

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

MARCELO MONARI

**Nível de estresse de ciclistas e geoprocessamento de dados abertos
combinados para a definição de redes cicloviárias em cidades de pequeno
porte**

SÃO CARLOS

2022

MARCELO MONARI

**Nível de estresse de ciclistas e geoprocessamento de dados abertos
combinados para a definição de redes cicloviárias em cidades de pequeno
porte**

VERSÃO CORRIGIDA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Infraestrutura de Transportes - Geomática

Orientador: Prof. Associado Paulo C. L. Segantine

SÃO CARLOS

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

M734n Monari, Marcelo
 Nível de estresse de ciclistas e geoprocessamento
de dados abertos combinados para a definição de redes
ciclovias em cidades de pequeno porte / Marcelo
Monari; orientador Paulo Cesar Lima Segantine. São
Carlos, 2022.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Área de Concentração em
Infraestrutura de Transportes -- Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2022.

1. Bicicleta. 2. Nível de estresse. 3. Cidade
pequena. 4. TOPODATA. 5. Rede ciclovias. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MARCELO MONARI**.

Título da tese: "Nível de estresse de ciclistas e geoprocessamento de dados abertos combinados para a definição de redes cicloviárias em cidades de pequeno porte".

Data da defesa: 01/08/2022.

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **Fernando Hideki Hirose**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Prof. Associado **Douglas Barreto**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Prof. Dr. **Diogenes Cortijo Costa**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Profa. Associada **Maria Teresa Françaoso**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes:

Profa. Associada **Ana Paula Camargo Larocca**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araújo Romero**

*Dedico este trabalho aos meus pais
e a todos os meus amigos.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Márcio e Márcia, por todo carinho, incentivo e sacrifícios durante essa longa jornada. Graças a eles, em toda a minha vida, eu só conheci amor e, assim sendo, me sinto eternamente obrigado a devolver esse sentimento em tudo que faço.

Ao Prof. Paulo C. L. Segantine pela brilhante orientação e pela amizade durante todo o meu mestrado e doutorado, além dos inúmeros outros projetos que desenvolvemos juntos. Minhas conquistas profissionais, até o momento, só foram possíveis graças à sua ajuda, pela qual serei eternamente grato.

À Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) e a todos os professores, funcionários e colegas do Departamento de Engenharia de Transportes (STT). Gostaria de agradecer principalmente ao Prof. Irineu da Silva, uma das pessoas mais inteligentes que já conheci, e ao Prof. Antônio N. R. da Silva, cuja didática em sala de aula e a capacidade no ambiente de pesquisa são exemplares. Agradeço também ao Prof. José Leomar Fernandes Júnior, que sempre foi muito gentil e solícito em me ajudar durante toda esta jornada acadêmica, inclusive me orientando no Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, cujo tema de pesquisa “abriu as portas” para os trabalhos subsequentes (dissertação de mestrado e tese de doutorado).

Aos meus amigos, que, caso eu optasse por citar nominalmente, tornariam esta seção de agradecimentos maior que a própria tese. Vocês são a parte mais importante da minha vida e nada disso faria sentido sem que estivessem ao meu lado.

Ao Prof. Creso de Franco Peixoto, cujo conhecimento na área de Engenharia de Transportes e o dom de ensinar, pela falta de uma expressão melhor, são invejáveis. Agradeço por tudo que aprendi.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

RESUMO

MONARI, M. **Nível de estresse de ciclistas e geoprocessamento de dados abertos combinados para a definição de redes cicloviárias em cidades de pequeno porte.** 2022. 195 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

O sistema de mobilidade que privilegia os transportes motorizados tem contribuído com o enfraquecimento da “cultura da bicicleta” nas cidades brasileiras de pequeno porte. Embora a Lei nº 12.587/2012 estabeleça que todos os municípios brasileiros com população superior a 20 mil habitantes ou de interesse turístico elaborem Planos de Mobilidade Urbana, nem todos estes municípios dispõem de subsídios técnicos ou orçamentos irrestritos para tal. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um método para definição de redes cicloviárias de baixo estresse em cidades brasileiras de pequeno porte, utilizando softwares livres e dados abertos. Estudos de caso foram conduzidos em três cidades do Estado de São Paulo para efeito de validação do método: Bocaina, Bariri e Ibitinga. Para o mapeamento da acessibilidade de ciclistas e da centralidade dos segmentos viários, a abordagem foi incrementalmente desenvolvida em três fases, permitindo avaliar os impactos da incorporação gradual de variáveis de estresse: i) sem considerar variáveis de estresse, ii) considerando a classificação *Level of Traffic Stress* (LTS) original e iii) incorporando variáveis adicionais de estresse (existência de obstáculos na via e presença de rotatórias) para se estabelecer uma nova classificação (*Improved Level of Traffic Stress*, ou ILTS). O teste de Wilcoxon para amostras pareadas sugere diferenças entre as acessibilidades homólogas mensuradas tanto nas duas primeiras quanto nas duas últimas fases da abordagem proposta. Com relação às amostras de centralidade, no entanto, o teste estatístico sugere diferenças apenas entre aquelas mensuradas nas duas primeiras fases, sendo as centralidades LTS e ILTS semelhantes entre si, a despeito do local de estudo. Assim, procedeu-se com a definição de redes cicloviárias com base apenas em critérios que incorporam o nível de estresse de ciclistas. Para as cidades de Bocaina-SP e Bariri-SP, respectivamente, 7 e 14 eixos cicláveis foram definidos com base nas centralidades LTS de segmentos viários. Já para a cidade de Ibitinga-SP, 24 eixos cicláveis foram definidos com base nas centralidades ILTS. Intervenções prioritárias foram elencadas, em cada sistema viário, visando-se garantir baixos níveis de estresse (LTS ou ILTS limitados a 2) ao longo de toda a rede, e os benefícios latentes à acessibilidade de ciclistas foram mensurados simulando-se tais intervenções.

Palavras-chave: Bicicleta; Nível de estresse; Cidade pequena; TOPODATA; Rede cicloviária.

ABSTRACT

MONARI, M. **Bicycle level of traffic stress and open data geoprocessing combined for the definition of cycling networks in small-sized cities**. 2022. 195 p. Doctoral Thesis (Transportation Engineering). São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2022.

The mobility system that favors motorized transport has contributed to the weakening of the “bicycle culture” in small-sized Brazilian cities. Although Law No. 12,587/2012 establishes that all Brazilian municipalities with a population of more than 20 thousand inhabitants or of tourist interest must devise Urban Mobility Plans, not all of these municipalities have technical subsidies or unrestricted budgets to do so. In this context, the objective of this research is to develop a method for defining low-stress cycling networks in small-sized Brazilian cities, using free software and open data. For the purpose of validating the method, case studies were carried out in three cities located in inland São Paulo state (Brazil): Bocaina, Bariri and Ibitinga. To map the accessibility of cyclists and the centrality of road segments, the approach was incrementally developed in three phases, allowing to assess the impacts of the gradual incorporation of stress variables: i) without considering stress variables, ii) considering the original Level of Traffic Stress (LTS) classification and iii) incorporating additional stress variables (existence of obstacles along the road and presence of roundabouts) to establish a new classification (Improved Level of Traffic Stress, or ILTS). The Wilcoxon test for paired samples suggests differences between the homologous accessibilities measured in both the first two and the last two phases of the proposed approach. With regard to centrality samples, however, the statistical test suggests differences only between those measured in the first two phases, with LTS and ILTS centralities being similar to each other, regardless of the study location. Thus, cycling networks were defined based only on criteria that incorporate the level of stress of cyclists. For the cities of Bocaina-SP and Bariri-SP, respectively, 7 and 14 bikeways were defined based on the LTS centralities of road segments. As for the city of Ibitinga-SP, 24 bikeways were defined based on the ILTS centralities of road segments. Priority improvements were listed for each road system to ensure low levels of traffic stress (LTS or ILTS limited to 2) across the network, and the latent benefits to cyclists' accessibility were measured by simulating such improvements.

Keywords: Bicycle; Level of Traffic Stress; Small-sized city; TOPODATA; Cycling network.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Autoridades em transportes nos municípios brasileiros por faixa de população (2017).	34
Tabela 3.1: Fatores de ponderação (h_{ks}) para cada combinação entre idade (k) e renda (s). ..	64
Tabela 3.2: Sistema de pontuação para PGVs por bicicleta.	67
Tabela 3.3: Velocidades adotadas para ciclistas sob a influência de diferentes rampas.	76
Tabela 3.4: Classificação LTS original para situações de tráfego misto.	78
Tabela 3.5: Classificação LTS atualizada de 2017 para ciclofaixas.	78
Tabela 3.6: Fatores de equivalência entre as diferentes classificações LTS (ou ILTS).	83
Tabela 4.1: Distribuição das rotas cicláveis (%) entre diferentes intervalos de tempo ou de extensão.	103
Tabela 4.2: Estatísticas descritivas da comparação entre rotas cicláveis homólogas.	104
Tabela 4.3: Estatísticas descritivas das diferenças entre acessibilidades homólogas.	109
Tabela 4.4: Estatísticas descritivas das diferenças entre centralidades homólogas (em termos percentuais).	120
Tabela B.1: Acessibilidade geral de diferentes grupos populacionais aos PGVs por bicicleta.	185

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Variáveis previsoras dos modelos de nível de serviço/estresse relacionados ao ciclismo.....	42
Quadro 2.2: Vantagens e desvantagens de cada modelo de nível de serviço/estresse relacionado ao ciclismo.....	43
Quadro 2.3: Exemplos de sinalização vertical cicloviária.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribuição percentual das viagens em território nacional por faixa de população dos municípios (2017).	31
Figura 1.2: Gestão do transporte nos municípios brasileiros por faixa de população (2017). ..	33
Figura 2.1: Exemplo de diagrama para definição de infraestrutura cicloviária.....	39
Figura 3.1: Método para o mapeamento da acessibilidade de ciclistas e das centralidades dos segmentos viários em cidades de pequeno porte.	60
Figura 3.2: Mapa de localização das cidades estudadas.	61
Figura 3.3: População total por setor censitário das cidades de estudo.....	63
Figura 3.4: PGVs por bicicleta nas cidades de estudo.....	66
Figura 3.5: Passeios compartilhados por ciclistas e pedestres em Bariri-SP.....	70
Figura 3.6: Ciclofaixas em Bariri-SP.	70
Figura 3.7: Sistema viário de Bocaina-SP.	71
Figura 3.8: Sistema viário e UUMs de Bariri-SP.	71
Figura 3.9: Sistemas viários atual e projetado para Ibitinga-SP.....	72
Figura 3.10: Canteiro central do atual anel viário de Ibitinga-SP.	73
Figura 3.11: MDE TOPODATA para as cidades de estudo.....	74
Figura 3.12: Comprimentos em aclive desejáveis e aceitáveis à maioria dos ciclistas.	77
Figura 3.13: Levantamento das variáveis previsoras do nível de estresse de ciclistas em Bocaina-SP.	80
Figura 3.14: Levantamento das variáveis previsoras do nível de estresse de ciclistas em Bariri-SP.....	81
Figura 3.15: Levantamento das variáveis previsoras do nível de estresse de ciclistas em Ibitinga-SP.....	81
Figura 3.16: Trajetos e pontos de parada de ônibus nas cidades de estudo.....	82
Figura 3.17: Seleção do critério e parâmetros de aceitação da proposta de rede cicloviária. ..	94
Figura 4.1: Importância relativa das unidades de análise no tocante às origens das viagens por bicicleta.....	98
Figura 4.2: Importância relativa das unidades de análise no tocante aos destinos das viagens por bicicleta.....	99
Figura 4.3: Classificações LTS e ILTS dos segmentos viários das cidades de estudo.....	100
Figura 4.4: Acessibilidade de ciclistas em Bocaina-SP.....	106
Figura 4.5: Acessibilidade de ciclistas em Bariri-SP.	107

