de estudo mudou consideravelmente em termos de infraestrutura e transporte público, com destaque para as seguintes alterações:

1. em Florianópolis, em 2014, após a publicação do PLAMUS, houve uma integração entre as empresas gestoras do transporte que tornaram-se o Sistema Integrado de Mobilidade (SIM);
2. o aeroporto de Florianópolis, em 2019, mudou de endereço e, conseqüentemente, alterou rotas do transporte público e do transporte privado, além de mudar a própria malha viária, com a construção de seu novo acesso;
3. a Ponte Hercílio Luz, que conecta a parte insular de Florianópolis com a continental, foi reaberta para tráfego em 2019;
4. em 2020, a Estação Palhoça foi fechada e não foi mais reaberta. As linhas com origem na Estação passaram a iniciar as viagens nos bairros e a quantidade de linhas com partidas do Terminal de Integração do Centro (TICEN) aumentaram;
5. o trecho da BR-282, conhecido como Via Expressa, que liga São José a Florianópolis, inaugurou uma terceira faixa para tráfego em 2020;

6. também houve mudanças após a inauguração da Avenida das Torres, em 2021, na cidade de Palhoça, alterando tanto as rotas do transporte público como a rota dos motoristas do transporte privado;
7. nos bairros Pantanal e Carvoeira, em Florianópolis, foi inaugurado, em 2023, o binário, com impacto significativo no tráfego da região e uma mudança nas rotas e linhas do transporte público do município;
8. foi inaugurado, em 2024, o Contorno Viário, que promete reduzir o tempo de viagem no trecho da BR-101 entre os municípios de Palhoça e Biguaçu.

As mudanças de infraestrutura e oferta do transporte público listadas podem gerar demandas desviadas, geradas e induzidas. A quantificação dessas demandas exige a realização de uma nova pesquisa OD e novo levantamento socioeconômico.

Os dados de origem e destino utilizados são para o horário do pico da manhã. A matriz de transporte público está em quantidade de viagens e a matriz de transporte privado possui taxa de ocupação de 1,238200924 pessoas/veículo.

### 3.4 Trabalhos semelhantes

Nesta seção são apresentados trabalhos semelhantes ao que está sendo desenvolvido. Para isso, são adotados dois critérios, a saber:

1. a área de estudo deve ser a mesma;
2. a finalidade deve ser a elaboração de modelos de simulação de transporte urbano.

A análise desses trabalhos permite a identificação de abordagens metodológicas e resultados obtidos.

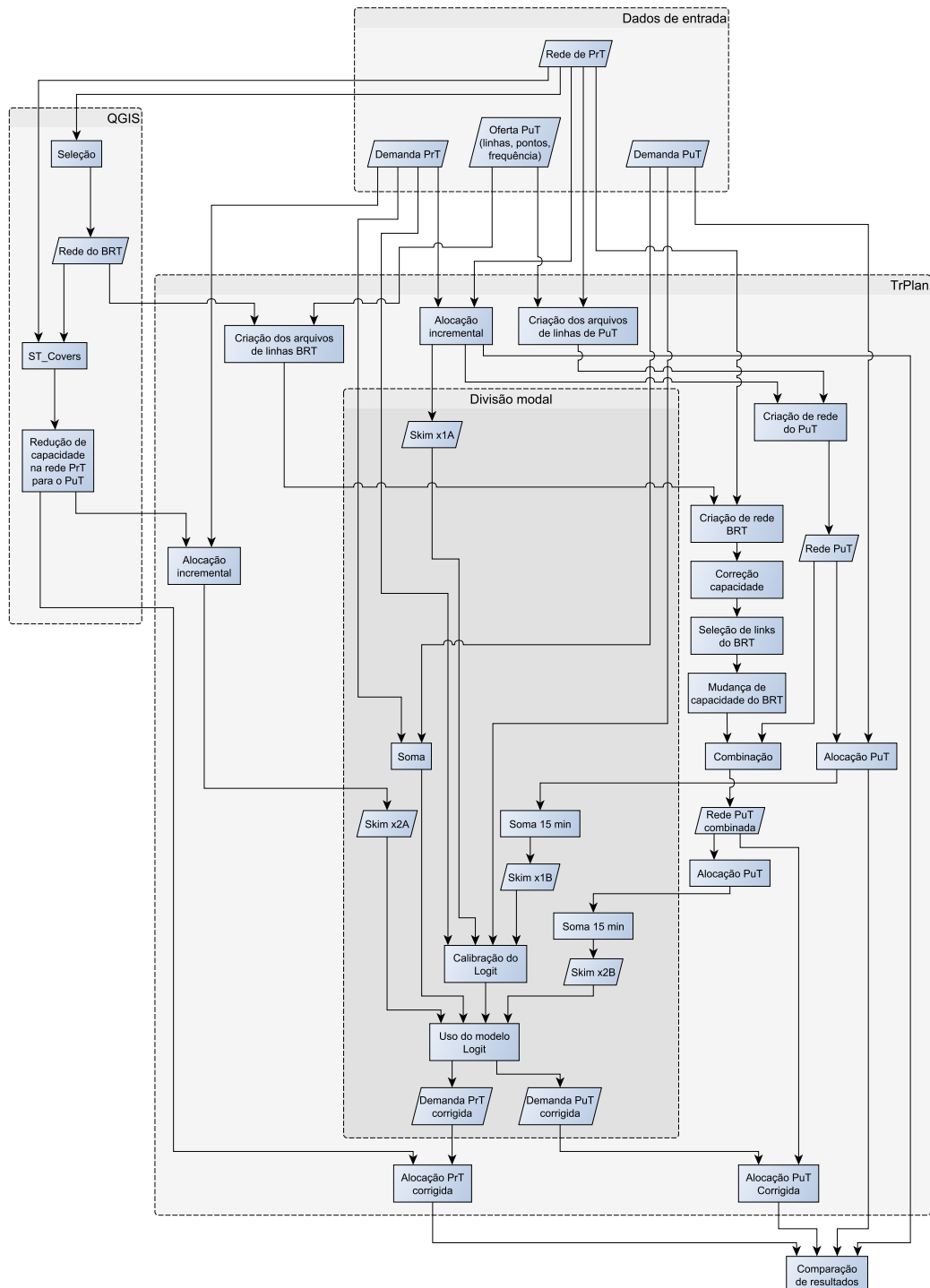
- a) "Elaboração de um Modelo Multimodal por meio de Simulação de Tráfego Baseada em Agentes: Estudo de Caso na Grande Florianópolis/SC"  
Mallon (2024) elaborou um modelo baseado em agentes utilizando o software MATSim. Sua modelagem inclui a etapa de levantamento de dados, de modelagem da oferta e demanda dos modos individuais motorizados e do transporte coletivo, e a calibração e validação do modelo.
- b) "Experimentação com simulação de tráfego mesoscópica utilizando o *software* SUMO aplicada à Região Metropolitana da Grande Florianópolis"  
Araujo (2022) desenvolveu e avaliou modelos de simulação de tráfego em nível mesoscópico para a RMF, utilizando o *software* SUMO e dados abertos do PLAMUS e OpenStreetMap (OSM). A autora realizou a calibração de diferentes métodos de alocação do transporte privado como a alocação incremental e a alocação tudo ou nada.

Embora os resultados e objetivos dos trabalhos sejam diferentes, os dois citados e este presente trabalho se assimilam na utilização de diferentes *softwares* abertos para modelar a mesma área de estudo.

## 4 Método

A Figura 8 representa o fluxograma geral do método empregado neste trabalho. O *software* utilizado para processamento dos dados é o TrPlan, desenvolvido pelo professor Alexandre Coelho, e o *software* para visualização dos dados espaciais necessários ao longo da realização do trabalho e a criação de figuras é o QGIS. As etapas do processo são detalhadas no decorrer do texto.

Figura 8: Fluxograma do método



## 4.1 Modelagem da rede viária

A Tabela 6 exibe os dados de entrada utilizados para a realização da modelagem proposta e a origem de cada um deles.

Tabela 6: Dados de demanda e infraestrutura utilizados para a modelagem

Dados de entrada	Origem	Tipo
Rede viária	OpenStreetMap	<i>Shapefile</i>
Rede de ônibus	PLAMUS	<i>Shapefile</i>
Centróides	PLAMUS	<i>Shapefile</i>
Pontos de ônibus	OpenStreetMap	<i>Shapefile</i>
Matriz OD - transporte privado	PLAMUS	Planilha
Matriz OD - transporte público	PLAMUS	Planilha

As camadas *shapefile* utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, provenientes do PLAMUS (2014) e do *OpenStreetMap* (2024), utilizam o sistema de referência EPSG: 4326 - WGS 84 e devem ser convertidas para UTM pois o *software* TrPlan utiliza metros como unidade de medida. O sistema escolhido é o EPSG: 32722 - WGS 84 / UTM zone 22S.

Os dados de demanda do transporte privado e transporte público, levantados por meio de pesquisas OD pelo PLAMUS em 2014 e projetados para 2040 devem ser transformados de colunas para matrizes.

A rede viária da área de estudo é retirada do *OpenStreetMap*. A escolha por esta camada de dados ao invés de a fornecida pelo PLAMUS se deu por esta última não prover dados alfanuméricos de direção de cada rodovia da rede. Esta informação foi perdida quando a camada foi exportada do TransCAD<sup>5</sup>, não contribuindo para o contexto deste modelo.

Da camada da rede viária da área de estudo, são eliminados os parâmetros não relevantes para o modelo a fim de conter apenas as informações de nome, categoria, classificação, direção e número de faixas das rodovias.

A partir dos códigos SQL, contidos nos *Scripts* A e B, a velocidade e a capacidade são adicionadas a camada. A primeira relacionando classificação da rodovia com a velocidade máxima permitida, em km/h. A segunda, além da classificação, leva em consideração o número de faixas e resulta em uma capacidade em veículo/hora para o horário de pico.

<sup>5</sup>*Software* utilizado pelo PLAMUS para processamento e visualização de dados

A velocidade e capacidade das rodovias foram definidas baseadas nos parâmetros adotados pelo *software Visum*<sup>6</sup>. A Tabela 7 mostra as classificações OSM e os parâmetros de velocidade e capacidade atribuído para cada uma delas.

Tabela 7: Velocidade e capacidade das rodovias

Classificação no OSM	Velocidade máxima (km/h)	Capacidade (veic/h/ln)
<i>living street</i>	30	200
<i>motorway</i>	100	1.500
<i>primary</i>	80	1.300
<i>residential</i>	40	400
<i>secondary</i>	60	1.000
<i>tertiary</i>	50	800
<i>trunk</i>	80	1.500
<i>unclassified</i>	50	800

Outro procedimento adotado para a camada da rede viária é a quebra dos nós, utilizando a função *break* da ferramenta *v.clean* no *software* QGIS. Essa função separa os *links* em todas as interseções da malha. Por isso, quando há passagens em desnível é necessário reunir novamente de forma manual para que a rede do modelo de assemelhe o máximo possível com a malha viária real da área de estudo. Nesta camada também é retirada a conexão entre os links que compõem a ponte Hercílio Luz em Florianópolis pois quando foi feita a pesquisa OD do PLAMUS, ela não era aberta ao tráfego.

A camada de pontos de centróides, utilizada durante todo o desenvolvimento do trabalho, é extraída da camada de zonas de tráfego (ZT) com a ferramenta geométrica de centróides do QGIS.

O cenário atual do modelo é referente a estrutura de transporte já existente, com o ônibus como transporte público. O cenário futuro consiste na simulação da implementação de um sistema BRT coexistindo com o sistema de ônibus na área de estudo. Ambos cenários são modelados com dados levantados em 2014 e projetados para 2040.

O arquivo *shapefile* da rede viária do transporte público coletivo é obtido em duas partes por processamento no TrPlan. A primeira está relacionada com a criação das linhas e a segunda com a rede, conforme mostra o Script C.

<sup>6</sup>Visum é um software de simulações e modelagem macroscópicas de redes e demanda de transporte e planejamento de transporte público.

Apesar do procedimento levar em consideração os links onde efetivamente há oferta de transporte público, já que a camada das rotas de ônibus do PLAMUS é um dos dados de entrada no TrPlan, no modelo, as linhas e rotas são geradas por caminhos mínimos, de forma automatizada.

Para a criação das linhas, é usado um *buffer* de 15 metros pelo lado direito para correção da localização dos pontos de ônibus, uma vez que o programa exige que os pontos estejam alocados nos nós da malha viária. Certamente, este procedimento não é 100% eficaz para todas as situações existentes na camada e algum ponto relevante ao trabalho pode não ter sido considerado, enquanto algum outro pode ter sido considerado erroneamente. A rede do ônibus é criada utilizando a malha viária já com a demanda do transporte privado alocada nos *links* para que leve em consideração o tempo de congestionamento.

A criação da rede do transporte público é feita aumentando a capacidade dos *links* à medida que o TrPlan encontra caminhos entre pontos de ônibus nas linhas geradas na etapa anterior. Cada vez que o *software* encontra um *link*, é adicionado nele informações de frequência e capacidade do veículo, também da tabela resultante da etapa de linhas do transporte público. Os valores dessas variáveis são somadas para cada linha que passa pelo *link*. Para *links* da rede viária original que não recebeu nenhuma linha do transporte público, é atribuída uma capacidade de 999999, transformando-a em rede pedonal.

A rota do Sistema de BRT proposto pelo PLAMUS é selecionada da camada *shapfile* da rede viária do transporte público através de análise visual da figura encontrada nas publicações e comparação com a camada de rede no *software* QGIS.

A inserção do sistema BRT na rede viária do transporte público, simula uma área de estudo com os dois sistemas de transporte público coletivo disponíveis para a população. Para isso, fez-se a combinação dos arquivos *shapfile* da rede de ônibus com a rede gerada do BRT para criar a rede viária do sistema de transporte público coletivo.

Semelhante ao procedimento de criação da rede do transporte público do modelo proposto, é feita a criação das linhas e da rede do BRT, novamente pelo TrPlan, mas utilizando um *buffer* de 50 metros para a geração das linhas de BRT.

Do arquivo *shapfile* resultante da criação da rede de BRT, é extraído apenas os *links* de BRT e descartados os *links* de caminhadas. Aqui há uma mudança na capacidade da rede para 400 passageiros por hora quando a via for sentido único e 800 para quando for mão dupla.

Quando a capacidade dos *links* de BRT estiver ajustada, pode-se então unir os dois sistemas de transporte público para criar a rede onde as linhas de BRT e de ônibus tradicional coexistam na área de estudo. Esse procedimento é feito copiando as feições de um arquivo no outro, assim, a rede do transporte público futura contará com *links* de BRT, de ônibus e *links* pedonais.