Figura 4.6: Acessibilidade de ciclistas em Ibitinga-SP.....	108
Figura 4.7: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Bocaina-SP.	112
Figura 4.8: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Bariri-SP.	113
Figura 4.9: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Ibitinga-SP.	115
Figura 4.10: Centralidades de segmentos viários em Bocaina-SP.....	117
Figura 4.11: Centralidades de segmentos viários em Bariri-SP.....	118
Figura 4.12: Centralidades de segmentos viários em Ibitinga-SP.	119
Figura 4.13: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Bocaina-SP.	122
Figura 4.14: Segmentos viários agrupados como <i>Low-Low</i> devido à presença de rotatórias em Bocaina-SP.....	123
Figura 4.15: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Bariri-SP.	125
Figura 4.16: Segmentos viários agrupados como <i>Low-Low</i> devido à presença de rotatórias em Bariri-SP.....	126
Figura 4.17: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Ibitinga-SP.	127
Figura 4.18: Segmento viário de Ibitinga-SP agrupado como <i>Low-Low</i> devido à grande declividade.	128
Figura 5.1: Proposta de rede cicloviária em Bocaina-SP.....	132
Figura 5.2: Rodovia Prof. Benedito Montenegro em Bocaina-SP.....	133
Figura 5.3: Potenciais benefícios das intervenções propostas à acessibilidade de ciclistas em Bocaina-SP.....	134
Figura 5.4: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Bocaina-SP.	135
Figura 5.5: Proposta de rede cicloviária em Bariri-SP.....	136
Figura 5.6: Estrada Perimetral Pref. Domingos Antônio Fortunato em Bariri-SP.	138
Figura 5.7: Av. Vice-Pref. Sérgio Forcin em Bariri-SP.....	139
Figura 5.8: Rodovia SP-261 em Bariri-SP.....	140
Figura 5.9: Interseção entre a rede cicloviária proposta e as UUMs em Bariri-SP.	141

Figura 5.10: Potenciais benefícios das intervenções propostas à acessibilidade de ciclistas em Bariri-SP.	142
Figura 5.11: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Bariri-SP.	142
Figura 5.12: Proposta de rede cicloviária em Ibitinga-SP.	144
Figura 5.13: Informações complementares da rede cicloviária proposta para Ibitinga-SP.	145
Figura 5.14: Av. Sete de Setembro em Ibitinga-SP.	146
Figura 5.15: Ponto de ônibus da Av. Dom Pedro II em Ibitinga-SP.	147
Figura 5.16: <i>Centerline</i> na Av. Dom Pedro II em Ibitinga-SP.	148
Figura 5.17: Passeio compartilhado adjacente à Av. Dom Pedro II em Ibitinga-SP.	148
Figura 5.18: Condições atuais da Rua Dois e da Av. Luís Francischini em Ibitinga-SP.	149
Figura 5.19: Condição atual da Estrada Municipal IBG-654 em Ibitinga-SP.	150
Figura 5.20: Potenciais benefícios das intervenções propostas à acessibilidade de ciclistas em Ibitinga-SP.	151
Figura 5.21: Mapas de <i>clusters</i> e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Ibitinga-SP.	151
Figura A.1: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ em Bocaina-SP.	179
Figura A.2: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ em Bariri-SP.	179
Figura A.3: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ em Ibitinga-SP.	180
Figura A.4: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_{LTS}})$ em Bocaina-SP.	180
Figura A.5: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_{LTS}})$ em Bariri-SP.	181
Figura A.6: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_{LTS}})$ em Ibitinga-SP.	181
Figura C.1: Associação espacial entre $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ e as altitudes médias TOPODATA em Bocaina-SP.	189
Figura C.2: Associação espacial entre $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ e as altitudes médias TOPODATA em Bariri-SP.	189
Figura C.3: Associação espacial entre $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ e as altitudes médias TOPODATA em Ibitinga-SP.	190
Figura D.1: Histograma para $(Centralidade_{2e,LTS} - Centralidade_{1e})$ em Bocaina-SP.	193
Figura D.2: Histograma para $(Centralidade_{2e,LTS} - Centralidade_{1e})$ em Bariri-SP.	193
Figura D.3: Histograma para $(Centralidade_{2e,LTS} - Centralidade_{1e})$ em Ibitinga-SP.	194

Figura D.4: Histograma para $(Centralidade_{2e,ILTS} - Centralidade_{2e,LTS})$ em Bocaina-SP.
..... 194

Figura D.5: Histograma para $(Centralidade_{2e,ILTS} - Centralidade_{2e,LTS})$ em Bariri-SP.. 195

Figura D.6: Histograma para $(Centralidade_{2e,ILTS} - Centralidade_{2e,LTS})$ em Ibitinga-SP.
..... 195

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A: Acessibilidade

AASHTO: *American Association of State Highway Transportation Officials*

ABRACICLO: Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares

AC: Acre

ALIANÇA BIKE: Associação Brasileira do Setor de Bicicletas

ALTS: *Additional Level of Traffic Stress*

ANP: *Analytic Network Process*

ANTP: Associação Nacional de Transportes Públicos

AUSTROADS: *Australian and New Zealand transport agencies*

BCI: *Bicycle Compatibility Index*

BLOS: *Bicycle Level of Service*

BSIR: *Bicycle Safety Index Rating*

BSL: *Bicycle Stress Level*

C: “Custo generalizado” ou impedância

CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CET-SP: Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo

CICLOCIDADE: Associação dos Ciclistas Urbanos de São Paulo

CNM: Confederação Nacional de Municípios

CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONTRAN: Conselho Nacional de Trânsito

COVID-19: *Corona Virus Disease (SARS-CoV-2)*

CTB: Código de Trânsito Brasileiro

DF: Distrito Federal

DSG: Diretoria de Serviço Geográfico

EESC: Escola de Engenharia de São Carlos

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA: Estados Unidos da América

FHWA: *Federal Highway Administration*

GEIPOT: Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes

GO: Goiás

HCM: *Highway Capacity Manual*

I: Índice de Moran Global

IBG: Ibitinga-SP

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ID: Campo de identificação

IHS: *Interaction Hazard Score*

ILTS: *Improved Level of Traffic Stress*

INFOSIGA-SP: Sistema de Informações Gerenciais de Acidentes de Trânsito do Estado de São Paulo

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPI: Imposto sobre Produtos Industrializados

KML: *Keyhole Markup Language*

L: Comprimento (*Length*)

LABMOB/UFRJ: Laboratório de Mobilidade Urbana Sustentável da Universidade Federal do Rio de Janeiro

LISA: *Local Indicator of Spatial Association*

LTS: *Level of Traffic Stress*

MDE: Modelo Digital de Elevação

MG: Minas Gerais

MT: Mato Grosso

NASA: *National Aeronautics and Space Administration*

OMS: Organização Mundial da Saúde

OSM: *OpenStreetMap*

PA: Pará

PAC: Programa de Aceleração do Crescimento

PE: Pernambuco

PEC-PCD: Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais

PGT: Polo Gerador de Tráfego

PGV: Polo Gerador de Viagens

PNMU: Política Nacional de Mobilidade Urbana

PR: Paraná

QGIS: QuantumGIS

RCI: *Roadway Condition Index*

RJ: Rio de Janeiro

SC: Santa Catarina

SEMOB: Secretaria Nacional de Mobilidade e Serviços Urbanos

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SIG-T: Sistema de Informação Geográfica para Transportes

SIMOB: Sistema de Informações da Mobilidade Urbana

SIRGAS2000: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (2000)

SM: Salário mínimo

SNT: Sistema Nacional de Trânsito

SP: São Paulo

SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*

STT: Departamento de Engenharia de Transportes da EESC/USP

t: Tempo de viagem

TMS: Taxa Marginal de Substituição

TO: Tocantins

TOPODATA: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil

TRB: *Transportation Research Board*

UF: Unidade da Federação

USP: Universidade de São Paulo

UUM: Unidade Urbanística Mínima

V: Velocidade

V85: Percentil 85 da distribuição de velocidades

VDM: Volume Diário Médio

VLT: Veículo Leve sobre Trilhos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 OBJETIVOS	31
1.2 JUSTIFICATIVA	32
1.3 ESTRUTURA DA TESE	36
2 REFERENCIAL TEÓRICO	37
2.1 FATORES DE INFLUÊNCIA NO USO DA BICICLETA.....	37
2.2 QUALIDADE OPERACIONAL DAS VIAS AO CICLISMO	41
2.2.1 Modelos de nível de serviço para bicicletas.....	44
2.2.2 Modelos de nível de estresse de ciclistas	45
2.3 ROTAS CICLÁVEIS	47
2.4 ACESSIBILIDADE DE CICLISTAS	48
2.5 REDES CICLOVIÁRIAS	53
3 MATERIAIS E MÉTODO	59
3.1 LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES ESTUDADAS.....	61
3.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG).....	62
3.3 UNIDADES DE ANÁLISE	62
3.3.1 Demanda potencial por ciclismo	62
3.3.1.1 Importância relativa das origens das viagens por bicicleta	65
3.3.2 Georreferenciamento dos PGVs por bicicleta.....	65
3.3.2.1 Importância relativa dos destinos das viagens por bicicleta.....	68
3.4 CONEXÃO ENTRE ORIGENS E DESTINOS.....	69
3.4.1 Hierarquia viária	70
3.5 DADOS ALTIMÉTRICOS	73
3.5.1 Declividade média de segmentos viários.....	75
3.5.2 Velocidade de ciclistas (V).....	75
3.5.3 Fator de declividade (f_{dec})	76
3.6 NÍVEL DE ESTRESSE DE CICLISTAS: CLASSIFICAÇÕES LTS E ILTS	78

3.6.1 Fator de equivalência (f_{eq})	82
3.6.2 Comprimento de “penalização” para interseções (L_{pen})	83
3.7 ATRIBUIÇÃO DE IMPEDÂNCIAS	84
3.8 IDENTIFICAÇÃO DE ROTAS CICLÁVEIS	85
3.9 QUANTIFICAÇÃO DA ACESSIBILIDADE DE CICLISTAS.....	85
3.9.1 Funções de decaimento da acessibilidade	86
3.9.2 Equidade de acesso aos PGVs por bicicleta	87
3.10 CENTRALIDADE DOS SEGMENTOS VIÁRIOS.....	88
3.11 COMPARAÇÃO ENTRE ROTAS E ÍNDICES HOMÓLOGOS.....	89
3.11.1 Índices de Moran Global e Local	91
3.12 PROPOSTA DE REDE CICLOVIÁRIA	93
3.12.1 Avaliação dos benefícios das intervenções no sistema viário	96
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.1 IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS UNIDADES DE ANÁLISE	97
4.2 CLASSIFICAÇÕES LTS E ILTS NAS CIDADES DE ESTUDO	99
4.3 ROTAS CICLÁVEIS NAS CIDADES DE ESTUDO	102
4.4 ACESSIBILIDADE DE CICLISTAS NAS CIDADES DE ESTUDO.....	105
4.4.1 Equidade de acesso aos PGVs por bicicleta nas cidades de estudo	110
4.4.2 Autocorrelação espacial das diferenças entre acessibilidades homólogas	111
4.4.2.1 Resultados para Bocaina-SP	111
4.4.2.2 Resultados para Bariri-SP	113
4.4.2.3 Resultados para Ibitinga-SP	114
4.4.2.4 Análises bivariadas	115
4.5 CENTRALIDADES DOS SEGMENTOS VIÁRIOS DAS CIDADES DE ESTUDO... 116	
4.5.1 Autocorrelação espacial das diferenças entre centralidades homólogas	121
4.5.1.1 Resultados para Bocaina-SP	121
4.5.1.2 Resultados para Bariri-SP	124

4.5.1.3 Resultados para Ibitinga-SP.....	126
5 PROPOSTAS DE REDES CICLOVIÁRIAS	131
5.1 REDE CICLOVIÁRIA EM BOCAINA-SP	132
5.1.1 Avaliação dos benefícios à acessibilidade de ciclistas de Bocaina-SP	134
5.2 REDE CICLOVIÁRIA EM BARIRI-SP	135
5.2.1 Avaliação dos benefícios à acessibilidade de ciclistas de Bariri-SP	141
5.3 REDE CICLOVIÁRIA EM IBITINGA-SP	143
5.3.1 Avaliação dos benefícios à acessibilidade de ciclistas de Ibitinga-SP	150
6 CONCLUSÕES.....	153
6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	157
REFERÊNCIAS	159
APÊNDICE A	177
APÊNDICE B.....	183
APÊNDICE C	187
APÊNDICE D	191

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021), 93% das 1,3 milhão de mortes anuais decorrentes de acidentes de trânsito ocorrem em países em desenvolvimento. No Brasil, em particular, segundo dados do Relatório Global do Status da Segurança Viária (OMS, 2018), foram registradas, em 2016, mais de 41 mil mortes no trânsito (19,7 mortes a cada 100 mil habitantes), sendo aproximadamente 21% de adeptos do transporte não motorizado (18% de pedestres e 3% de ciclistas).

A promoção da mobilidade urbana sustentável, neste contexto, é um dos maiores desafios enfrentados por arquitetos, engenheiros e demais profissionais do planejamento urbano, sobretudo, de países emergentes. Garantir deslocamentos cotidianos de forma segura, rápida, barata, com reduzido impacto ambiental e que traga benefícios à saúde da população é um processo que se depara com diversos obstáculos, sejam eles de cunho político, técnico ou cultural (MIRANDA *et al.*, 2017).

O transporte ativo, majoritariamente representado pelos modos cicloviário e a pé, apresenta-se como uma alternativa viável ao já comprometido sistema nacional de mobilidade, que privilegia os transportes motorizados (BOARETO, 2008; LITMAN, 2015). Especificamente com relação ao ciclismo, no entanto, a adesão de novos usuários requer alguns estímulos. Estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2017) sugerem que apesar de grande parte da frota nacional de bicicletas (que segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2020), hoje, é de aproximadamente 70 milhões de veículos) não circular, sendo apenas 7% das viagens em território brasileiro realizadas por bicicleta, esta porcentagem poderia ser elevada a 40% caso fossem adotadas políticas cicloviárias em âmbito nacional.

O histórico do transporte cicloviário no Brasil, contudo, indica que grande parte do interesse por políticas públicas voltadas ao uso da bicicleta são consequentes ou estão associadas a períodos de restrição do uso de automóveis ou do transporte coletivo, como o “1º Choque do Petróleo”, na década de 1970 (AFFONSO; BADINI; GOUVEA, 2003). Episódios recentes, como as manifestações populares de 2013 (“Jornadas de Junho”) e a “Greve dos Caminhoneiros” de 2018, nesse sentido, têm instigado novas discussões sobre

o panorama da mobilidade urbana no contexto brasileiro (ANDRADE *et al.*, 2016; MONARI *et al.*, 2018; MONARI; SEGANTINE; SILVA, 2019).

Não diferentemente, a pandemia do novo Coronavírus (COVID-19), declarada oficialmente no início de 2020, também refletiu em um crescimento do ciclismo nacional devido à limitação da oferta de transporte público, fazendo com que muitos usuários do mesmo migrassem para o transporte cicloviário. De acordo com a Associação Brasileira do Setor de Bicicletas (ALIANÇA BIKE, 2021), a venda de bicicletas aumentou em 34,17% no primeiro semestre de 2021 em comparação com o mesmo período do ano anterior. Desta forma, reitera-se a necessidade da implementação de medidas capazes de fidelizar os novos adeptos, favorecendo o equilíbrio à matriz modal dos transportes no meio urbano.

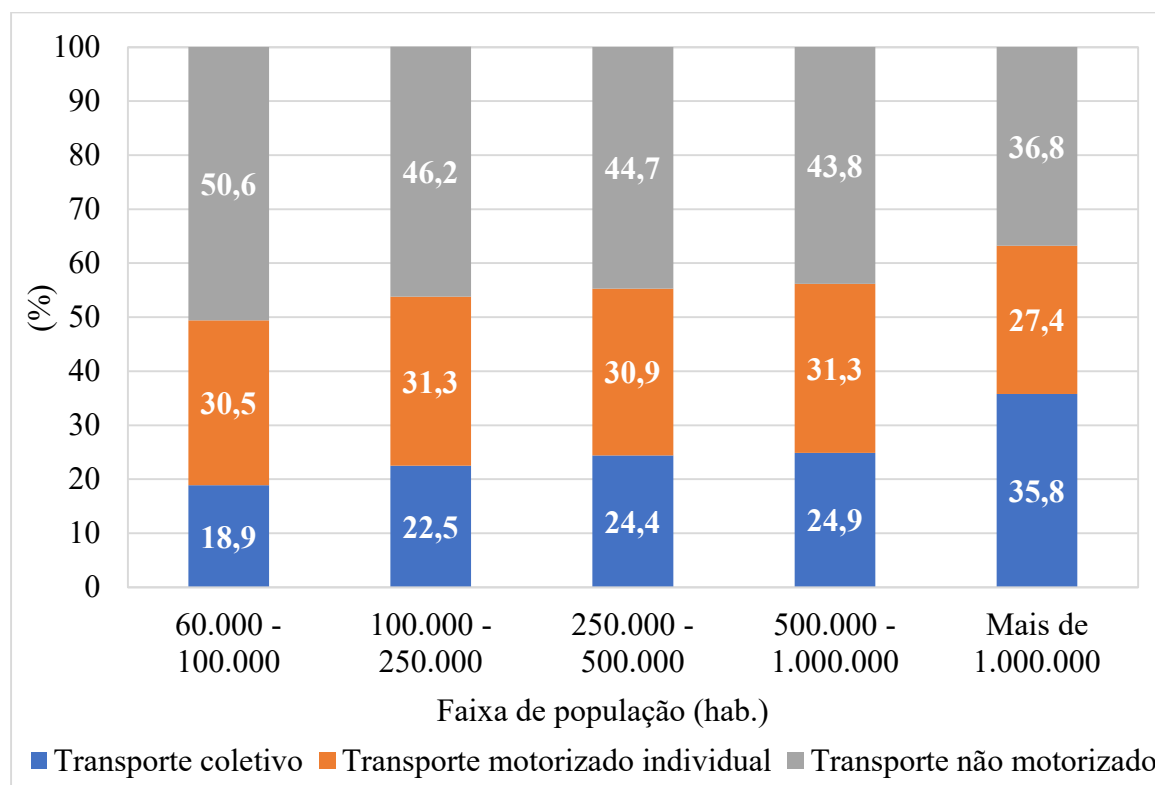
O uso da bicicleta é extremamente diverso entre países com características socioeconômicas distintas e, muitas vezes, em um único país, essas taxas de utilização diferem entre regiões ou mesmo entre municípios (RIETVELD; DANIEL, 2004). Autores como Aldred e Jungnickel (2014) argumentam que a adesão ao ciclismo, para além da existência de infraestruturas próprias, é estimulada por uma questão cultural e por ações que consolidem o transporte cicloviário em deslocamentos utilitários, como campanhas educacionais e treinamentos para ciclistas adultos, as quais demandam menores intervenções no ambiente construído e, conseqüentemente, menores custos monetários e capital político.

As cidades brasileiras de pequeno porte, que segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) possuem população menor que 100 mil habitantes, correspondem a aproximadamente 95% do total nacional. Nestes centros urbanos menores, caracterizados por sistemas viários ainda em expansão e configurações compactas que refletem em pequenas distâncias de viagens cotidianas, observa-se uma contribuição substancial dos deslocamentos a pé e por bicicleta à matriz modal dos transportes. Segundo resultados do relatório geral do Sistema de Informações da Mobilidade Urbana (SIMOB) da Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP, 2020), apresentados na Figura 1.1, o transporte ativo foi responsável por mais de 50% dos deslocamentos realizados em 2017 nas cidades com população entre 60 e 100 mil habitantes incluídas na pesquisa.