Para a inserção do BRT na malha viária, é feita uma redução de capacidade da rede do transporte privado através de um código *python* contido no *Script* D, seguindo a lógica:

1. Para *oneway* = *yes*



- a) 1 faixa = mantém, criando uma faixa de uso exclusivo para BRT
- b)  $\geq 2$  faixas = diminui 1 faixa e reduz a capacidade em  $\frac{capacidade \cdot (n-1)}{n}$ , onde n = número de faixas

2. Para *oneway = no*

- a) 2 faixas = mantém
- b)  $\geq 3$  faixas = diminui 1 faixa e reduz a capacidade em  $\frac{capacidade \cdot (n-1)}{n}$ , onde n = número de faixas

A Tabela 8 traz um resumo dos dados de origem utilizados em cada processamento de dados do método deste trabalho.

Tabela 8: Dados de entrada utilizados para criação de linhas e redes do transporte público

Processo	Dados de entrada	Origem	Tipo
Linhas - transporte público	Pontos de ônibus	OpenStreetMap	<i>Shapefile</i>
	Rotas de ônibus	PLAMUS	<i>Shapefile</i>
	Rede viária	OpenStreetMap	<i>Shapefile</i>
Rede - transporte público	Linhas	TrPlan	Planilha
	Centróides	PLAMUS	<i>Shapefile</i>
	Pontos de ônibus	OpenStreetMap	<i>Shapefile</i>

## 4.2 Alocação do transporte

A alocação do transporte privado do cenário atual realizada para o modelo deste trabalho é a incremental com incrementos de 10, 20, 30 e 40% utilizando o *software* TrPlan.

Em posse das camadas *shapefile* de centróides e rede viária, e da matriz OD do transporte privado, é executada a alocação incremental e, resultante deste procedimento, se obtém a matriz *skim* de tempo do cenário temporal atual e informações de performance dos links.

Para o cenário temporal futuro, em que será implementado o sistema de BRT, a alocação feita para o transporte privado também é a incremental com os mesmos incrementos do cenário atual, porém, com a capacidade da via diminuída para que seja implementado o BRT com via exclusiva, resultando na matriz *skim* de tempo do cenário futuro.

A alocação do transporte público é feita usando o método tudo ou nada, que considera as vias com fluxo livre. Para contornar essa situação e se aproximar da realidade, o transporte público é alocado na rede com os volumes do transporte privado já alocados para que a alocação do ônibus convencional

leve em consideração tempo de congestionamento. Este processo tem como resultado a matriz *skim* de tempo do transporte público. A alocação do transporte público do cenário futuro (com ônibus e BRT) é feita também pelo método de alocação tudo ou nada.

A Tabela 9 exibe os dados de entrada e a origem de cada um deles para cada tipo de alocação realizada.

Tabela 9: Dados de entrada utilizados para as alocações do transporte

Processo	Dados de entrada	Origem	Tipo
Alocação - incremental	Matriz OD transporte privado	PLAMUS	Planilha
	Centróides	PLAMUS	<i>Shapefile</i>
	Rede viária	OpenStreetMap	<i>Shapefile</i>
Alocação - transporte público	Matriz OD transporte público	PLAMUS	Planilha
	Centróides	PLAMUS	<i>Shapefile</i>
	Rede transporte público	TrPlan	<i>Shapefile</i>

### 4.3 Logit binomial

O logit binomial se inicia com a seleção das variáveis que serão calibradas para determinar se são explicativas do modelo elaborado ou não. Para isso, foi determinado o tempo como única variável do modelo proposto. Essa escolha levou em consideração os dados disponíveis para a simulação.

A probabilidade de ser escolhido determinado modo de transporte é obtida pelos valores horários do pico da manhã de origem e destino. Em seguida é necessário linearizar a probabilidade, para, posteriormente, iniciar o processo de regressão linear múltipla.

A regressão linear é feita pela ferramenta de calibração do modelo do *software* TrPlan, retornando a confiabilidade de cada variável adotada por meio do valor p resultante. Caso este valor retorne maior que 0,05, a variável não é representativa para o modelo elaborado. Outro parâmetro de confiabilidade é o  $R^2$ . Ao contrário do valor de p, que se refere a uma variável específica, o  $R^2$  determina se a regressão é explicativa para o modelo.

Para a calibração do logit é montada uma tabela contendo os quantitativos de demanda do transporte privado e do transporte público combinada com os resultados t0 da alocação destes mesmos modos, dessa maneira, compara-se os tempos de viagem de cada modo de transporte (privado e pú-

blico). Validada a calibração, conferindo se  $R^2 \geq 0,2$ , pode-se prosseguir com a aplicação do modelo logit binomial.

O uso do modelo logit se dá pela inserção das tabelas de matrizes de dados atuais e futuros no TrPlan. A matriz de dados atuais é a mesma utilizada na calibração referente ao tempo do transporte privado e público sem a presença do BRT. Já a de dados futuros é fruto da combinação da matriz OD futura e os tempos das matrizes *skim* de alocação com o sistema BRT incluído.

Os resultados desta etapa são os parâmetros da regressão e as métricas de performance do logit para determinar a Equação 1. Além disso, o processo retorna os valores de matrizes do modo de transporte 1 e modo de transporte 2 futuros, utilizados para a etapa de alocação.

Como o PLAMUS já disponibilizou as matrizes OD, as planilhas resultantes da divisão modal são utilizadas para novas alocações a fim de comparação de resultados. As alocações são feitas na redes que possuem o BRT e seguem o método incremental, para a que contém o transporte privado, e o método tudo ou nada para a aquela que possui informações referentes ao transporte público tradicional.

#### 4.4 Estrutura de dados do TrPlan

O *software* utilizado para apoiar a elaboração do modelo e processar os dados referentes as etapas de alocação e divisão modal utilizados no trabalho é o TrPlan. O TrPlan opera baseado em templates (planilhas eletrônicas e *shapefiles*) e, por isso, é necessária a adequação dos dados de entradas para o padrão utilizado pelo programa. A seguir é detalhada a estrutura exigida pelo *software*.

##### a) Rede viária

A rede viária deve conter pelo menos as colunas listadas a seguir.

- id: número identificador;
- highway: tipo de rodovia;
- oneway: informa se a via é mão única ou não;
- lanes: quantidades de faixas;
- capacidade: capacidade da via sem que haja congestionamento (veículo/hora);
- velocidade: velocidade de fluxo livre (km/h).

##### b) Tabela de dados atuais

A estrutura dos dados atuais da divisão modal devem conter as seguintes informações:

- origem e destino: id dos centróides de origem e destino das viagens;
- m1 e m2: quantidade de viagens dos modos de transporte 1 e 2 (por se tratar de um logit binomial, só é permitido a análise de dois modos);

- $m1\_x1, m1\_x2, \dots$ : características de viagens do modo de transporte 1;
- $m2\_x1, m2\_x2, \dots$ : características de viagens do modo de transporte 2.

c) Tabela de dados futuros

A estrutura dos dados futuros da divisão modal se assemelham a estrutura de dados atuais, mas com dados projetados. A coluna que difere da anterior é:

- total: total de viagens da matriz OD futura.

## 5 Resultados

Esta seção aborda os resultados obtidos, levando em consideração as limitações encontradas para o desenvolvimento do modelo e os dados disponíveis para sua realização.

### 5.1 Modelagem da infraestrutura

A modelagem da infraestrutura teve início com a rede viária do transporte privado. As Figuras 9 e 10 apresentam visualmente os resultados das velocidades e capacidades atribuídas a cada rodovia da malha viária.

Figura 9: Velocidades na rede viária

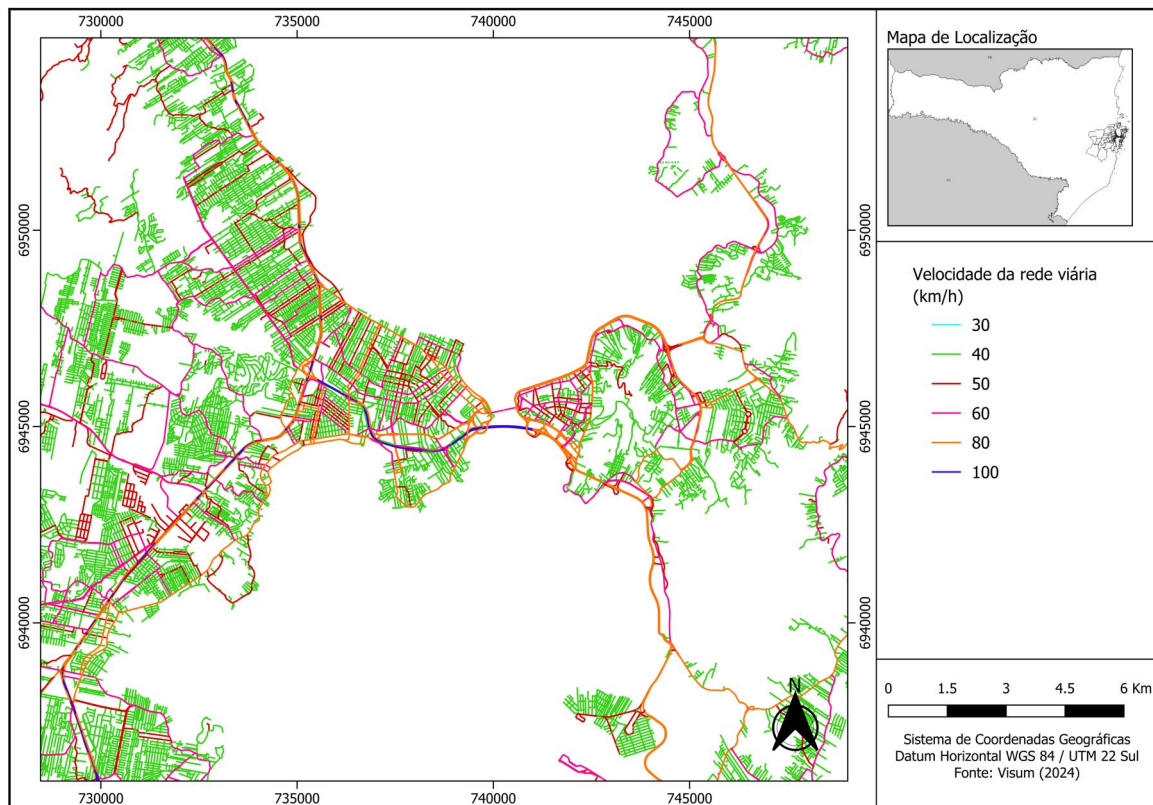
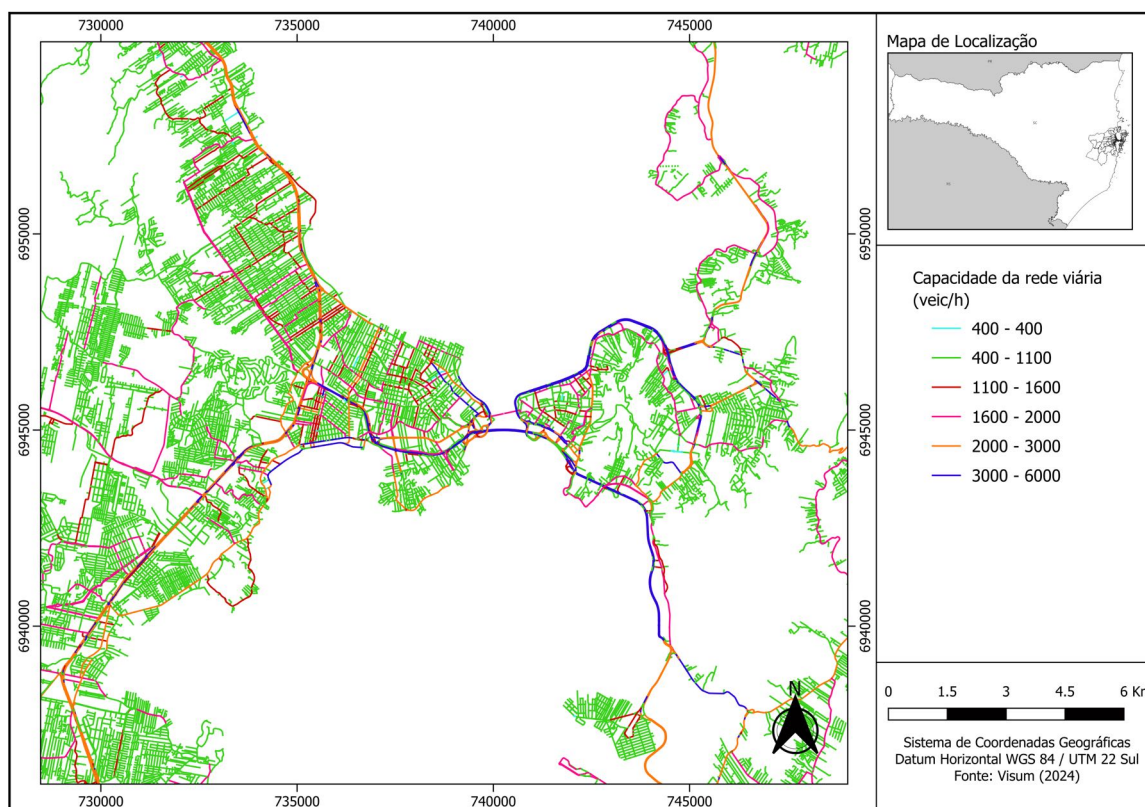
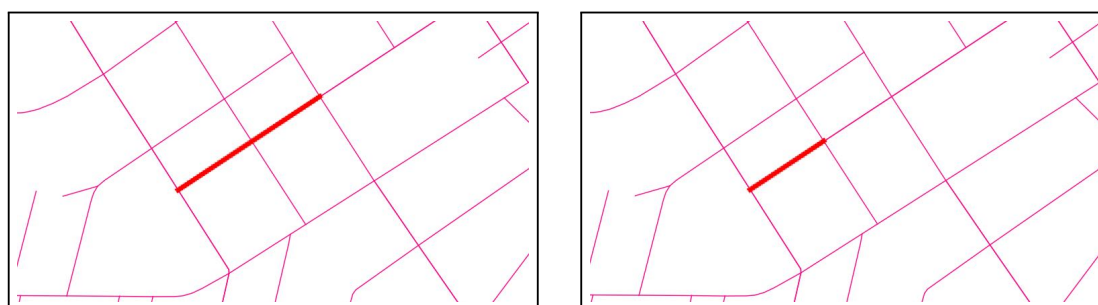


Figura 10: Capacidades na rede viária



Os dados de linhas provenientes do OpenStreetMap, como a malha viária do estudo, não vêm com todos os *links* segmentados nos nós, por isso, foi utilizado a ferramenta *v.clean* para quebrar a rede em todos os nós nela existentes, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11: Antes e depois do uso da ferramenta *v.clean*



Para que não ocorra a possibilidade de veículos fazerem conversões proibidas, passagens em desníveis foram reunidas manualmente (Figura 12). Esse processo é feito inicialmente percorrendo as principais rodovias da área de estudo onde há uma grande quantidade de viadutos para depois analisar áreas mais afastadas. Possivelmente alguns *links* não foram reunidos novamente. A Figura 13 apresenta a rede viária da área de estudo resultante.