Em contrapartida, estudos recentes têm sugerido efeitos notórios da priorização do transporte motorizado também nas cidades brasileiras de pequeno porte. O crescimento

enérgico da frota nacional de automóveis e motocicletas ao longo das últimas duas décadas, aliado aos estímulos econômicos e fiscais por parte do governo federal a partir de 2009, como a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), têm contribuído para o enfraquecimento da “cultura da bicicleta” sempre existente nestes menores municípios (IPEA, 2017; SOARES; GUTH, 2018).

Figura 1.1: Distribuição percentual das viagens em território nacional por faixa de população dos municípios (2017).



Fonte: ANTP (2020, p. 9).

Neste contexto, atenta-se para a necessidade de serem desenvolvidas diretrizes que auxiliem na elaboração de projetos, sobretudo cicloviários, e na alocação de recursos para a promoção da mobilidade urbana nas pequenas cidades brasileiras. Em outras palavras, é imprescindível que sejam providos subsídios técnicos às autoridades nacionais em transportes para que as mesmas prontifiquem-se a reverter o cenário de enfraquecimento da “cultura da bicicleta” sempre assimilada nos menores municípios nacionais.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um método para definição de redes cicloviárias de baixo estresse em cidades brasileiras de pequeno porte (cidades de até

100 mil habitantes), utilizando softwares livres e dados abertos. O objetivo secundário é aplicar o método em estudos de caso, para efeito de validação do mesmo, sendo para isto selecionadas três cidades de pequeno porte do interior paulista, isto é, Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP.

1.2 JUSTIFICATIVA

A Constituição Federal de 1988 prevê em seu Artigo 21, inciso XX, que compete à União "(...) *instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos*" (BRASIL, 1988). Com relação ao último tópico, no entanto, medidas explícitas só foram tomadas com a instituição da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU), via Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012 (BRASIL, 2012), informalmente conhecida como “Lei da Mobilidade Urbana” e que, entre outros objetivos, estabelece que todos os municípios brasileiros com mais de 20 mil habitantes ou de interesse turístico elaborem Planos de Mobilidade Urbana, além de instituir diretrizes para que os transportes coletivo e não motorizado tenham prioridade sobre o transporte motorizado individual.

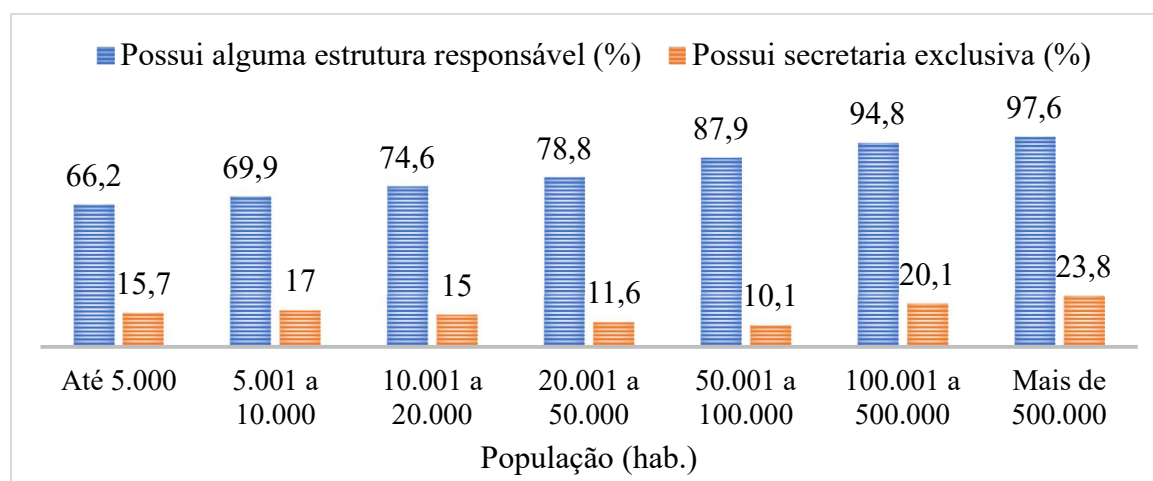
Na prática, contudo, a exigência legal é repleta de dubiedades, por exemplo, ao não destacar se tais documentos devem ou não ser apresentados na forma de lei municipal, além de nem todos os municípios brasileiros terem recebido a instrumentalização básica para o desenvolvimento destes planos: quando sancionada, a “Lei da Mobilidade Urbana” estipulava um prazo de três anos para que os municípios os elaborassem, que foi revogado, em 2016, para seis anos; em 2018, para sete; e, mais recentemente, em 2020, no que se refere aos municípios com até 250 mil habitantes, para onze (BRASIL, 2020; MORAIS; SANTOS, 2020). Atualmente, estima-se que apenas 14% dos municípios sujeitos à elaboração de Planos de Mobilidade Urbana os tenham produzido por completo (SEMOB, 2021).

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB) requer, desde 1998, que todos os municípios brasileiros integrem o Sistema Nacional de Trânsito (SNT), entendendo que os mesmos devem possuir a autonomia de planejar, regulamentar e promover o desenvolvimento urbano dentro de seus limites territoriais, inclusive no que tange à administração do trânsito local (BAVOSO, 2014). No entanto, devido à ausência de órgãos voltados à gestão dos transportes ou até mesmo ao desconhecimento desta obrigação, muitos municípios

nacionais não a cumprem. De acordo com a Confederação Nacional de Municípios (CNM, 2020), estima-se que, atualmente, apenas 31% dos municípios brasileiros integrem o SNT e, dentre os que não o fazem, quase 70% possuem população inferior a 20 mil habitantes.

Estruturas encarregadas da organização dos transportes são de suma importância no âmbito municipal. A burocrática solicitação de financiamento de projetos desenvolvidos em conformidade com a Lei nº 12.587/2012, por exemplo, é um processo que demanda comprometimento e prática dos gestores das políticas de transporte (JONES; AZEVEDO, 2013). Entretanto, de acordo com resultados da Pesquisa Básica de Informações Municipais (IBGE, 2018), referente a dados de 2017, a existência de órgãos de gestão das políticas de transporte varia em função das diferentes faixas de população dos municípios, como apresentado na Figura 1.2, sendo mais comum a existência de alguma estrutura responsável ou mesmo de secretaria exclusiva nos municípios com mais de 100 mil habitantes. Além disso, ainda segundo o IBGE (2018), com relação à escolaridade dos titulares desses órgãos, a proporção destas autoridades com ensino superior completo ou pós-graduação também varia em função das diferentes faixas de população dos municípios, como apresentado na Tabela 1.1.

Figura 1.2: Gestão do transporte nos municípios brasileiros por faixa de população (2017).



Fonte: IBGE (2018, p. 42).

A dificuldade de fomento e o orçamento limitado são algumas das principais dificuldades enfrentadas pelos municípios brasileiros de pequeno porte para o desenvolvimento de projetos cicloviários. Estima-se que 94% dos municípios que receberam repasses federais para investirem em mobilidade urbana, entre 2006 e 2010, possuem mais de 1 milhão de habitantes e, desde então, outros recursos como os dos

Programas de Aceleração do Crescimento (PAC) também foram alocados predominantemente em capitais e outros maiores centros urbanos nacionais (RUBIM; LEITÃO, 2013; LOURENÇO; BOSCO JÚNIOR; BERNARDINIS, 2019). Mesmo assim, embora estime-se que cidades como São Paulo-SP e Curitiba-PR sejam atualmente contempladas, nesta ordem, por 450 e 190 km de ciclofaixas ou ciclovias, tais infraestruturas não são isentas de críticas relacionadas à conectividade, densidade e alocação criteriosa (GUERREIRO *et al.*, 2018; KRECL *et al.*, 2019), sinalizando para uma carência de diretrizes capazes de nortear a definição de redes cicloviárias inobstante ao porte das cidades brasileiras.

Tabela 1.1: Autoridades em transportes nos municípios brasileiros por faixa de população (2017).

Faixa de população dos municípios (hab.)	Titulares de órgãos de gestão das políticas de transporte			
	Distribuição por gênero (%)		Proporção com ensino superior completo ou pós-graduação (%)	Média de idade (anos)
	Masculino	Feminino		
Total	90,9	9,1	35,9	46,2
Até 5.000	87,7	12,3	22,2	45,0
De 5.001 a 10.000	89,0	11,0	24,7	45,6
De 10.001 a 20.000	91,6	8,4	31,4	46,0
De 20.001 a 50.000	93,4	6,6	41,2	46,1
De 50.001 a 100.000	92,9	7,1	60,9	48,2
De 100.001 a 500.000	93,3	6,7	75,6	49,3
Mais de 500.000	95,1	4,9	97,6	52,1

Fonte: IBGE (2018, p. 42).

Alguns dos manuais técnicos mais difundidos na literatura se baseiam em contagens volumétricas, modelos de previsão de demanda e de nível de serviço para bicicletas, georreferenciamento de acidentes de trânsito, desenho urbano etc. para o planejamento de redes cicloviárias (AASHTO, 1999; GEIPOT, 2001; CROW, 2007; AASHTO, 2012). A aplicação destas abordagens clássicas, no entanto, muitas vezes é inviabilizada para o contexto brasileiro devido à carência de dados de transportes.

As pesquisas de origem-destino, por exemplo, imprescindíveis à modelagem sequencial da demanda por transportes (KAWAMOTO, 2010), ainda são pouco empregadas nacionalmente (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2019), possivelmente em função de seu custo e por exigirem um rigoroso planejamento,

ficando restritas, quando existentes, aos grandes centros urbanos. Já os acidentes de trânsito, cujo georreferenciamento é necessário para nortear ações mitigadoras da frequência e severidades destes eventos, são subnotificados (sobretudo aqueles envolvendo ciclistas e pedestres) e, apesar dos gradativos avanços de plataformas como o INFOSIGA-SP, ainda não são registrados em um sistema unificado (ALMEIDA *et al.*, 2013; SOUSA; BAHIA; CONSTANTINO, 2016).

No tocante ao nível de serviço para bicicletas, Arellana *et al.* (2020) argumentam que apesar de existirem diversos modelos dessa natureza na literatura técnica, raramente essas métricas são empregadas em cidades de pequeno ou médio porte de países emergentes, sobretudo do hemisfério Sul, seja para o planejamento cicloviário ou para a tomada de decisão quanto à alocação de recursos. Em se tratando especificamente das cidades brasileiras de pequeno porte, possíveis motivos para isto foram apontados por Monari e Segantine (2020), os quais advogam que o planejamento cicloviário nas mesmas pode se beneficiar do conceito de nível de estresse de ciclistas. Apesar disso, as evidências de utilização de modelos de nível de estresse de ciclistas no contexto brasileiro, em cidades de qualquer porte, também variam de poucas a inexistentes, seja para o estudo de redes cicloviárias (MONARI, 2018; MONARI *et al.*, 2018; MONARI; SEGANTINE, 2022) ou da acessibilidade de ciclistas (TUCKER; MANAUGH, 2018), ou ainda para a definição de locais com prioridade de investimento.

Em função de todas as dificuldades elencadas, reitera-se a necessidade de serem desenvolvidas estratégias de sistematização do planejamento cicloviário em cidades brasileiras de pequeno porte, auxiliando na elaboração de planos e na alocação criteriosa dos limitados recursos destinados à promoção da mobilidade urbana. Além disso, devido à carência de subsídios técnicos nos municípios menores, é preferível que tais abordagens sejam baseadas em dados abertos e modelos de nível de estresse de ciclistas, os quais requerem um conjunto restrito de variáveis previsoras quando comparados com seus pares. Por último, embora o planejamento de sistemas de transporte, geralmente, beneficie-se de softwares comerciais que dispõem de ferramentas próprias para modelagem, simulação e análise de redes de transporte (AYALA FILHO; LOPES, 2018), estes programas específicos nem sempre são acessíveis aos profissionais da área, devendo ser estudada a viabilidade destes processos também por meio de softwares livres (QGIS, *GeoDa* etc.).

1.3 ESTRUTURA DA TESE

Com relação à estrutura da tese, o panorama do transporte cicloviário nas cidades brasileiras de pequeno porte é apresentado no Capítulo 1, bem como os objetivos e a justificativa da pesquisa. O Capítulo 2 consiste no referencial teórico necessário ao desenvolvimento do trabalho. No Capítulo 3, são detalhados o método da pesquisa e os dados dos estudos de caso. Os resultados da aplicação do método nos estudos de caso são apresentados e discutidos no Capítulo 4. No Capítulo 5, são propostas redes cicloviárias nos locais de estudo. Por último, no Capítulo 6, são sintetizadas as conclusões e discutidas as limitações do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este Capítulo consiste no referencial teórico necessário ao desenvolvimento da pesquisa e é subdividido nos cinco seguintes tópicos: 1) fatores de influência no uso da bicicleta, 2) qualidade operacional das vias ao ciclismo, 3) rotas cicláveis, 4) acessibilidade de ciclistas e 5) redes cicloviárias.

2.1 FATORES DE INFLUÊNCIA NO USO DA BICICLETA

O transporte cicloviário é notoriamente inerente às condições climáticas e à própria saúde dos ciclistas. Especificamente com relação ao contexto urbano, no entanto, os fatores de influência no uso da bicicleta podem variar desde as características socioeconômicas dos ciclistas até as condições geométricas, operacionais e do entorno do percurso pelo qual pretendem trafegar (FHWA, 2006).

Com relação às características socioeconômicas e padrões de utilização da bicicleta por ciclistas nacionais, recentemente, foram divulgados os resultados da Pesquisa Nacional sobre o Perfil do Ciclista Brasileiro, conduzida conjuntamente por membros da Associação Transporte Ativo e por pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LABMOB/UFRJ) em 25 cidades brasileiras, selecionadas em função de suas altas taxas de adeptos do ciclismo (LOBO; ANDRADE; RODRIGUES, 2020). Soares e Guth (2018), por sua vez, compilaram as informações referentes aos onze menores centros urbanos inclusos na pesquisa (Afuá-PA, Antonina-PR, Cáceres-MT, Gurupi-TO, Ilha Solteira-SP, Mambaí-GO, Pedro Leopoldo-MG, Pomerode-SC, São Fidelis-RJ, Tamandaré-PE e Tarauacá-AC), distribuídos ao longo de todo o território brasileiro e cujo número de habitantes variava, na época, de 8 a 91 mil, resultando em um diagnóstico acerca da demanda cicloviária nestes municípios que é generalizável a outras cidades nacionais de pequeno porte que não dispõem de estudos específicos.

Em síntese, a grande maioria dos ciclistas nestas cidades menores estão em idade economicamente ativa e estima-se que, em média, 35% da demanda cicloviária seja composta por mulheres, algo em torno de cinco vezes maior que a média observada nos municípios maiores (CICLOCIDADE, 2015). Além disso, 90% dos usuários da bicicleta em cidades de pequeno porte possuem ensino fundamental completo, quase dois terços declaram ter renda mensal de até 2 salários mínimos e uma fração de ciclistas semelhante

a esta acessa importantes destinos de viagem pedalando por menos de vinte minutos, 70% utilizam a bicicleta diariamente e 80% se autodeclararam experientes, isto é, adeptos do ciclismo há mais de cinco anos (SOARES; GUTH, 2018; LOBO; ANDRADE; RODRIGUES, 2020).

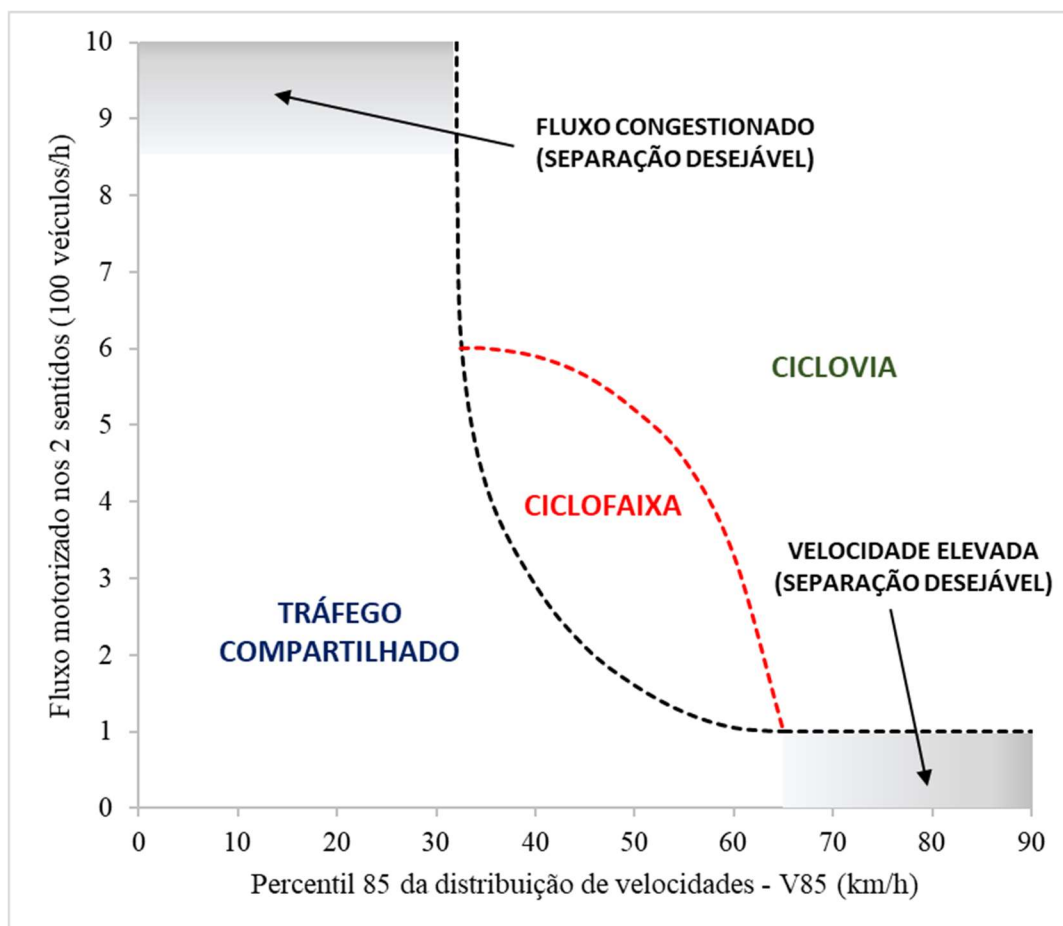
A distância e/ou o tempo de viagem são alguns dos principais fatores intervenientes não só na decisão de um indivíduo por utilizar a bicicleta em suas viagens cotidianas, mas também na escolha da rota pela qual o mesmo deseja trafegar (AULTMAN-HALL; HALL; BAETZ, 1997; STINSON; BATH, 2003; MENGHINI *et al.*, 2010). O tempo de viagem, por exemplo, é uma variável que pode ser investigada sob diferentes perspectivas, pois, apesar de depender das características do próprio ciclista, como sua experiência (HUNT; ABRAHAM, 2007), ela também possui relação direta com as condições da via, uma vez que ciclistas tendem a desviar de rotas mais diretas, quando constituídas de segmentos viários com baixa qualidade operacional, para manterem-se seguros e confortáveis em seus trajetos (TILAHUN; LEVINSON; KRIZEK, 2007). Mais ainda, Sousa e Sanches (2019) advogam, com base em uma revisão dos fatores influentes na escolha das rotas de ciclistas, que há uma predileção destes indivíduos por trajetos com menores quantidades de interseções, isto é, de paradas obrigatórias indicadas por semáforos ou sinalização vertical.

A existência de infraestruturas cicloviárias desempenha um papel importante na adesão de indivíduos ao ciclismo, seja no caso de países que dispõem corriqueiramente das mesmas ou não (LARSEN; EL-GENEIDY, 2011; KANG; FRICKER, 2013; PITILIN, 2016). As principais facilidades para ciclistas, no contexto urbano, são as ciclofaixas, parcialmente segregadas do tráfego motorizado e identificadas por sinalização horizontal e/ou dispositivos delimitadores; as ciclovias, totalmente segregadas do tráfego motorizado, podendo ser construídas em canteiros centrais, calçadas laterais à via etc.; os passeios compartilhados por ciclistas e pedestres e as vias compartilhadas entre ciclistas e automóveis (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007), sendo estas últimas frequentemente referidas na literatura técnica como situações de tráfego misto.

Os critérios de decisão por estas facilidades, por sua vez, remetem a atributos como volume, velocidade e composição do tráfego motorizado, também elencados por diversos autores como fatores de influência na escolha das rotas pelos ciclistas (CAULFIELD; BRICK; MCCARTHY, 2012; MILAKIS *et al.*, 2012; SNIZEK; NIELSEN; SKOV-

PETERSEN, 2013; KRENN; OJA; TITZE, 2014). O diagrama apresentado na Figura 2.1 exemplifica tais critérios (TRANSPORT SCOTLAND, 2010).

Figura 2.1: Exemplo de diagrama para definição de infraestrutura cicloviária.