Figura 12: Antes e depois da união de *links* em desnível

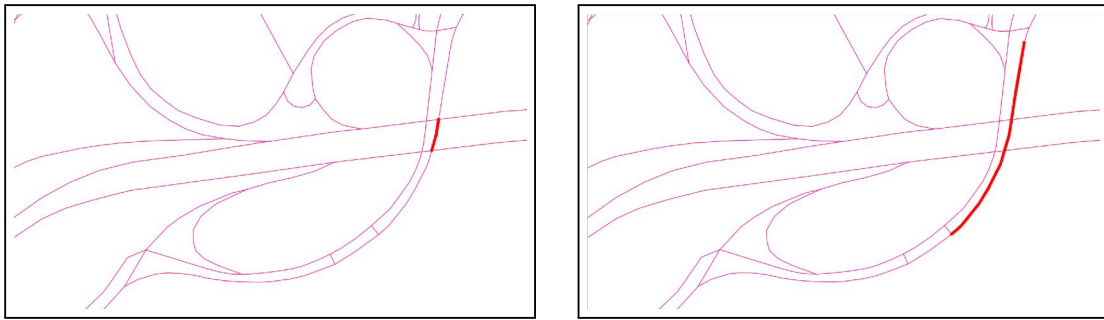
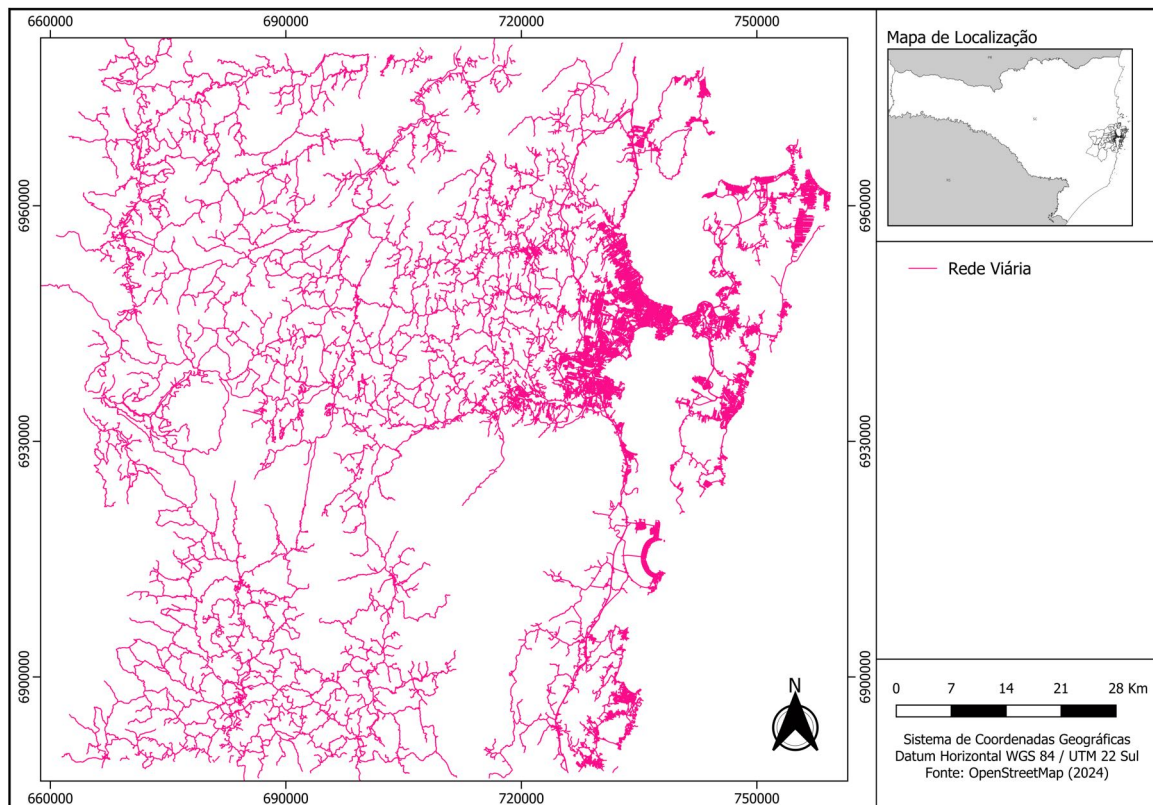


Figura 13: Rede viária



Usando a expressão  $length(\$geometry)$ , é calculado o comprimento dos *links* e pela ferramenta de tabela dinâmica do excel, é possível determinar algumas métricas da rede viária do modelo, como exibe a Tabela 10.

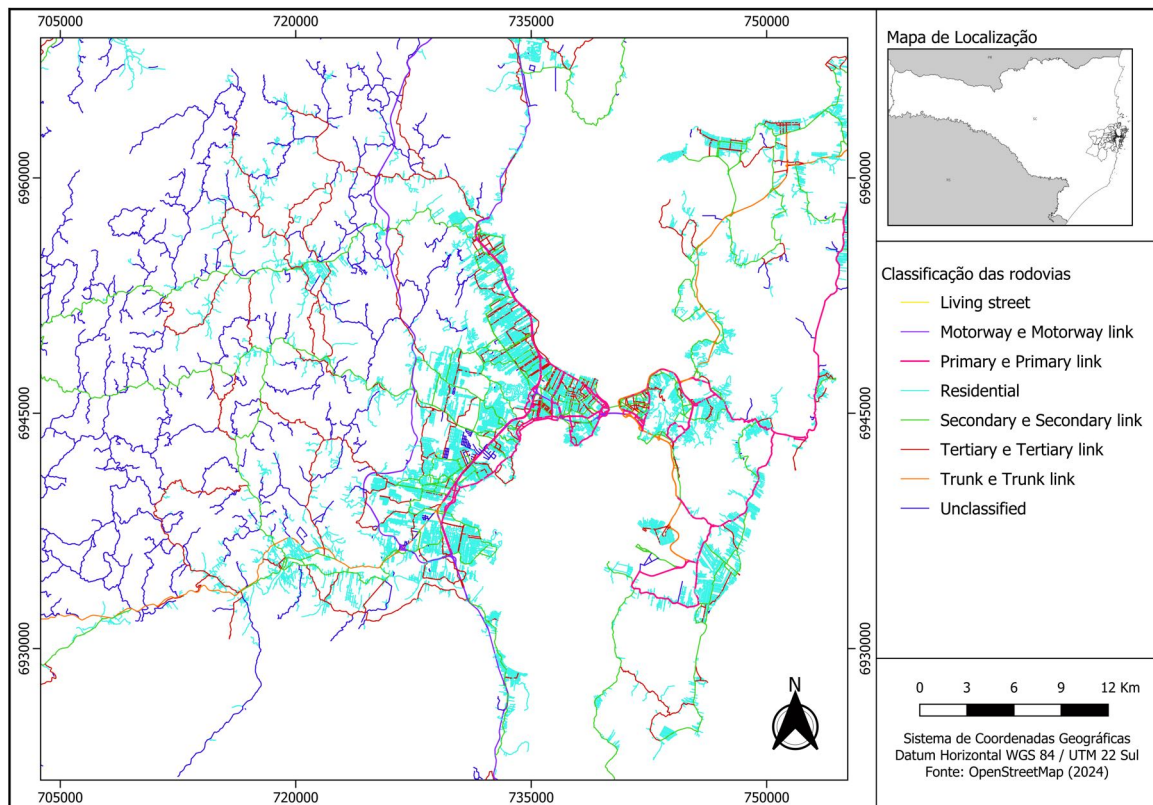
Tabela 10: Métricas por classe da rodovia

<i>Highway</i>	Quantidade de <i>links</i>	Porcentagem de <i>links</i>	Comprimento (m)	Porcentagem de km
<i>Living Street</i>	17	0,03%	1.787	0,02%
<i>Motorway</i>	921	1,80%	315.620	3,22%
<i>Primary</i>	2.295	4,48%	208.739	2,13%
<i>Residential</i>	30.017	58,61%	355.4206	36,23%
<i>Secondary</i>	6.220	12,15%	929.156	9,47%
<i>Tertiary</i>	4.815	9,40%	1.082.179	11,03%
<i>Trunk</i>	718	1,40%	181.237	1,85%
<i>Unclassified</i>	5.187	10,13%	3.466.012	35,33%

Na malha viária há predomínio de *links* de vias do tipo *residential*, totalizando 58,61% dos *links* da rede, que são rodovias locais, de baixo fluxo, situadas em áreas residenciais. Porém, quando observado o comprimento total das categorias, mais de 3.000 km são de vias não classificadas, seguido por mais de 1.000 de km de vias de classe *tertiary*, que conectam pequenas vilas ou bairros dentro de uma mesma cidade. Observando a Figura 14 é possível verificar visualmente que as rodovias não classificadas se localizam, em sua maioria, nos municípios com menores densidades demográficas e são rodovias com pouco tráfego alocado.



Figura 14: Classificação das rodovias da malha viária



Os centróides obtidos com a ferramenta "*centroids*" da geometria de vetores são apresentados na Figura 15. São, ao todo, 325 centróides, cada um representando uma zona de tráfego.

A camada dos pontos de ônibus também foi convertida para UTM zone 22S para que suas coordenadas fiquem com a unidade metros. Foram encontrados 2.683 pontos de ônibus na área de estudo. Como pode ser observado na Figura 16, há uma concentração de pontos de ônibus nas cidades de Florianópolis, Biguaçu, Palhoça e São José.

Figura 15: Centróides das zonas de tráfego

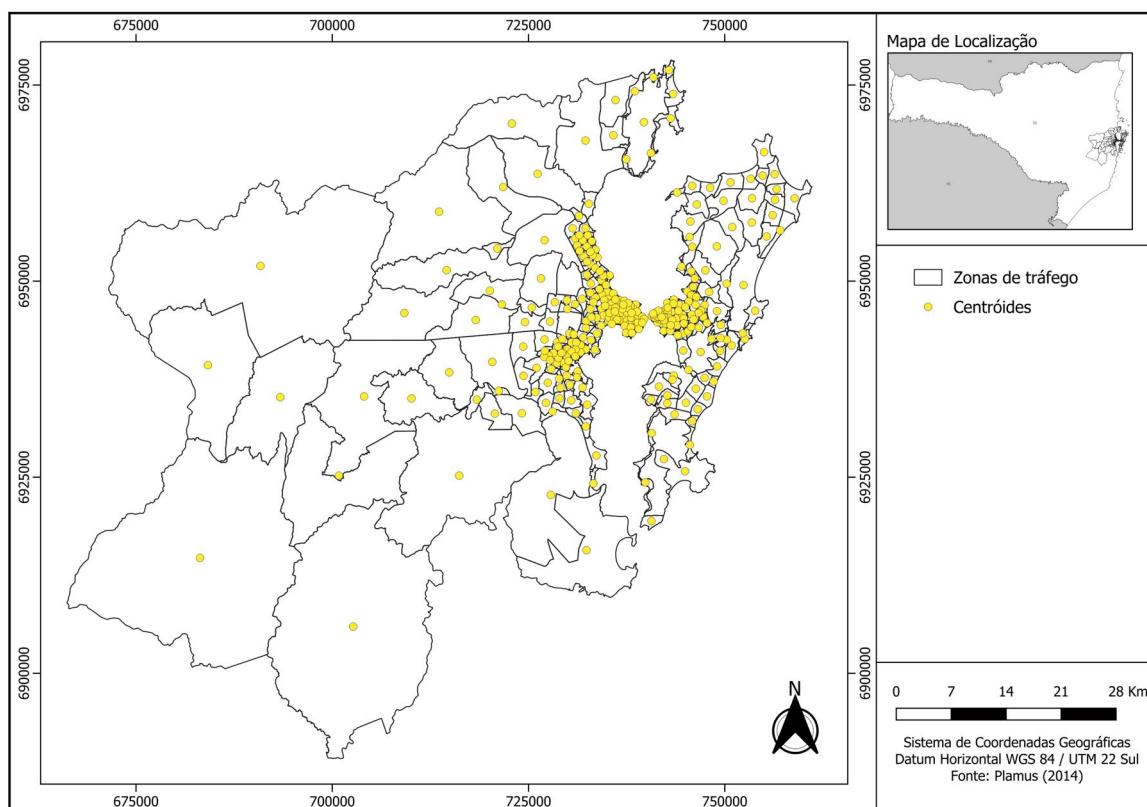
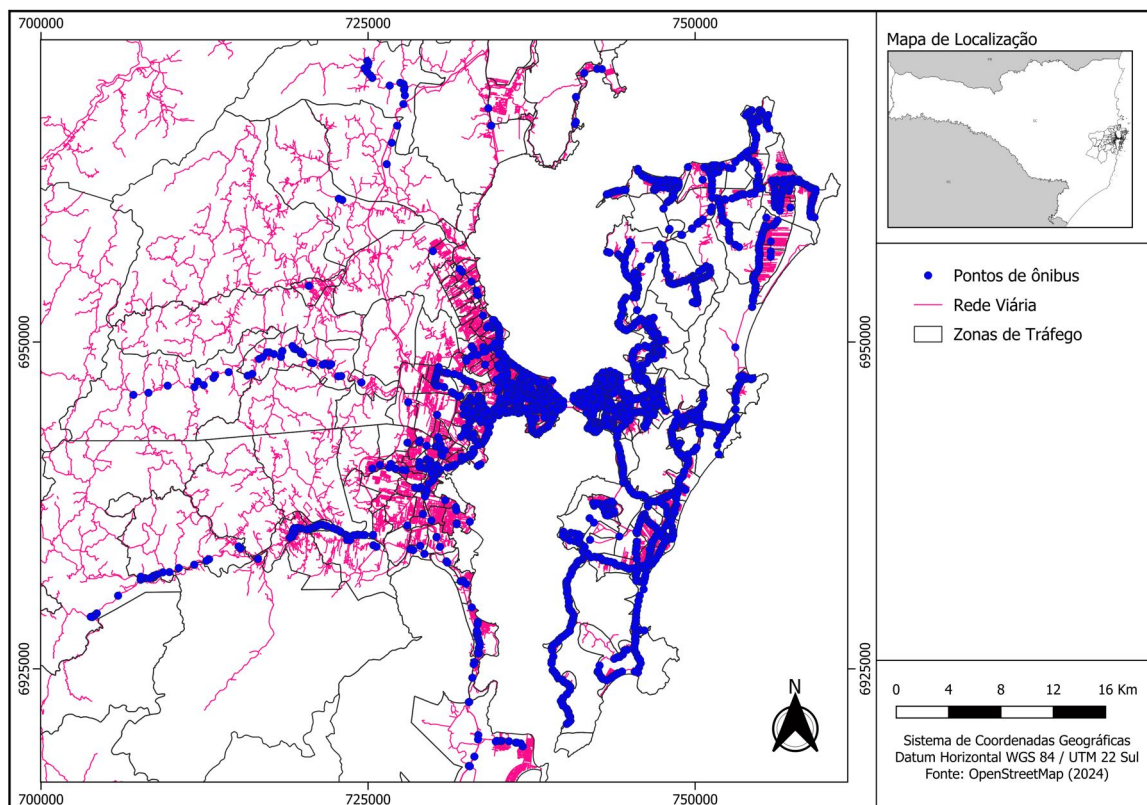