Fonte: Adaptado de Transport Scotland (2010, p. 11).

Para um melhor entendimento do leitor acerca dos critérios exemplificados, pede-se considerar a situação em que o volume de veículos motorizados observado para uma determinada via, nos dois sentidos de circulação, é de 300 veículos/hora (geralmente estimado em horário de pico e na forma de taxa de fluxo equivalente em veículos de passeio). De acordo com o diagrama apresentado na Figura 2.1, caso o percentil 85 da distribuição de velocidades (V85) do tráfego motorizado nesta via fosse inferior a 40 km/h, não seria necessária a separação do tráfego de ciclistas. Todavia, caso o V85 variasse entre 40 e 60 km/h, ciclofaixas seriam demandadas. Já para valores de V85 superiores a 60 km/h, a separação total do tráfego de ciclistas (ciclovias) seria desejável.

As condições topográficas desfavoráveis de uma cidade ou região são reiteradamente citadas na literatura como potenciais barreiras ao ciclismo (SENER;

ELURU; BATH, 2009; WINTERS *et al.*, 2010), visto que aclives acentuados exigem dos ciclistas um grande esforço físico e declives acentuados prejudicam a segurança viária ao dificultarem a manutenção do equilíbrio. As condições precárias do pavimento também podem atuar de forma a desestimular o uso da bicicleta (CASELLO *et al.*, 2011; WINTERS *et al.*, 2011), seja em vias compartilhadas ou em tipologias próprias ao tráfego de ciclistas: segundo um levantamento realizado em 2018 na cidade de São Paulo-SP, 40% das ciclovias e ciclofaixas da cidade possuíam, na época, problemas estruturais ou de manutenção, sendo as condições do pavimento um dos três piores dentre um conjunto de 19 indicadores avaliados (SIMONATO, 2018).

A facilidade de alcance a potenciais destinos de viagem também atua como fator interveniente no uso da bicicleta. Neste contexto, o conceito de Polo Gerador de Tráfego (PGT), adotado pioneiramente no Brasil pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP, 1983) e que referia-se originalmente a instalações atrativas ou produtoras de um grande número de viagens, com o passar dos anos, evoluiu para os então intitulados Polos Geradores de Viagens (PGVs), isto é, empreendimentos com distintos propósitos que produzem contingentes significativos de deslocamentos tanto pelo transporte motorizado quanto pelo ativo, além de poderem causar impactos antagônicos como, por exemplo, congestionamentos e acidentes na malha viária, e desenvolvimento econômico de seu entorno, isto é, uso e valorização do solo (PORTUGAL; GOLDNER, 2003; KNEIB, 2004; KNEIB; TACO; SILVA, 2006). Desta forma, no que se refere ao ambiente construído, o ciclismo é estimulado à medida que uma maior quantidade de PGVs por bicicleta como indústrias, clubes, escolas etc. tornam-se acessíveis. Além disto, extensões urbanas contempladas com o uso variado do solo, como zonas predominantemente residenciais, porém ocupadas de múltiplos empreendimentos comerciais, também se beneficiam de um grande número de deslocamentos por bicicleta (MELLO; PORTUGAL, 2017).

A sensação de segurança pessoal desempenha um papel fundamental na decisão de indivíduos por pedalar (LI *et al.*, 2012; KOH; WONG, 2013). A ausência ou insuficiência de estacionamentos para bicicletas nos destinos de viagem e as altas taxas de criminalidade, por exemplo, são alguns dos fatores que intensificam o roubo de bicicletas (GAMMAN; THORPE; WILLCOCKS, 2004), fazendo com que muitos usuários potenciais se sintam vulneráveis e, conseqüentemente, não considerem o ciclismo como um modo de transporte primário (CHEN; LIU; SUN, 2018). No Brasil, em particular, Silveira e Maia (2015)

argumentam que a insegurança no trânsito é a variável mais citada na literatura nacional como desestimulante ao ciclismo.

As condições do entorno das vias também se enquadram como fatores de preferência dos ciclistas por alguns trajetos, com destaque para iluminação (SENER; ELURU; BATH, 2009), que contribui com a segurança pessoal e viária daqueles que pedalam em períodos noturnos; e arborização (LEE; JENNINGS; EL-GENEIDY, 2011), que contribui não só de maneira estética ao percurso, mas também com a amenização de situações de calor intenso ao promover uma maior taxa de sombreamento da via.

A existência de programas e políticas públicas voltadas ao ciclismo também contribui para maiores taxas de utilização da bicicleta no contexto urbano, a exemplo de cidades europeias e norte-americanas (CAVILL *et al.*, 2008; PUCHER; BUEHLER, 2012; LANZENDORF; BUSCH-GEERTSEMA, 2014). O papel de grupos cicloativistas, neste sentido, é de suma importância, reivindicando às autoridades locais investimentos em infraestruturas cicloviárias (ALDRED; JUNGNICHEL, 2014) que, aliadas a campanhas de incentivo ao ciclismo, atuam de forma a instituir ou fortalecer a “cultura da bicicleta” nas cidades (ROSAS-SATIZÁBAL; RODRIGUEZ-VALENCIA, 2019).

2.2 QUALIDADE OPERACIONAL DAS VIAS AO CICLISMO

O conceito de nível de serviço está associado às condições operacionais dentro de um fluxo de tráfego, comumente utilizado para descrever a qualidade de uma determinada infraestrutura viária (TRB, 2010). Neste contexto, diversos autores têm se beneficiado do termo “nível de serviço para bicicletas”, de forma simplista, para se referir a qualquer parâmetro de avaliação da qualidade operacional das vias ao ciclismo, que variam desde equações complexas até sistemas de pontuação (LAMONDIA; MOORE, 2015). Além disto, existem os chamados modelos de “nível de estresse”, nos quais, evidentemente, são propostas escalas para quantificar o estresse de ciclistas ao trafegarem por uma determinada via (SORTON; WALSH, 1994; MEKURIA; FURTH; NIXON, 2012).

Os Quadros 2.1 e 2.2 resumem, nesta ordem, as variáveis previsoras e as vantagens e desvantagens de alguns dos principais modelos de nível de serviço ou de estresse relacionados ao ciclismo, com enfoque para aqueles que permitem avaliar a situação de tráfego misto, apesar de não exclusivos à mesma (MONARI; SEGANTINE, 2020).

Quadro 2.1: Variáveis previsoras dos modelos de nível de serviço/estresse relacionados ao ciclismo.

Variável previsora		Autor/Modelo										
		Epperson-Davis (1994) - RCI	Sorton e Walsh (1994) - BSL	Dixon (1996)	Landis, Vattikuti e Brannick (1997) - BLOS	Harkey <i>et al.</i> (1998) - BCI	Petrtsch <i>et al.</i> (2007) - BLOS	Jensen (2007)	Mekuria, Furth e Nixon (2012) - LTS	Furth, Mekuria e Nixon (2016) - LTS	Beura <i>et al.</i> (2018)	Majumdar e Mitra (2018)
Transporte e trânsito	Volume de veículos motorizados	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Velocidade dos veículos motorizados	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Velocidade das bicicletas			✓								
	Porcentagem de veículos pesados				✓	✓	✓					
	Nível de serviço (tráfego motorizado)			✓								
Infraestrutura viária	Número de faixas de tráfego	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Largura da faixa externa da via	✓	✓		✓	✓	✓				✓	✓
	Declividade da via	✓										
	Condição do pavimento	✓		✓	✓		✓				✓	✓
	Existência de canteiro central	✓		✓								
	Existência de <i>centerline</i> ¹								✓	✓		
	Existência de ciclofaixa e/ou ciclovia			✓		✓		✓				
	Largura da ciclofaixa e/ou ciclovia			✓		✓		✓				
	Densidade de entradas de garagem			✓		✓		✓				✓
	Estacionamentos na via	✓		✓		✓					✓	✓
	Pontos de parada de coletivos							✓			✓	✓
Outros	Tipo de uso do solo	✓				✓		✓			✓	✓
	Programas voltados ao ciclismo			✓								

Fonte: Adaptado de Monari e Segantine (2020).

¹ Faixa separadora dos sentidos de circulação.

Quadro 2.2: Vantagens e desvantagens de cada modelo de nível de serviço/estresse relacionado ao ciclismo.

Vantagem/Desvantagem		Autor/Modelo										
		Epperson-Davis (1994) - RCI	Sorton e Walsh (1994) - BSL	Dixon (1996)	Landis, Vatikuti e Brannick (1997) - BLOS	Harkey <i>et al.</i> (1998) - BCI	Petritsch <i>et al.</i> (2007) - BLOS	Jensen (2007)	Mekuria, Furth e Nixon (2012) - LTS	Furth, Mekuria e Nixon (2016) - LTS	Beura <i>et al.</i> (2018)	Majumdar e Mitra (2018)
Vantagem	Conjunto abrangente de variáveis previsoras	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
	Facilidade de coleta das variáveis previsoras e de aplicação do modelo		✓	✓					✓			
	Considera percepções de segurança e conforto de ciclistas reais e potenciais				✓		✓	✓			✓	✓
	Diferentes procedimentos para cada tipo de infraestrutura cicloviária								✓	✓		
Desvantagem	Não considera importantes variáveis previsoras								✗			
	Dificuldade de coleta das variáveis previsoras				✗		✗			✗	✗	✗
	Subjetividade de avaliação de variáveis previsoras	✗										✗
	Não considera percepções de segurança e conforto de ciclistas reais e potenciais	✗	✗	✗		✗			✗	✗		
	Grande influência de facilidades para ciclistas na avaliação final da via			✗		✗		✗				

Fonte: Adaptado de Monari e Segantine (2020).

A seguir, é discutida a aplicabilidade dos modelos supracitados ao contexto brasileiro.

2.2.1 Modelos de nível de serviço para bicicletas

Embora diversos modelos de nível de serviço para bicicletas tenham sido propostos na literatura técnica desde o final da década de 1980, cujos esforços pioneiros remetem ao *Bicycle Safety Index Rating* (BSIR) e ao derivado *Roadway Condition Index* (RCI) (EPPERSON, 1994), poucos trabalhos têm sido desenvolvidos nacionalmente com o mesmo propósito (PROVIDELO, 2011; CARDOSO; CAMPOS, 2016). Desta forma, muitos planejadores nacionais dos transportes são compelidos a “importar” modelos norte-americanos e europeus, que são desenvolvidos sob circunstâncias distintas das brasileiras, principalmente no tocante à existência de tipologias cicloviárias e, por isso, ponderam de maneira substancial as ciclofaixas e ciclovias.

Um exemplo notório de inconsistências da “importação” destas diretrizes internacionais remete ao modelo de Dixon (1996), cujos resultados de aplicação em estudos de caso por Kirner (2006), Magalhães, Campos e Bandeira (2015) e Fonseca *et al.* (2018) sugerem avaliações sistematicamente ruins do nível de serviço para bicicletas no contexto brasileiro. A razão para isto é que tal modelo, originalmente proposto para nortear o Plano de Mobilidade da cidade de Gainesville, Flórida (EUA), é baseado em um sistema em que pontos são atribuídos a um determinado segmento viário de acordo com múltiplos fatores, os quais são subdivididos em seis categorias distintas, sendo a existência de ciclofaixas ou ciclovias a categoria responsável pela atribuição de 10 dentre um máximo de 21 pontos.

Mesmo sem a comprovação por meio de estudos de caso, pode-se inferir que a aplicação de outros modelos da literatura também não é adequada à maioria das cidades brasileiras, como o proposto por Jensen (2007) para o contexto dinamarquês, o qual, segundo o próprio autor, concede uma importância ainda maior à existência de infraestruturas cicloviárias quando comparado com modelos norte-americanos, além de ser mais sensível às características geométricas destas tipologias.

Landis (1996) propôs o *Interaction Hazard Score* (IHS), baseado nas percepções reais de perigo dos ciclistas ao compartilharem a via com veículos motorizados, tornando o levantamento dos dados de entrada mais objetivo com relação aos demais modelos desenvolvidos até então, como o RCI. Um ano mais tarde, por meio de um número de observações estatisticamente mais relevante, Landis, Vattikuti e Brannick (1997) utilizaram a técnica de regressão linear múltipla para a calibração do *Bicycle Level of*

Service (BLOS). Apesar do abrangente conjunto de variáveis previsoras, um dos maiores contrapontos à utilização do modelo é justamente a dificuldade de coleta destes dados de entrada (KIRNER, 2006; MONARI; SEGANTINE, 2020), principalmente para aplicação em larga escala, por exemplo, em uma cidade ou comunidade. A mesma restrição também é observada para outros modelos, incluindo alguns desenvolvidos para o contexto de países emergentes, como os de Beura *et al.* (2018) e Majumdar e Mitra (2018).

Petritsch *et al.* (2007) buscaram recalibrar o BLOS utilizando distintas técnicas para a coleta de informações junto a ciclistas, como simulações em vídeo (pioneiramente utilizada para os mesmos fins por Harkey *et al.* (1998), que desenvolveram o *Bicycle Compatibility Index*, ou BCI), e os resultados serviram de base para o modelo de nível de serviço para bicicletas apresentado no *Highway Capacity Manual* (HCM) (TRB, 2010), passível das mesmas críticas feitas ao modelo precursor (CALLISTER; LOWRY, 2013).

2.2.2 Modelos de nível de estresse de ciclistas

Considerando-se as dificuldades e restrições de utilização dos diversos modelos elencados anteriormente, o planejamento ciclovitário em cidades brasileiras de pequeno porte pode se beneficiar de abordagens mais simples e objetivas para a avaliação da qualidade operacional das vias, baseadas no nível de estresse de ciclistas (MONARI *et al.*, 2018). O *Bicycle Stress Level* (BSL), por exemplo, permite a avaliação de situações de tráfego misto a partir de apenas três parâmetros de entrada, isto é, do volume e da velocidade do tráfego motorizado, além da largura efetiva da via, cada qual analisado individualmente em uma escala de cinco níveis crescentes de estresse, sendo a avaliação global calculada pela média aritmética das individuais (SORTON; WALSH, 1994).

Atualmente, no entanto, planejadores em transportes têm invariavelmente privilegiado o uso do *Level of Traffic Stress* (LTS), proposto por Mekuria, Furth e Nixon (2012), em detrimento do BSL e, até mesmo, de outras métricas apresentadas, seja para mapear redes ciclovitárias de baixo estresse, barreiras ao ciclismo ou locais com prioridade de investimentos (FURTH; MEKURIA; NIXON, 2016; SEMLER *et al.*, 2017); avaliar a relação entre a qualidade operacional das vias e as taxas de utilização da bicicleta (FITCH; THIGPEN; HANDY, 2016); mensurar a acessibilidade de ciclistas (IMANI; MILLER; SAXI, 2019); ou ainda investigar inequidades de benefícios propostos por infraestruturas ciclovitárias (TUCKER; MANAUGH, 2018).

Apesar de diversos autores da literatura atentarem para a necessidade de validação do modelo por meio de medidas do estresse fisiológico de ciclistas (WANG *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2017; FERENCHAK; MARSHALL, 2020; HUERTAS *et al.*, 2020; COBB; JASHAMI; HURWITZ, 2021), a principal vantagem do LTS com relação aos demais modelos é o fato de serem propostos distintos critérios para a classificação de vias compartilhadas por ciclistas e automóveis, ciclofaixas e interseções não semaforizadas (visto que interseções semaforizadas e espaços cicloviários totalmente segregados do tráfego motorizado, como ciclovias, não se configuram como estressantes ao uso da bicicleta) (MEKURIA; FURTH; NIXON, 2012).

A despeito da infraestrutura avaliada, a classificação LTS, que considera aspectos físico-psicológicos de ciclistas, é constituída de quatro níveis crescentes de estresse (LTS 1 a LTS 4) que podem ser associados aos limites toleráveis pelos diferentes grupos propostos por Geller (2006): estima-se que os ciclistas “Fortes e destemidos” (*Strong and fearless*) estejam propensos a trafegar sob quaisquer condições de estresse (LTS 4); os “Entusiasmados e confiantes” (*Enthusied and confident*) e os “Interessados, mas preocupados” (*Interested but concerned*), sob condições intermediárias (respectivamente, LTS 3 e LTS 2); e os demais ciclistas (*No way no how*), apenas quando submetidos a baixos níveis de estresse (LTS 1).

É importante destacar que, além dos próprios dados de entrada do modelo, outras variáveis também são fartamente documentadas na literatura como estressantes ao ciclismo, como declividades acentuadas (RYBARCZYK *et al.*, 2020), defeitos no pavimento (ZEILE *et al.*, 2016), tráfego de veículos pesados (CAVIEDES; FIGLIOZZI, 2018; KYRIAKOU *et al.*, 2019; FITCH; SHARPNACK; HANDY, 2020) etc. Nesse sentido, desde sua concepção, a classificação LTS tem sido modificada por diversos autores com o intuito de incorporar variáveis de estresse não consideradas na proposta original ou ainda torná-la condizente com os dados disponíveis em um determinado local de estudo (BEARN; MINGUS; WATKINS, 2018; CABRAL; KIM, 2022). Os próprios autores do modelo precursor têm constantemente sugerido algumas alterações ao mesmo, dentre as mais notórias, a inclusão da Volume Diário Médio (VDM) como dado de entrada para avaliação de situações do tráfego misto (FURTH; MEKURIA; NIXON, 2016).

Especificamente no contexto brasileiro, Rodrigues, Silva e Teixeira (2022) utilizaram medidas do estresse fisiológico e gravações em vídeo do percurso de ciclistas

para, beneficiando-se do algoritmo de “Florestas Aleatórias” (*Random Forests*), avaliarem a aplicabilidade da classificação LTS a uma cidade de porte médio, São Carlos-SP. Os resultados sinalizam para três variáveis não inclusas na classificação original possivelmente estressantes ao ciclismo, isto é, rampas íngremes, existência de obstáculos na via e presença de rotatórias.

2.3 ROTAS CICLÁVEIS

Uma rota ciclável² é um trajeto que garante a conexão entre origens e destinos de interesse aos ciclistas de maneira segura e confortável (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007), podendo ser constituída de uma ou mais tipologias cicloviárias, como ciclovias, ciclofaixas e vias compartilhadas.

A identificação de rotas, de maneira geral, é um processo endereçado por vários autores da literatura como o “problema do caminho mínimo”, os quais reiteradamente se utilizam do algoritmo de Dijkstra (1959), baseado na teoria dos grafos. Em síntese, ao se representar um sistema viário de maneira simplificada por arestas (segmentos viários), às quais são atribuídos pesos em função de sua extensão ou do tempo de viagem necessário para percorrê-las, e vértices ou nós (interseções), o “caminho mínimo” entre um determinado par origem-destino é aquele cuja sequência de arestas contínuas minimiza a distância ou tempo de viagem acumulado, respeitando-se os sentidos de circulação permitidos na rede.

A constante evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), neste sentido, tem possibilitado adaptações do processo clássico supracitado, visando ponderar as arestas do grafo em função de sua *impedância* ao ciclismo, um termo adaptado de outras áreas do conhecimento para, de maneira simplista, se referir à “resistência” imposta por um segmento viário ao tráfego de ciclistas ou, se o leitor preferir, ao “custo generalizado” associado a diversos fatores de influência no uso da bicicleta. Assim, o “caminho mínimo” entre um determinado par origem-destino é aquele que minimiza as condições adversas ao tráfego de ciclistas como, por exemplo, a baixa qualidade operacional dos segmentos viários que o compõem, que pode ser avaliada pelos mais diversos modelos de nível de

² Neste trabalho, o termo *rota ciclável* será utilizado para se referir ao trajeto que garante a conexão entre um determinado par origem-destino de forma a minimizar o tempo de viagem de ciclistas ou o somatório de impedâncias atribuídas aos segmentos viários da rede, podendo ou não incluir diferentes infraestruturas cicloviárias, conforme descrito em detalhes no Capítulo 3.

serviço ou de estresse relacionados ao ciclismo (KLOBUCAR; FRICKER, 2007; LOWRY *et al.*, 2012; MONARI *et al.*, 2018).

2.4 ACESSIBILIDADE DE CICLISTAS

O planejamento cicloviário pode ser conduzido sob dois enfoques distintos, isto é, baseando-se tanto na demanda quanto na oferta por ciclismo. No primeiro caso, para se prever os fluxos de ciclistas, geralmente, são utilizados dados agregados por zonas de tráfego ou setores censitários, referentes à população, ao número de empregos ou ao tipo de uso do solo. No segundo, deve ser avaliada a qualidade operacional das vias existentes (ou estimada a de vias futuras) por meio dos modelos de nível de serviço ou estresse relacionados ao ciclismo (RYBARCZYK; WU, 2010). No entanto, a análise isolada destas variantes pode não refletir em resultados satisfatórios: a demanda, por si só, não permite identificar segmentos viários da rede que necessitam de maiores investimentos para promoção do ciclismo; e a boa qualidade operacional das vias, de forma dispersa, não garante a acessibilidade de ciclistas (HYODO; SUZUKI; TAKAHASHI, 2000; PARKIN; WARDMAN; PAGE, 2007), isto é, a facilidade em se alcançar potenciais destinos de viagem (HANSEN, 1959).