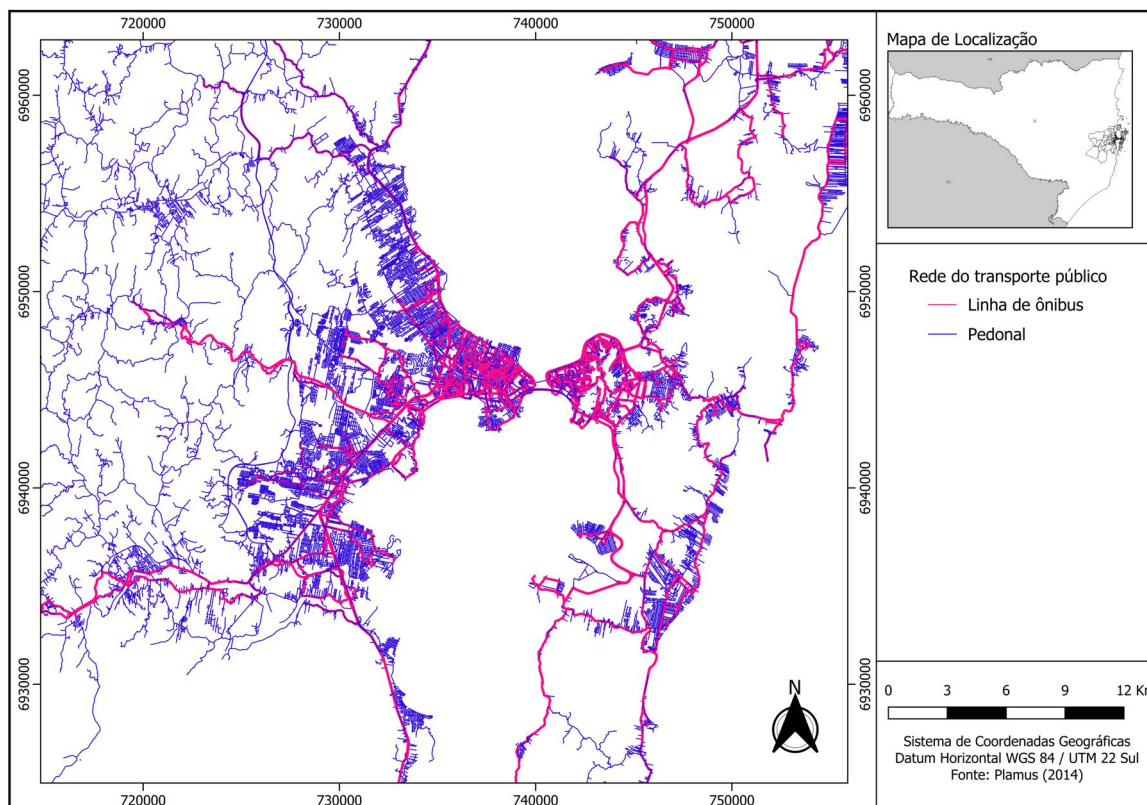
Figura 16: Pontos de ônibus



O processamento da criação de linhas de ônibus feito no TrPlan com 15 metros de *buffer* pela direita resultou em 572 linhas do transporte público coletivo com capacidade determinada arbitrariamente de 30 passageiros a cada 15 minutos. Houve um aumento de 118 linhas do transporte público em relação a quantidade que consta no PLAMUS.

Quanto à criação da rede, na Figura 17 é possível ver as linhas de ônibus criadas e a rede pedonal gerada neste processo.

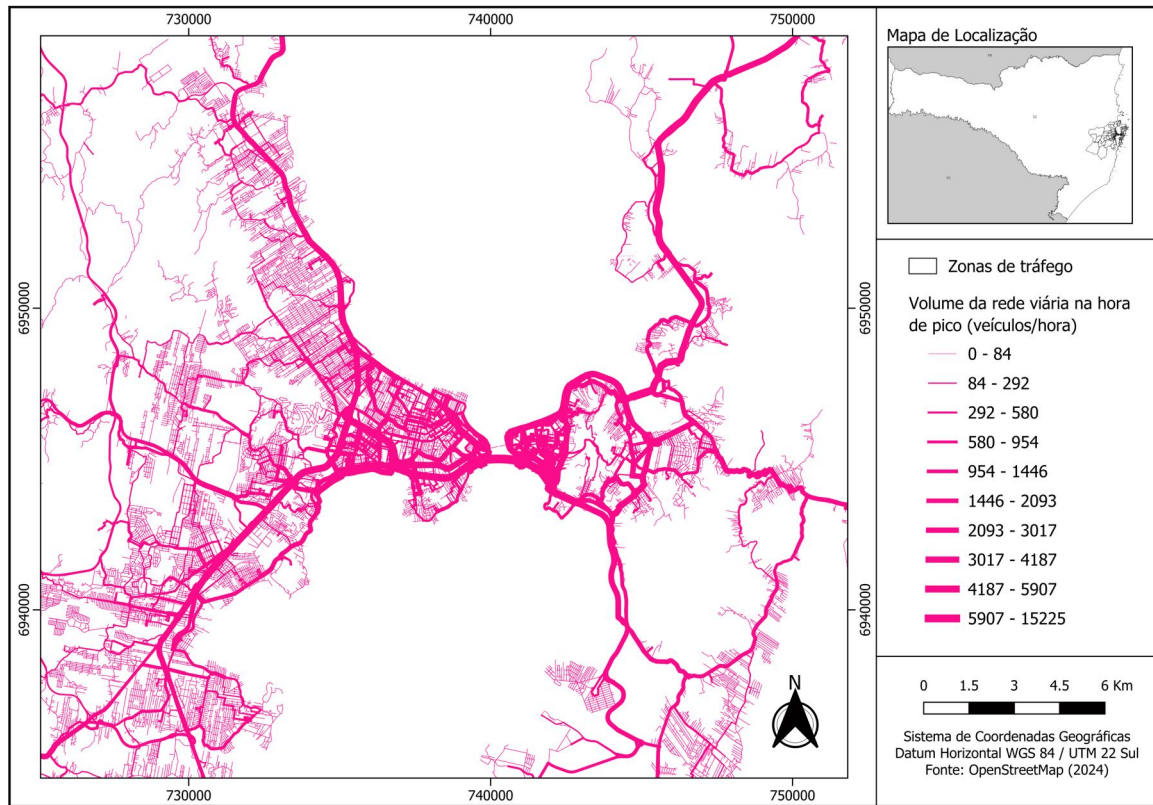
Figura 17: Rede do transporte público



## 5.2 Alocação do transporte privado

O resultado desta alocação é a matriz skim de tempo do transporte privado, o volume alocado, a saturação e o atraso nos links da rede. O processamento dos dados é feito no TrPlan e os resultados são observados pelo *software* QGis e mostrados na Figura 18.

Figura 18: Volume na rede



De forma visual, a alocação do transporte privado na malha viária se assemelha à divulgada pelo (PLAMUS, 2014b). É possível fazer a conferência de pontos estratégicos do volume de tráfego comparando os valores obtidos com a imagem dos relatórios do PLAMUS (Figuras 19, 20, 21, 22 e 23).

Figura 19: Comparação da alocação incremental obtida com a do PLAMUS

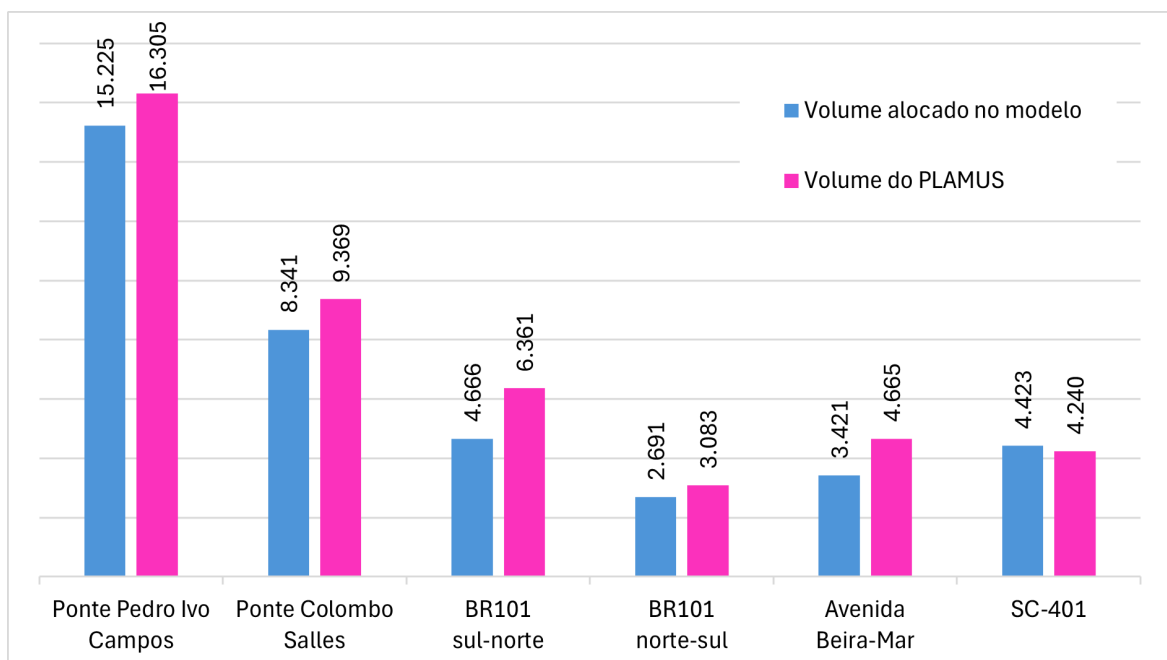
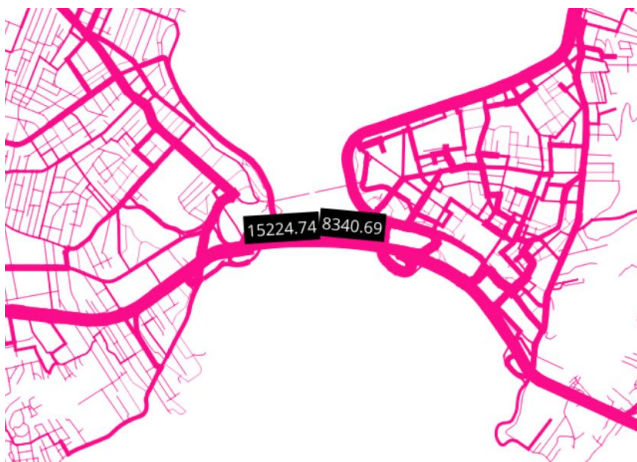


Figura 20: Volume do transporte privado nas pontes Pedro Ivo Campos e Colombo Salles

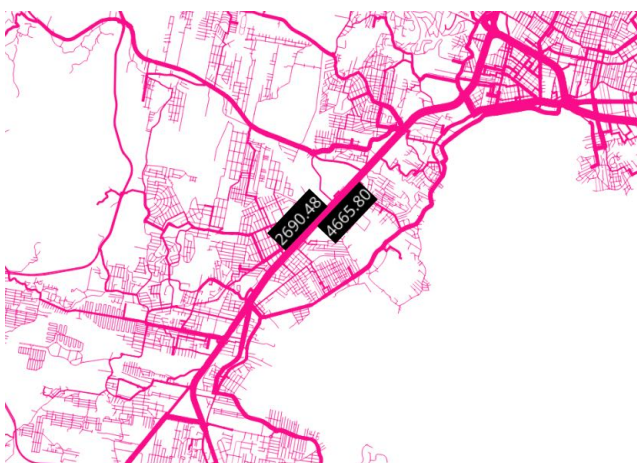


(a) Experimento deste trabalho

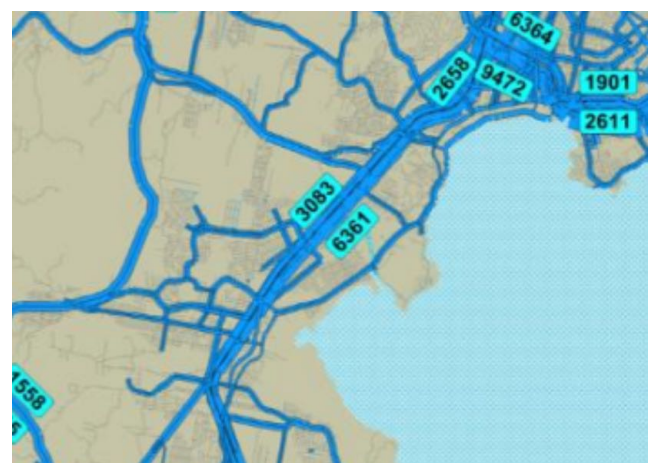


(b) Fonte: (PLAMUS, 2014b)

Figura 21: Volume do transporte privado na BR-101



(a) Experimento deste trabalho



(b) Fonte: (PLAMUS, 2014b)

Figura 22: Volume do transporte privado na Avenida Beira-Mar



(a) Experimento deste trabalho



(b) Fonte: (PLAMUS, 2014b)

Figura 23: Volume do transporte privado na SC-401



(a) Experimento deste trabalho



(b) Fonte: (PLAMUS, 2014b)

Deste procedimento também é resultado métricas referentes aos momentos de transporte, atrasos e extensão saturada, conforme exhibe a Tabela 11.

Tabela 11: Alocação incremental do transporte privado

<i>Highway</i>	Momentos de transporte (volume · km)	Atrasos (min)	Extensão saturada (km)
<i>Primary</i>	348.095,26	166,9334	47,37
<i>Secondary</i>	308.420,89	310,3328	79,35
<i>Motorway</i>	296.234,08	45,0724	18,37
<i>Trunk</i>	281.083,62	134,7580	32,60
<i>Residential</i>	80.890,93	286,5697	32,22
<i>Tertiary</i>	75.664,75	112,2516	21,35
<i>Unclassified</i>	33.068,32	106,6776	12,09
<i>Motorway_link</i>	18.514,25	18,4250	5,04
<i>Trunk_link</i>	13.915,23	39,3759	3,97
<i>Primary_link</i>	4.884,64	8,4650	1,41
<i>Secondary_link</i>	567,51	0,5866	0,22
<i>Tertiary_link</i>	57,15	0,0635	0,01
<i>Living_street</i>	12,27	0,0019	0,00
<b>Total</b>	1.461.408,89	1229,5133	253,99

A saturação dos *links* é apresentada na Figura 24. Já a Tabela 12 mostra a quantidade de *links* saturados. Pode-se observar que, apesar da maioria dos *links* da rede não estarem saturados, há uma concentração de *links* saturados na região da entrada e saída da ilha de Florianópolis. É normalmente nesses trechos da malha viária que ocorrem os congestionamentos, com diminuição da velocidade e aumento do tempo de viagem.

Figura 24: Saturação dos *links* da rede

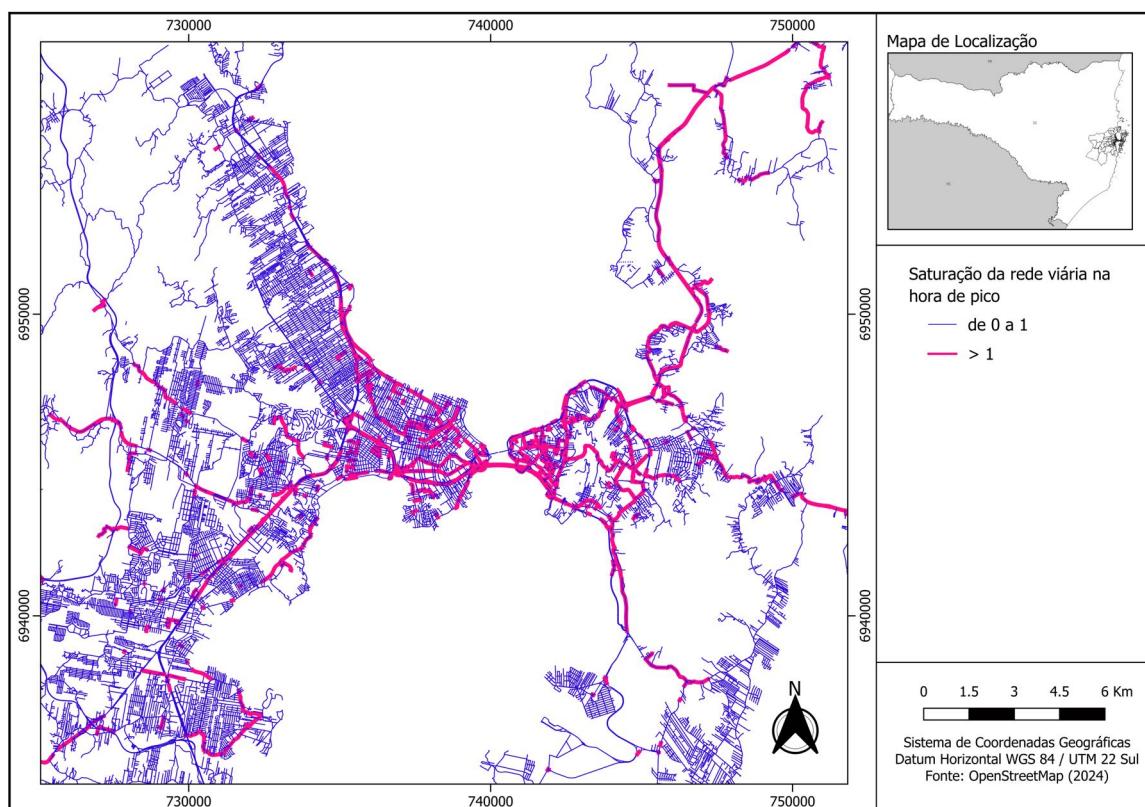


Tabela 12: Quantidade de *links* saturados na rede

Condição	Quantidade de <i>links</i>
Saturado	2.424
Não saturado	90.715

### 5.3 Alocação do transporte público

No *software* TrPlan, a alocação do transporte público segue o método tudo ou nada, mas por ser alocado na rede com a demanda do transporte privado, leva em consideração o tempo  $t_1$ , que se refere ao tempo de congestionamento gerado pelo transporte privado.

Os arquivos gerados neste processo são a matriz skim de tempo do transporte público e o arquivo *shapfile* com os tempos encontrados, conforme ilustrado na Tabela 13.

A impedância utilizada para o transporte público é o tempo e os maiores tempos da rede do transporte público são de distâncias de caminhada e se localizam longe das linhas de ônibus. As distâncias mais próximas do transporte coletivo possuem tempo de caminhada menores.



Tabela 13: Alocação do transporte público

<i>Highway</i>	Momentos de transporte (volume · km)
<i>Bus_line</i>	1.195.995,47
<i>Footway</i>	152.272,15
<b>Total</b>	1.348.267,62

## 5.4 Logit binomial

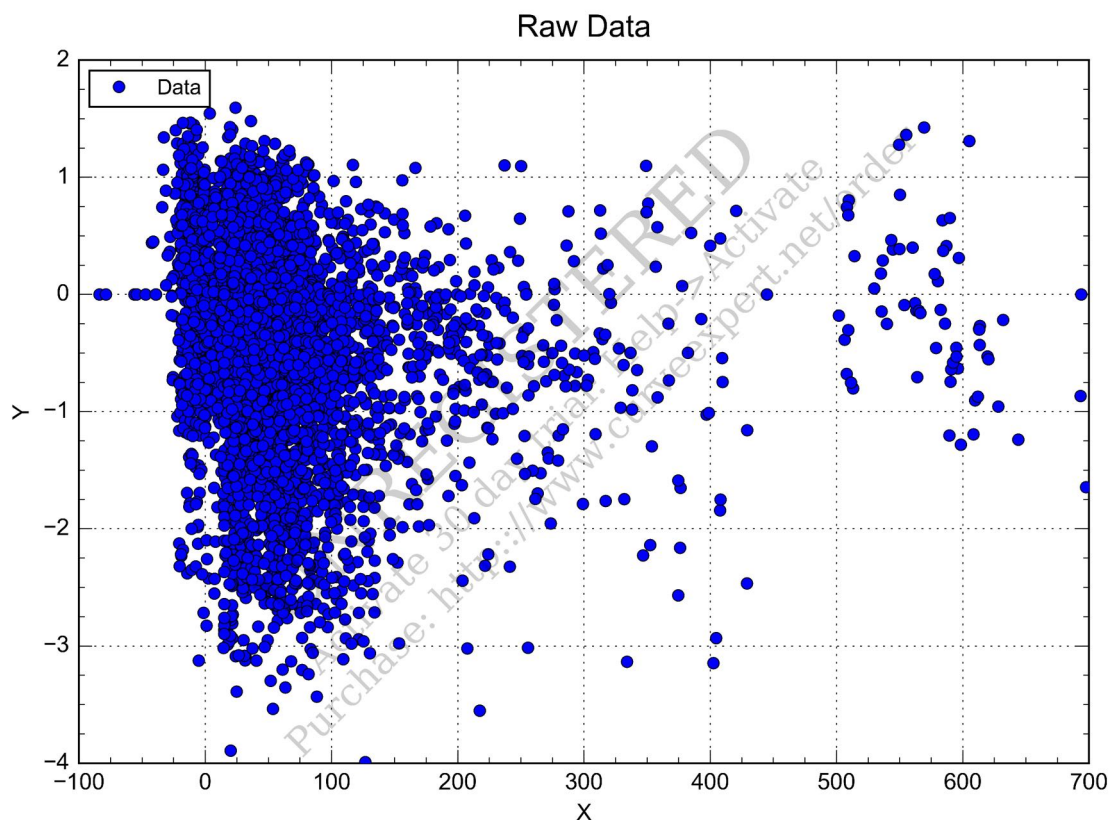
Como explicado na Seção 4.3, antes de utilizar o modelo de divisão modal logit binomial, é preciso fazer sua calibração para verificar o nível de confiança dos parâmetros adotados e ainda se o modelo é representativo ou não.

Os dados para calibração advém das alocações feitas neste trabalho que não continham o sistema de BRT, ou seja, a alocação incremental do transporte privado e a alocação tudo ou nada do transporte público, cujos resultados geraram as matrizes skim de tempo do transporte.

Os tempos obtidos do cenário atual sem BRT é utilizado para calibração do modelo, enquanto que o cenário futuro, com BRT, é utilizado para determinar se houve migração de modo de transporte.

A Figura 25 apresenta a dispersão dos pontos utilizados para a realização da regressão linear na calibração do modelo.

Figura 25: Dispersão dos pontos da calibração do modelo logit



Ao proceder com a calibração do modelo o valor do  $R^2$  atingiu um valor muito baixo e a variável não pôde ser validada. Por isso, utilizou-se algumas transformações matemáticas nas variáveis e foram elas:

- a) número de euler elevado à variável;
- b) normalização logarítmica;
- c) elevação das variáveis ao quadrado;
- d) normalização min-máx.

Após tentativas de calibrar o modelo para cada uma das situações propostas, ainda não puderam ser encontrados resultados aceitáveis, conforme mostra a Figura 26. Por isso fez-se necessário a utilização do *software CurveExpert*.

Figura 26: Calibração do modelo logit

<pre> Forma da equação: y = β0 + β1 * x1 + β2 * x2 + ... + βn * xn r^2 = 0.0094131348 β[0] = -0.4160541141 β[1] = -0.0010311256 Se = 0.8835716234 p-value[0] = 0.0000000000 p-value[1] = 0.0000000000 t-value[0] = -121.2719951638 t-value[1] = -31.2204747297 </pre>	<pre> Forma da equação: y = β0 + β1 * x1 + β2 * x2 + ... + βn * xn r^2 = NaN β[0] = NaN β[1] = NaN Se = NaN p-value[0] = NaN p-value[1] = NaN t-value[0] = NaN t-value[1] = NaN </pre>
---	--

(a) Dados originais

(b)  $e^x$

<pre> Forma da equação: y = β0 + β1 * x1 + β2 * x2 + ... + βn * xn r^2 = 0.0489868045 β[0] = -0.2058002285 β[1] = -0.2814725671 Se = 0.8657425213 p-value[0] = 0.0000000000 p-value[1] = 0.0000000000 t-value[0] = -44.3754294313 t-value[1] = -72.6883699121 </pre>	<pre> Forma da equação: y = β0 + β1 * x1 + β2 * x2 + ... + βn * xn r^2 = 0.0002193208 β[0] = -0.4756614836 β[1] = -0.000002318 Se = 0.8876624466 p-value[0] = 0.0000000000 p-value[1] = 0.000021026 t-value[0] = -163.9687881831 t-value[1] = -4.7435795570 </pre>
--	--

(c)  $\log(x)$

(d)  $x^2$

```

Forma da equação: y = β0 + β1 * x1 + β2 * x2 + ... + βn * xn
r^2 = 0.0268751153
β[0] = -0.5911481940
β[1] = -1.1924291943
Se = 0.8757492345
p-value[0] = 0.0000000000
p-value[1] = 0.0000000000
t-value[0] = -171.6585800554
t-value[1] = -53.2242468523

```

(e) Normalizado:  $\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$

## 5.5 CurveExpert

O *software CurveExpert*<sup>7</sup> encontra a curva que melhor se adapta aos dados testando diferentes regressões. Nele é testado: Curve Expert Basic versão 2.2.3

- Regressão linear;
- Regressão polinomial de grau a definir (para este trabalho foi testado regressão polinomial de grau 2 ao grau 4);
- 67 regressões não lineares integradas;
- Regressão não linear personalizada.

Em uma tentativa de prosseguir com o experimento, foi utilizado este *software* para procurar alguma regressão que ajustasse os pontos do modelo de maneira tal que a variável utilizada (tempo) fosse explicativa para o modelo.

A Tabela 14 apresenta a melhor regressão para cada tentativa e a equação que a rege. Os resultados das melhores curvas são mostradas na Figura 27.

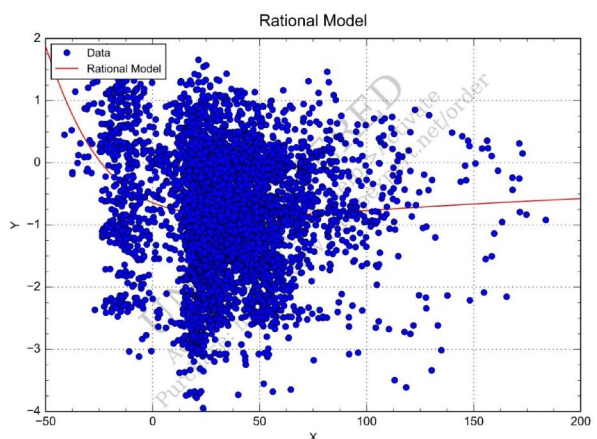
<sup>7</sup>CurveExpert Basic versão 2.2.3. Download disponível em: <<https://www.curveexpert.net/download/>>

Tabela 14: Regressões para calibração do modelo logit

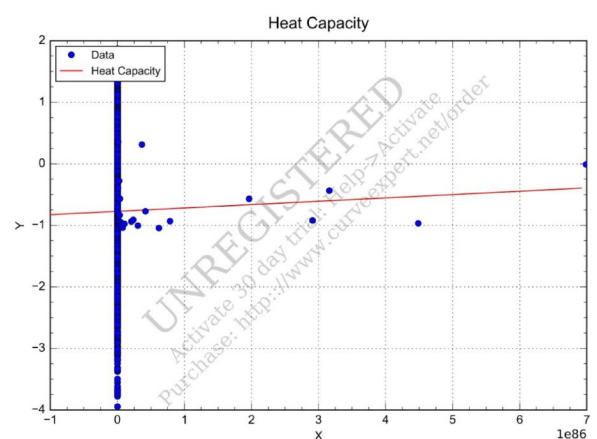
Tratamento da variável tempo	Melhor regressão	Valor do $R^2$	Equação
Dados originais	<i>Rational Model</i>	$3,61E^{-2}$	$\frac{a+b \cdot x}{1+c \cdot x+d \cdot x^2}$
$e^x$	<i>Heat Capacity</i>	$1,23E^{-3}$	$a + b \cdot x + \frac{c}{x^2}$
$\log(x)$	<i>Polynomial Regression (degree=4)</i>	$5,21E^{-2}$	$a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4$
$x^2$	<i>Polynomial Regression (degree=4)</i>	$2,09E^{-2}$	$a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4$
$\frac{x-x_{min}}{x_{max}-x_{min}}$	<i>Polynomial Regression (degree=4)</i>	$3,47E^{-2}$	$a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4$

Apesar de todo o esforço em conseguir um valor de  $R^2$  satisfatório para o modelo, nenhum deles atingiu o mínimo para que a calibração fosse validada, por isso, não foi possível dar continuidade ao método definido para este trabalho.

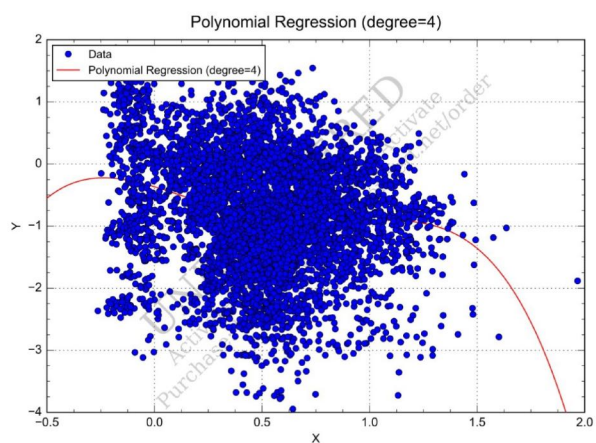
Figura 27: Regressões com do Curve Expert



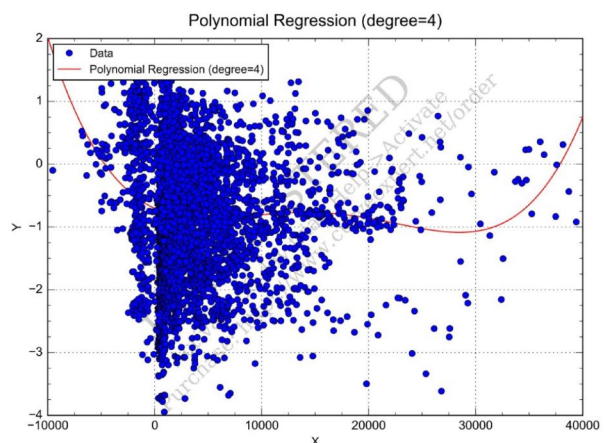
(a) Dados originais



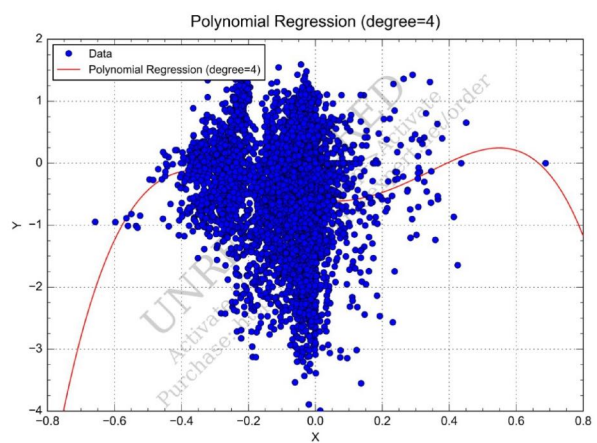
(b)  $e^x$



(c)  $\log(x)$



(d)  $x^2$



(e) Normalizado:  $\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$

## 5.6 Modelagem da rede de BRT

A camada *shapefile* da rede do BRT foi extraída manualmente da camada da rede viária conforme mostra a Figura 28. Da mesma forma que foi feito com o ônibus, as linhas do sistema BRT foram criadas usando um *buffer* 50 metros. O motivo do aumento do tamanho do *buffer* veio da necessidade de utilizar os mesmos pontos de ônibus que os do sistema de ônibus convencional. Quando utilizado o *buffer* de 15 metros, não era criada nenhuma rota de BRT, pois não havia pontos de ônibus no *buffer*. Logo em seguida foi criada a rede do BRT, procedimento novamente similar ao da criação da rede do ônibus, conforme ilustra a Figura 29. Como pode-se observar, não foi possível criar rotas para o sistema BRT que se assemelhassem com a rede proposta inicialmente pelo PLAMUS.

Figura 28: Sistema de BRT

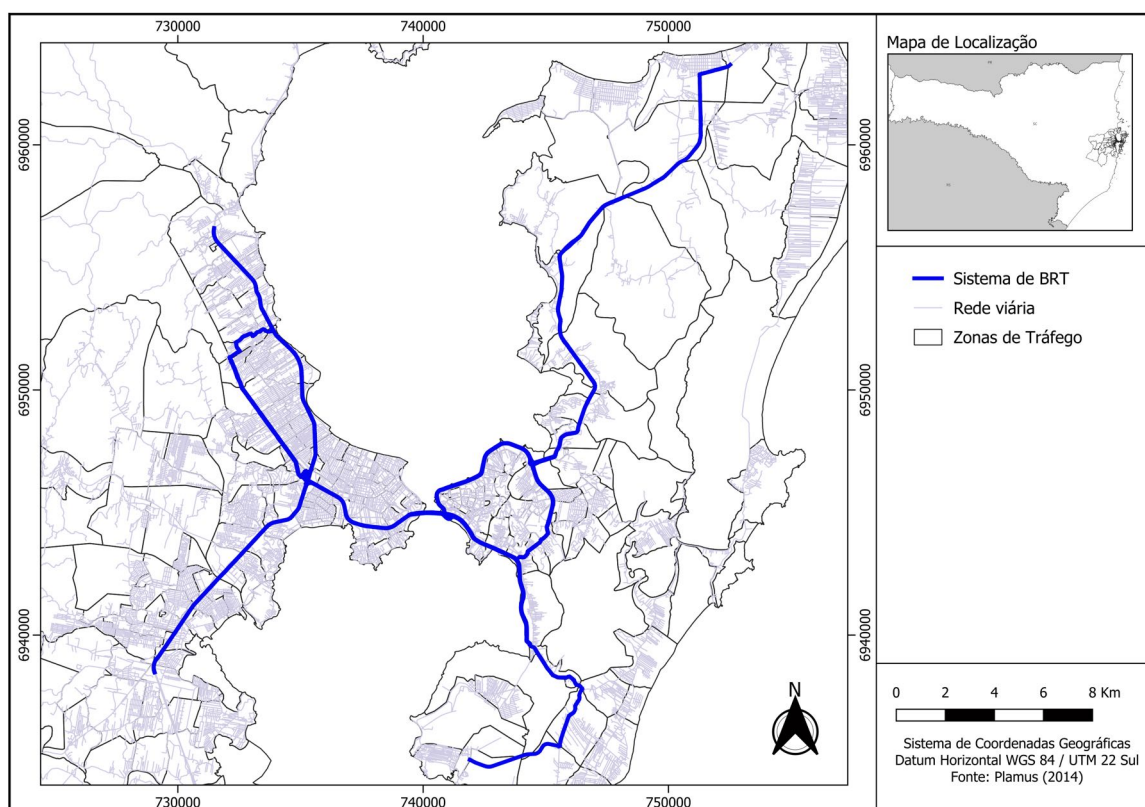
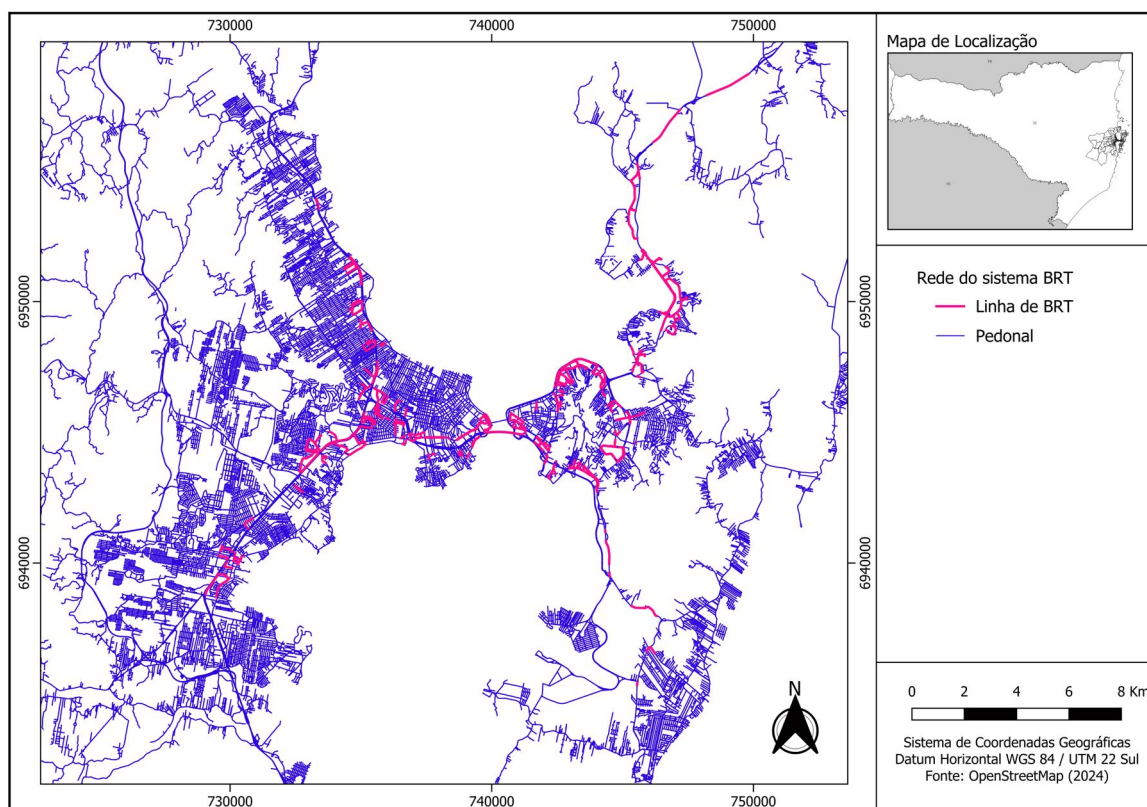


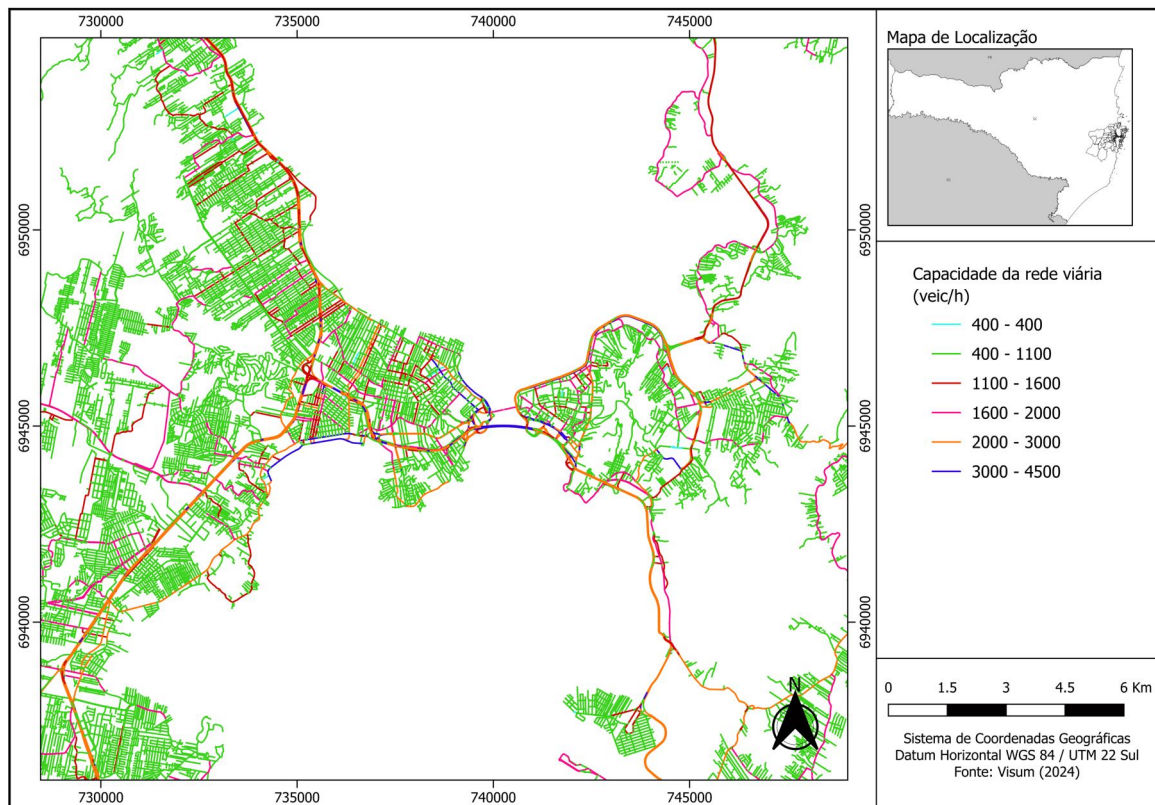
Figura 29: Rede do sistema de BRT



Com a rede do sistema BRT pronta, os *links* pedonais foram eliminados e foi ajustada a capacidade dos *links* para 400 passageiros por hora quando a via é *oneway* e o dobro quando não. O aumento da capacidade se dá por se tratar de um BRT, que, pela literatura, é bastante variável. O valor de capacidade foi escolhido arbitrariamente, dentro de um limite razoável para um BRT. Tanto a geração das linhas quanto a geração da rede do sistema de BRT do trabalho foram feitos no TrPlan.

Para simular o cenário futuro com a implementação do sistema BRT na área de estudo foi reduzida a capacidade dos *links* para reservar uma faixa da rodovia exclusiva para BRT, conforme mostra a Figura 30.

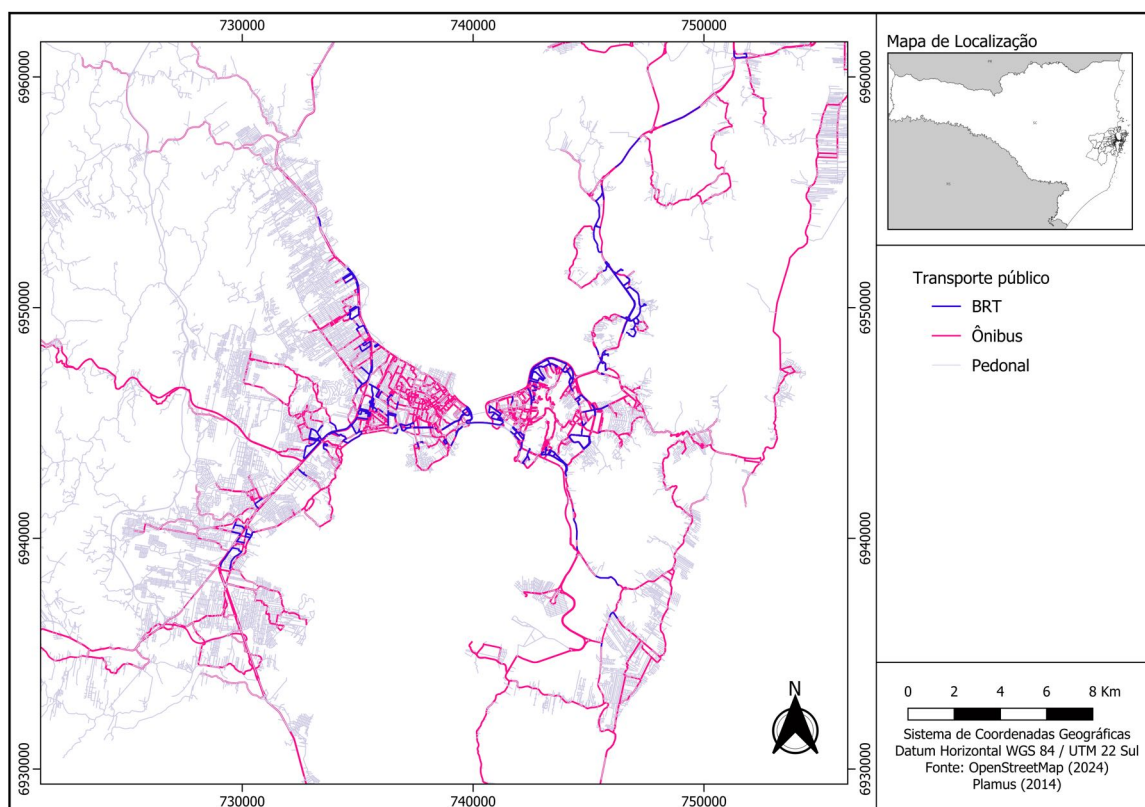
Figura 30: Capacidades reduzidas na rede viária



A rede do transporte público com ônibus e BRT coexistindo, foi obtida da combinação das duas redes resultantes do processamento com o TrPlan e foi criada uma única malha viária de transporte público coletivo (Figura 31).



Figura 31: Sistema de transporte público com BRT



## 5.7 Alocação do BRT na malha viária

Com a rede viária do transporte privado com capacidade reduzida pronta, foi alocada esta nova demanda da rede, por meio de uma nova alocação incremental. Os resultados dos volumes obtidos na rede são exibidos na Figura 32.

A inserção do transporte público que combina ônibus convencional e BRT na rede, foi feita processando uma nova alocação tudo ou nada, novamente na rede com os tempos de congestionamentos do transporte privado com capacidade reduzida. As métricas da alocação estão na Tabela 15. Para este caso, não houve *links* com atrasos e nem saturados.

Figura 32: Volume na rede com capacidade reduzida

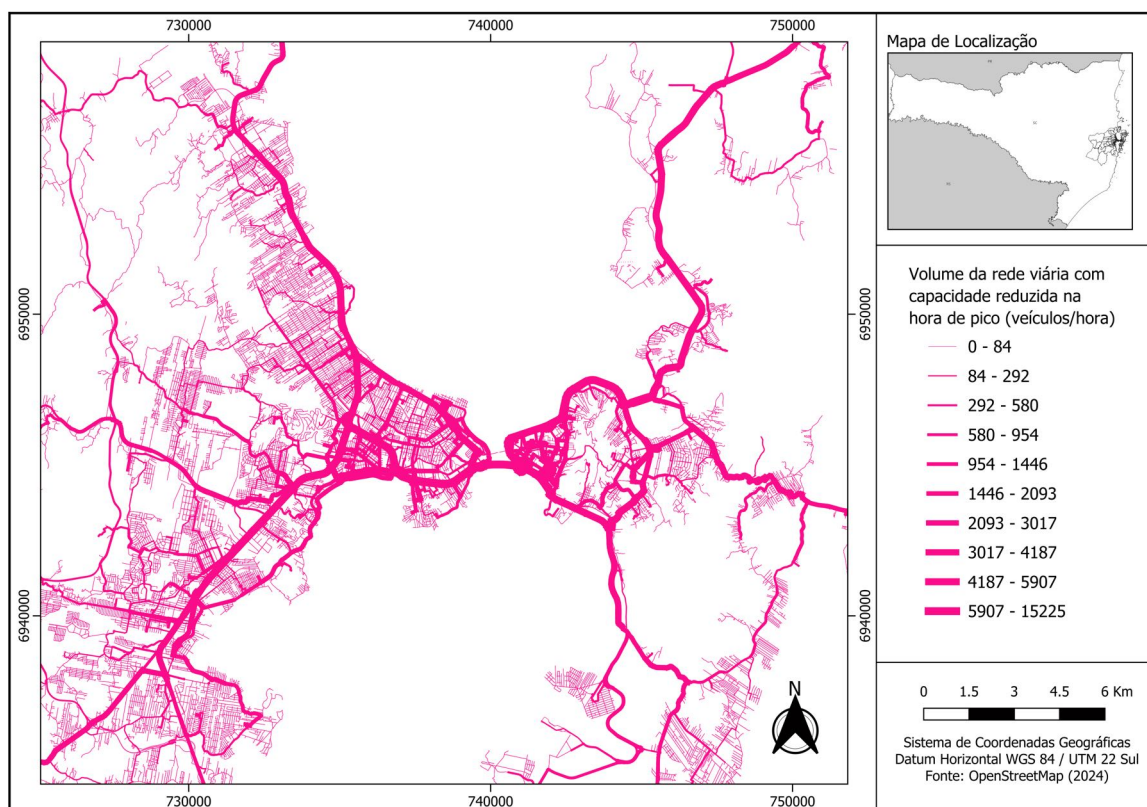


Tabela 15: Alocação incremental do transporte privado na rede com capacidade reduzida

<i>Highway</i>	Momentos de transporte (volume · km)
<i>Primary</i>	304.598,99
<i>Secondary</i>	263.255,63
<i>Motorway</i>	341.922,44
<i>Trunk</i>	323.175,71
<i>Residential</i>	59.327,28
<i>Tertiary</i>	55.629,25
<i>Unclassified</i>	31.756,50
<i>Motorway_link</i>	16.132,39
<i>Trunk_link</i>	13.940,31
<i>Primary_link</i>	3.419,17
<i>Secondary_link</i>	527,74
<i>Tertiary_link</i>	46,84
<i>Living_street</i>	0,00
<b>Total</b>	1.413.732,24

Para comparação de resultados das alocações incrementais feitas neste trabalho, a Figura 33 traz um trecho da rede viária que sofreu alteração. Pode-se observar que *links* que tiveram suas capacidades reduzidas, conseqüentemente tiveram menos tráfego alocados para eles.

Os momentos de transporte formados estão explicitados na Tabela 16.

Figura 33: Comparação dos volumes na rede com alocação incremental

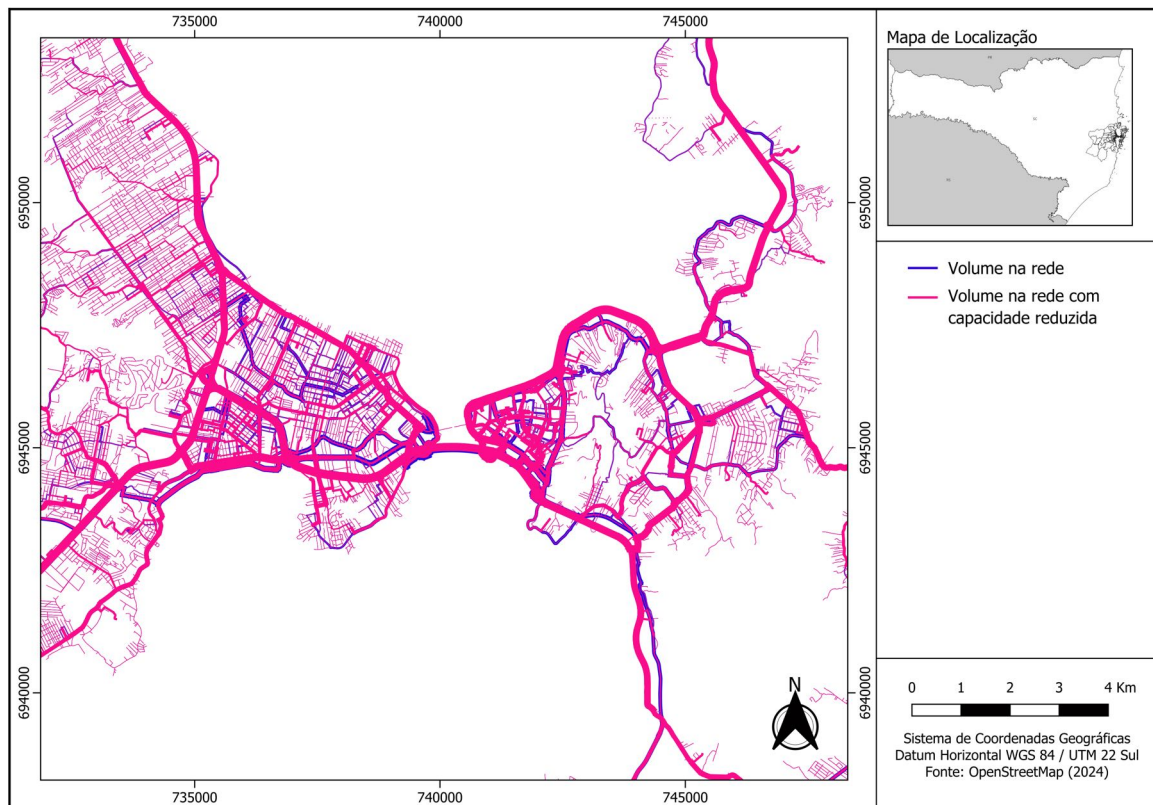


Tabela 16: Alocação do transporte público com BRT

<i>Highway</i>	Momentos de transporte (volume · km)
<i>Bus_line</i>	1.285.377,86
<i>Footway</i>	150.835,21
<b>Total</b>	<b>1.436.213,07</b>

## 6 Conclusões

Com este Trabalho de Conclusão de Curso foi possível aperfeiçoar a experiência acerca da modelagem da infraestrutura viária de uma área de estudo e a inserção do tráfego nela existente, através da demanda contida na matriz OD. Além disso, conseguiu-se visualizar e praticar as técnicas de implementação de uma nova tecnologia de transporte urbano em um modelo fictício.

A modelagem da rede viária do transporte privado se mostrou próxima da realidade, resultando em volumes de tráfego parecidos visualmente com os relatórios divulgados pelo PLAMUS. A malha viária do transporte público existente também se aproximou dos dados de referência disponíveis. As linhas criadas pelo TrPlan produziram uma malha viária semelhante ao do PLAMUS.

A validação visual dos resultados foi escolhida para este trabalho pois a única forma de comparação com o modelo de referência foi através de uma figura. Por isso, houve poucos pontos de conferência de resultados para o tamanho da área de estudo, evidenciando a necessidade de uma forma de validação mais confiável. Para modelar a rede de forma real, é necessária uma validação numérica para garantir o realismo da simulação, maior sofisticação na determinação da velocidade e capacidade, melhora nos dados de demanda, dados de cenário temporal homogêneo.

Os dados coletados do PLAMUS e do *OpenStreetMap* foram suficientes para elaborar um modelo experimental de estrutura viária no software TrPlan de maneira sistemática, mas o resultado da calibração do logit do modelo não foi suficientemente alto para prosseguir com o experimento.

O modelo proposto apresentou limitações em atingir um valor de  $R^2$  bom para a simulação, indicando que a variável tempo utilizada neste trabalho não é explicativa para o modelo e que ele não é adequado para representar a situação real da área de estudo. Em outras palavras, os usuários do transporte não consideram o tempo na hora de escolher entre os sistemas de transporte disponíveis, e isso não condiz com a realidade.

O tempo de deslocamento é uma variável que os usuários levam em consideração na hora de escolher o modo de transporte, mas as imperfeições da modelagem impediram que a variável fosse explicativa. Apesar da validação visual dos volumes do transporte privado na rede viária ter obtido êxito, as simplificações feitas para a simulação do modelo podem ser prejudicadas o resultado.

A interrupção do experimento devido à não obtenção de um resultado adequado mostra a possível necessidade de coleta de dados atualizada e a necessidade de avaliar outros parâmetros além do tempo de deslocamento. Variáveis sugeridas para nova análise do modelo são custo do transporte, conforto, segurança, etc.

A abordagem realizada permite a identificação de pontos críticos de congestionamentos e possibilidade de propôr melhorias na mobilidade baseado em dados concretos a nível macroscópico.

Concluiu-se também que há a necessidade de dados atuais para a simulação de um modelo mais real visto que há uma defasagem temporal dos dados disponíveis e percebeu-se a dificuldade em modelar

uma rede em que há muita subjetividade como, por exemplo, decisões tomadas pelos habitantes de uma área de estudo.

Os softwares utilizados neste trabalho se mostraram adequados para o que foi proposto. O TrPlan foi uma ferramenta adequada para o processamento de funções simples como transformar matrizes em colunas e vice-versa e de funções mais complexas, como a criação de linhas com *buffer* para ajuste de pontos do transporte na malha viária. Ele se mostrou uma ferramenta intuitiva, fácil de utilizar e os resultados obtidos são mostrados de forma clara. O QGIS também foi uma ferramenta essencial para a visualização dos resultados obtidos. Ao contrário do TrPlan, o QGIS demanda um mínimo de conhecimento sobre o *software*, porém há fóruns online e vídeos explicativos de suas funcionalidades que auxiliam na utilização de determinada ferramenta.

Os dados disponibilizados pelo PLAMUS foram insuficientes para o modelo, principalmente pela heterogeneidade temporal dos dados. As divulgações parciais de informações impossibilitaram a reprodução do modelo, sendo possível apenas a construção de modelos semirrealistas com o intuito de aprendizagem.

Neste trabalho houve a necessidade de automatizar o máximo de processos possíveis devido a quantidade de dados e a complexidade de realizar tais procedimentos manualmente. Os problemas gerados da automatização foram previstos, a surpresa ocorreu na quantidade de erros resultantes.

Os resultados obtidos fornecem uma base inicial para análises e decisões no planejamento de transporte público e foi essencial para a prática da técnica de planejamento de transportes.

## 6.1 Recomendações para trabalhos futuros

Recomendações para trabalhos futuros são:

- a) realizar a calibração do logit binomial do modelo com outras variáveis;
- b) ajustar as velocidades de fluxo livre das rodovias conforme o Código de Trânsito Brasileiro e realizar novamente a simulação;
- c) pesquisar métodos matemáticos para validar os resultados da alocação;
- d) simular pontos de parada específicos para o BRT e analisar o tempo de viagem;
- e) refazer a modelagem utilizando os tempos de viagem da malha viária disponibilizada pelo PLAMUS;
- f) refazer a modelagem com os dados do cenário orientado do PLAMUS e comparar os resultados.

# Referências

- ABNT. *NBR 15570: Fabricação de veículos acessíveis de categoria M3 com características urbanas para transporte coletivo de passageiros — Especificações técnicas*. Rio de Janeiro, 2021.
- ANTP. Custos dos deslocamentos. 2010.
- Araujo, F. W. *Experimentação com simulação de tráfego mesoscópico utilizando o software SUMO aplicada à Região Metropolitana da Grande Florianópolis*. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.
- Araújo, M. R. M. de et al. Transporte público coletivo: Discutindo acessibilidade, mobilidade e qualidade de vida. *Psicologia e Sociedade*, p. 574–582, 2011.
- Branco, S. P. V. M. *Estudo e Aplicação de Sistemas BRT - Bus Rapid Transit*. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Porto, 2013.
- Bruton, M. J. *Introdução ao planejamento dos transportes*. [S.l.: s.n.], 1979.
- Caleffi, F. *Fundamentos de Equilíbrio em Redes de Transporte*. 1. ed. [S.l.]: Editora Interciência, 2023.
- Campos, E. T. *A Expansão Urbana na Região Metropolitana de Florianópolis e a Dinâmica da Indústria da Construção Civil*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- Campos, V. B. G. *Planejamento de Transportes - Conceitos e Modelos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.
- Carvalho, C. H. R. de. Desafios da mobilidade urbana no Brasil. *IPEA*, 2016.
- CNDL; SPC; SEBRAE. *Mobilidade Urbana*. [S.l.], 2022.
- Diaz, R. B. *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. [S.l.: s.n.], 2004.
- Ferraz, A. C. P. et al. *Transporte Público Coletivo Urbano*. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2024.
- Geurs, K. T.; Wee, B. V. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, p. 127–140, 2004.
- Gomide, A. de Ávila. Mobilidade urbana, iniquidade e políticas sociais. *Ipea - Políticas Sociais: acompanhamento e análise*, 2006.
- GOV-SC. *Plano de Mobilidade Urbana Sustentável da Grande Florianópolis (PLAMUS)*. [S.l.], 2014.
- Hoel, L. A.; Garber, N. J.; Sadek, A. W. *Engenharia de infraestrutura de transportes: uma integração multimodal*. [S.l.: s.n.], 2011.
- Hutchinson, B. G. *Principles of Urban Transport Systems Planning*. [S.l.: s.n.], 1974.
- IBGE. *Censo demográfico*. 2022.
- Jones, P. The evolution of urban mobility: The interplay of academic and policy perspectives. *IATSS Research*, n. 38, p. 7–13, 2014.
- Jones, S. R. Accessibility measures: a literature review. *Transport and Research Laboratory*, 1981.
- Mallon, F. B. *Elaboração de um modelo multimodal por meio de simulação de tráfego baseada em agentes: estudo de caso na Grande Florianópolis/SC*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina., 2024.
- Mello, J. C. *Planejamento de Transportes Urbanos*. [S.l.]: Campus, 1981.

- Meyer, B.; Günther, H. F. Controle externo e políticas públicas de mobilidade urbana: o caso da região metropolitana de Florianópolis. *Revista Gestão Organizacional*, v. 12, n. 4, p. 43–62, set/dez 2019. ISSN 1983-6635.
- Meyer, M. D. *Transportation planning handbook*. Fourth. [S.l.]: Wiley, 2016.
- Ministério das Cidades. *Manual de BRT - Guia de planejamento*. [S.l.], 2008.
- Ministério dos Transportes. *Resolução Nº 4.130*. 2013.
- Ministério dos Transportes. *Senatran*. 2024.
- Moraes, A. C. M. Avaliação da estrutura organizacional de organismos gestores da mobilidade urbana em face das disposições da política nacional (lei federal nº 12.587/2012). 2016.
- Munoz, J. C.; Paget-Seekins, L. *Restructuring public transport through Bus Rapid Transit: an international and interdisciplinary perspective*. [S.l.]: Policy Press, 2016.
- Novaes, A. G. *Sistemas de Transportes*. [S.l.: s.n.], 1986. v. 1.
- Ortúzar, J. de D.; Willumsen, L. G. *Modelling Transport*. 4. ed. [S.l.]: Wiley, 2011.
- Pires, A. C. M.; Pires, L. R. G. M. *Mobilidade Urbana: desafios e sustentabilidade*. [S.l.]: Ponto e linha, 2016.
- PLAMUS. *Produto 0 - Plano de trabalho detalhado*. [S.l.], 2014.
- PLAMUS. *Produto 19 - Relatório Final - Consolidação das Propostas e Plano de Implementação - Volume II – Modelo Matemático e Análise de Cenários*. [S.l.], 2014.
- PLAMUS. *Produto 2 - Entendimento do Zoneamento e Infraestrutura Urbana*. [S.l.], 2014.
- PLAMUS. *Produto 3.1 - Preparação do Modelo de Simulação: Codificação da Oferta de Transporte*. [S.l.], 2014.
- PLAMUS. *Produto 8.3 - Resultado das Pesquisas de Campo Período Normal: Contagens e FOV*. [S.l.], 2014.
- PLAMUS. *Produto 9.2 - Diagnóstico da Oferta e Demanda de Transporte sem Prognóstico*. [S.l.], 2014.
- Portugal, L. da S. *Transporte, Mobilidade e Desenvolvimento Urbano*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- Raia Junior, A. A. *Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas*. Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.
- Schreiner, T. et al. O processo de integração do transporte coletivo em regiões metropolitanas: o caso da grande Florianópolis. In: *33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*. [S.l.: s.n.], 2019.
- Silva, T. *Análise da escolha modal binomial com base no modelo logit*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2010.
- Toni, J. D. Planejamento e transportes: possibilidades metodológicas alternativas. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*, 2002.
- TRB. *Highway Capacity Manual*. Washington, DC, USA, 2010.
- Vasconcellos, E. A. *Mobilidade Urbana: o que você precisa saber*. [S.l.], 2013.
- Volvo. *Bus Rapid Transit - Mass mobility for prospering cities*. 2021.



## A *Script* para atribuir velocidade aos *links* de rodovias

```
1 CASE
2   WHEN "highway" = 'motorway' THEN 100
3   WHEN "highway" = 'motorway_link' THEN 80
4   WHEN "highway" = 'trunk' THEN 80
5   WHEN "highway" = 'trunk_link' THEN 50
6   WHEN "highway" = 'primary' THEN 80
7   WHEN "highway" = 'primary_link' THEN 60
8   WHEN "highway" = 'secondary' THEN 60
9   WHEN "highway" = 'secondary_link' THEN 50
10  WHEN "highway" = 'tertiary' THEN 50
11  WHEN "highway" = 'tertiary_link' THEN 40
12  WHEN "highway" = 'residential' THEN 40
13  WHEN "highway" = 'living_street' THEN 30
14  WHEN "highway" = 'ferry' THEN 5
15  WHEN "highway" = 'unclassified' THEN 50
16  ELSE 40
17 END
```

## B Script para atribuir capacidade aos *links* de rodovias

```
1 CASE
2   WHEN "highway" = 'motorway' AND "lanes" = '1' THEN 1500
3   WHEN "highway" = 'motorway' AND "lanes" = '2' THEN 3000
4   WHEN "highway" = 'motorway' AND "lanes" = '3' THEN 4500
5   WHEN "highway" = 'motorway' AND "lanes" = '4' THEN 6000
6   WHEN "highway" = 'motorway_link' AND "lanes" = '1' THEN 1200
7   WHEN "highway" = 'motorway_link' AND "lanes" = '2' THEN 2400
8   WHEN "highway" = 'trunk' AND "lanes" = '1' THEN 1500
9   WHEN "highway" = 'trunk' AND "lanes" = '2' THEN 3000
10  WHEN "highway" = 'trunk' AND "lanes" = '3' THEN 4500
11  WHEN "highway" = 'trunk_link' AND "lanes" = '1' THEN 1100
12  WHEN "highway" = 'trunk_link' AND "lanes" = '2' THEN 1200
13  WHEN "highway" = 'primary' AND "lanes" = '1' THEN 1300
14  WHEN "highway" = 'primary' AND "lanes" = '2' THEN 2600
15  WHEN "highway" = 'primary' AND "lanes" = '3' THEN 3900
16  WHEN "highway" = 'primary_link' AND "lanes" = '1' THEN 1000
17  WHEN "highway" = 'primary_link' AND "lanes" = '2' THEN 2000
18  WHEN "highway" = 'secondary' AND "lanes" = '1' THEN 1000
19  WHEN "highway" = 'secondary' AND "lanes" = '2' THEN 2000
20  WHEN "highway" = 'secondary_link' AND "lanes" = '1' THEN 1000
21  WHEN "highway" = 'secondary_link' AND "lanes" = '2' THEN 2000
22  WHEN "highway" = 'tertiary' AND "lanes" = '1' THEN 800
23  WHEN "highway" = 'tertiary' AND "lanes" = '2' THEN 1600
24  WHEN "highway" = 'tertiary_link' AND "lanes" = '1' THEN 800
25  WHEN "highway" = 'tertiary_link' AND "lanes" = '2' THEN 1600
26  WHEN "highway" = 'residential' AND "lanes" = '1' THEN 400
27  WHEN "highway" = 'residential' AND "lanes" = '2' THEN 800
28  WHEN "highway" = 'living_street' AND "lanes" = '1' THEN 200
29  WHEN "highway" = 'living_street' AND "lanes" = '2' THEN 400
30  WHEN "highway" = 'ferry' AND "lanes" = '1' THEN 100
31  WHEN "highway" = 'ferry' AND "lanes" = '2' THEN 200
32  WHEN "highway" = 'unclassified' AND "lanes" = '1' THEN 800
33  WHEN "highway" = 'unclassified' AND "lanes" = '2' THEN 1600
34  ELSE 800
35 END
```

## C Script para a elaboração dos dados de itinerários de transporte público

```
1 -- inserindo os shapes
2 -- shp2pgsql -s 32722 -S /Users/alexandre/Library/CloudStorage/Dropbox/Alexandre/ECV_UFSC/1
   _Ensino/Orientacoes/TCC/atuais/Marcele/experimento/transporte_publico/Rede/rede.shp |
   psql -U alexandre -h 150.162.75.87 marcele
3 -- shp2pgsql -s 32722 -S /Users/alexandre/Library/CloudStorage/Dropbox/Alexandre/ECV_UFSC/1
   _Ensino/Orientacoes/TCC/atuais/Marcele/experimento/transporte_publico/Pontos_onibus/
   pontos_onibus.shp | psql -U alexandre -h 150.162.75.87 marcele
4 -- shp2pgsql -s 32722 -S /Users/alexandre/Library/CloudStorage/Dropbox/Alexandre/ECV_UFSC/1
   _Ensino/Orientacoes/TCC/atuais/Marcele/experimento/transporte_publico/Rota/rota_onibus.
   shp | psql -U alexandre -h 150.162.75.87 marcele
5
6 -- criando indices
7 CREATE INDEX idx_pontos_onibus_geom ON pontos_onibus USING GIST (geom);
8 CREATE INDEX idx_rota_onibus_geom ON rota_onibus USING GIST (geom);
9 CREATE INDEX idx_pontos_onibus_gid ON pontos_onibus (gid);
10 CREATE INDEX idx_rota_onibus_gid ON rota_onibus (gid);
11
12 -- criando camada de pontos ajustada
13 CREATE TABLE pontos_trplan AS
14 SELECT DISTINCT ON (p.gid)
15     p.gid AS ponto_id,
16     l.gid AS linha_id,
17     CASE
18         WHEN ST_Distance(p.geom, ST_StartPoint(l.geom)) <= ST_Distance(p.geom, ST_EndPoint(l.
19             geom))
20         THEN ST_StartPoint(l.geom)
21         ELSE ST_EndPoint(l.geom)
22     END AS geom_ajustada
23 FROM
24     pontos_onibus p
25 CROSS JOIN
26     rede l
27 ORDER BY
28     p.gid, ST_Distance(p.geom, l.geom);
29
30
31 -- para visualização dos buffers somente
32 DROP TABLE rota_onibus_buffers;
33 CREATE TABLE rota_onibus_buffers AS
34 SELECT
35     r.gid AS rota_id,
36     ST_Buffer(
37 CASE
38     WHEN ST_IsClosed(r.geom) THEN ST_RemovePoint(r.geom, ST_NPoints(r.geom) - 1)
39     ELSE r.geom
40 END,
41     10, 'side=right') AS geom
42 FROM
43     rota_onibus r;
44
```

```
45
46
47 -- gera o resultado correto diretamente para exportação
48 SELECT r.gid AS rota_id, array_to_string(array_agg(p.gid ORDER BY ST_LineLocatePoint(r.geom,
    p.geom)), ',') AS ponto_ids
49 FROM rota_onibus r
50 JOIN pontos_onibus p ON ST_Within(p.geom, ST_Buffer(
51 CASE
52     WHEN ST_IsClosed(r.geom) THEN ST_RemovePoint(r.geom, ST_NPoints(r.geom) - 1)
53     ELSE r.geom
54 END,
55 10, 'side=right'))
56 GROUP BY r.gid
57 ORDER BY r.gid;
```

## D *Script* para aplicar redução de capacidade na rede de transporte privado

```
1 import psycopg2
2
3 def do(sql):
4     print(sql)
5     cur.execute(sql)
6
7 connection = psycopg2.connect(user="marcele", password="xxxx", host="localhost", port="5432",
8     database="trplan")
9 with connection:
10     cur = connection.cursor()
11
12     cur.execute("DROP TABLE IF EXISTS rede_cap_reduzida")
13     cur.execute("CREATE TABLE rede_cap_reduzida AS SELECT * FROM rede")
14
15     cur.execute("SELECT id FROM brt")
16     brt_ids = [id[0] for id in cur.fetchall()]
17     for brt_id in brt_ids:
18         cur.execute("SELECT id, oneway, lanes, capacidade FROM rede WHERE ST_Covers(geom, (
19             SELECT geom FROM brt WHERE id=%d))" % brt_id)
20         rede_data = cur.fetchall()
21         for item in rede_data:
22             if item[1] == "yes" and item[2] > 1:
23                 do("UPDATE rede_cap_reduzida SET capacidade = capacidade * (lanes - 1) /
24                     lanes WHERE id=%d" % item[0])
25                 do("UPDATE rede_cap_reduzida SET lanes = lanes - 1 WHERE id=%d" % item[0])
26             if item[1] == "no" and item[2] > 2:
27                 do("UPDATE rede_cap_reduzida SET capacidade = capacidade * (lanes - 1) /
28                     lanes WHERE id=%d" % item[0])
29                 do("UPDATE rede_cap_reduzida SET lanes = lanes - 1 WHERE id=%d" % item[0])
```