Diversos trabalhos da literatura foram conduzidos com o propósito de quantificar a acessibilidade de ciclistas de uma determinada cidade ou região de estudo, possibilitando a identificação de locais com maior potencial ou que demandam maiores investimentos em ciclismo. A seguir, são apresentados e discutidos alguns destes trabalhos desenvolvidos na última década e em ambiente SIG, com o intuito de reunir as principais técnicas utilizadas no planejamento cicloviário recente, servindo como base para adaptações ao contexto brasileiro.

Rybarczyk e Wu (2010), em um estudo de caso conduzido em Milwaukee (EUA), associaram SIG à análise multicritério para avaliar segmentos viários, simultaneamente, de acordo com sua demanda (por meio de um índice calculado em função da população, taxa de empregos, PGVs e crimes ocorridos próximos aos mesmos) e oferta por ciclismo (BLOS). Os resultados sugerem que os segmentos viários com maior potencial ciclável na cidade estudada, sob a ótica da demanda, são os de maior hierarquia funcional, justamente os caracterizados pela pior oferta (nível de serviço para bicicletas).

O BLOS também foi utilizado por Lowry *et al.* (2012), que se basearam no conceito de acessibilidade para avaliar o potencial ciclável do sistema viário da comunidade de Moscow (EUA). A impedância de um determinado trecho viário foi calculada pelo produto entre o comprimento do mesmo e sua avaliação final do nível de serviço para bicicletas. Já a atração das zonas de destino foi mensurada em função da área construída dentro das mesmas. Resultados foram apresentados para três intervenções hipotéticas na rede: na primeira, observou-se que a acomodação de ciclofaixas aumentaria o potencial ciclável de áreas residenciais; na segunda, a inserção de espaços compartilhados entre ciclistas e pedestres aumentaria o potencial ciclável de zonas próximas e; na terceira, aliando-se as facilidades hipotéticas dos dois primeiros cenários a mudanças no zoneamento urbano local, o potencial ciclável médio da área de estudo dobraria.

Iacono, Krizek e El-Geneidy (2010) se basearam no georreferenciamento de milhares de PGVs e em outros estudos prévios conduzidos em Minneapolis (EUA) para a calibração de funções de decaimento da acessibilidade de usuários do transporte ativo ao trafegarem por diferentes motivos, as quais permitiram quantificar a facilidade de alcance de ciclistas a potenciais destinos de viagem para as quase 1.600 unidades locais de análise. Já McNeil (2011) explorou a acessibilidade de ciclistas em Portland (EUA) utilizando o conceito da "vizinhança de 20 minutos", isto é, limitando o potencial uso da bicicleta a uma distância de 2,5 milhas. Para isto, o autor se beneficiou do georreferenciamento de quase 6.000 PGVs de interesse, todos não relacionados ao motivo de trabalho, que foram ponderados por um sistema de pontuação sugerido pelo próprio autor, sendo que cada PGV deveria receber a totalidade dos pontos caso fosse acessível, a partir de uma determinada origem, a uma distância de viagem de até 1 milha; 50% dos pontos, entre 1 e 2 milhas; 25% dos pontos, entre 2 e 2,5 milhas; e nenhum ponto caso contrário.

A acessibilidade de ciclistas a PGVs não relacionados a trabalho também foi explorada por Saghapour, Moridpour e Thompson (2017). Os autores desenvolveram uma métrica para avaliação do potencial ciclável em regiões metropolitanas baseada na sobreposição entre isócronas, definidas a partir de cada PGV, e as unidades de análise, além da relação entre o somatório das distâncias médias necessárias para se acessar cada categoria de PGV elencada e a extensão total de vias cicláveis dentro da própria unidade de análise. Para exemplificar a aplicação do método em Melbourne (Austrália), os autores se beneficiaram do georreferenciamento de 15.588 potenciais PGVs por bicicleta,

subdivididos em quatro distintas categorias: 1) centros educacionais, 2) unidades de saúde, 3) centros comerciais ou de lazer e 4) serviços em geral. Os resultados sinalizam para uma significativa relação positiva entre a métrica proposta e o número de deslocamentos reais de ciclistas locais, o que diverge das considerações de outros trabalhos com objetivos semelhantes, como o de Van Acker, Derudder e Witlox (2013), que constataram disparidades entre os potenciais cicláveis “mensurado” objetivamente em função das características do ambiente construído e “percebido” de maneira subjetiva pelos ciclistas.

Nesse sentido, Ma e Dill (2017), por meio de um estudo conduzido em Portland (EUA), buscaram investigar possíveis razões para estas divergências. Com relação ao potencial ciclável “mensurado”, tomando-se uma distância, em rede, de uma milha a partir de cada unidade de análise, os autores se basearam nas seguintes variáveis predictoras: milhas de infraestruturas cicloviárias total ou parcialmente segregadas do tráfego motorizado, além de vias locais com baixos volumes de automóveis; número de PGVs por bicicleta acessíveis; conectividade viária, traduzida em termos da porcentagem de interseções dentro dos limites de influência servidas por três ou mais segmentos viários; e topografia desfavorável ao ciclismo, quantificada pela porcentagem da área de influência com declividades superiores a 25%. Já no que se refere às “percepções” do ciclistas, 902 entrevistas por telefone foram realizadas, indagando-os a respeito de distintos indicadores a serem quantificados em uma escala Likert de cinco pontos. Dentre os resultados encontrados, ressalta-se o fato de as divergências entre os potenciais cicláveis “mensurado” e “percebido” pelos ciclistas estarem relacionadas com o tipo de viagem e que, para viagens utilitárias, ambos desempenham um papel importante. Por exemplo, o uso da bicicleta pode ser desestimulado mesmo em locais caracterizados objetivamente por um grande potencial ciclável caso aspectos culturais ou o índice de criminalidade local exerçam considerável influência na escolha modal.

Van Dyck *et al.* (2012) procuraram avaliar a relação entre os atributos de uma vizinhança e a adesão de seus moradores ao transporte ativo, além de investigarem a conformidade dos resultados entre diferentes países e gêneros dos próprios ciclistas. Questionários foram aplicados em quatro cidades de três países distintos: Adelaide (Austrália), Ghent (Bélgica), Baltimore e Seattle (EUA). Mais ainda, os autores se beneficiaram de dados socioeconômicos da população, agregados por unidades administrativas das cidades elencadas, além de informações como conectividade da rede,

tipo de uso do solo e decorrente acessibilidade a PGVs, existência de facilidades para pedestres e ciclistas etc. Os resultados permitiram o desenvolvimento de um índice ciclável consistente com o padrão de deslocamento dos ciclistas estudados, a despeito do contexto em que estão inseridos e de seu gênero, cujas variáveis previsoras são a proximidade aos PGVs por bicicleta, a existência de infraestruturas cicloviárias, a “dificuldade” em se estacionar próximo às áreas comerciais e os aspectos estéticos das vias.

Winters *et al.* (2013) adaptaram o índice de caminhabilidade proposto em Hirsch *et al.* (2013) para sugerirem o índice ciclável que viria a ser conhecido como *Bike Score*®. Para isto, os autores ampararam-se em dados empíricos de pesquisas de opinião, estudos comportamentais e grupos focais, com o intuito de elencar estímulos e barreiras do ambiente construído ao ciclismo que pudessem ser mapeados em plataformas SIG, bem como quantificar sua importância relativa. Cinco parâmetros foram selecionados: densidades de 1) rotas cicláveis e de 2) PGVs por bicicleta, ambas em um raio de ação de 400 metros a partir do centroide de uma unidade de análise; 3) existência de infraestruturas cicloviárias, em um raio de ação de 200 metros; 4) conectividade viária e 5) topografia. Os resultados de um estudo de caso conduzido em Vancouver (Canadá) sugerem uma correlação positiva entre o índice proposto e viagens utilitárias locais.

Também no contexto canadense, Larsen, Patterson e El-Geneidy (2013) desenvolveram uma metodologia voltada à identificação de locais prioritários à provisão de infraestruturas cicloviárias. Por meio de um estudo de caso conduzido em Montreal, os autores se beneficiaram de pesquisas de origem-destino para quantificar a demanda real por ciclismo, assim como a potencial, traduzida em viagens curtas e realizadas por automóvel que, teoricamente, poderiam ser realizadas por bicicleta. Além disto, foram utilizados, no estudo, os resultados de uma pesquisa *online* previamente realizada junto aos ciclistas locais, que permitiu traçar o perfil socioeconômico dos mesmos, indagá-los a respeito de suas preferências frente às diversas tipologias cicloviárias, registrar as respectivas demandas por novas facilidades etc. Mais ainda, bancos de dados disponibilizados pela agência pública local de seguros veiculares foram utilizados para o georreferenciamento de milhares de acidentes envolvendo ciclistas entre 2003 e 2008. Os resultados permitiram associar os diferentes indicadores apresentados, aos quais foram conferidos iguais pesos, de forma agregada em uma camada *raster* com resolução espacial de 300 metros, em que a cada célula foi atribuído um “índice de priorização” e que, sobreposta ao mapa das

infraestruturas cicloviárias dispersas até então existentes, permitiu sugerir a incorporação de novas tipologias, objetivando-se uma rede cicloviária.

Analogamente, Grigore *et al.* (2019) desenvolveram um índice ciclável em parceria com o departamento de mobilidade da cidade de Basel (Suíça), com o intuito de nortear investimentos na rede cicloviária local. Para isto, inicialmente, cada segmento viário foi avaliado de acordo com sua declividade (com base em normas suíças que tratam da redução da velocidade de ciclistas, em rampas ascendentes, e do risco desses ciclistas se envolverem em acidentes, em rampas descendentes), tipo de infraestrutura cicloviária, "perigos" ao longo do percurso (traduzidos por estacionamentos, porcentagem de veículos pesados, conflitos com o transporte coletivo etc.) e condições de entorno (áreas verdes e corpos d'água). Já as interseções foram avaliadas em termos de conversões, existência de semáforos e impactos surtidos pelo eventual tratamento das mesmas, por exemplo, via *bike-boxes* (espaços reservados aos ciclistas para que se posicionem à frente dos automóveis em interseções semaforizadas). Fatores de equivalência foram atribuídos, em função da qualidade operacional de cada elemento, e a acessibilidade a potenciais destinos de viagem por bicicleta foi mensurada com base na minimização desta "distância total percebida" pelos ciclistas. Os resultados permitiram mapear o potencial ciclável local em uma camada *raster* e sinalizam para um limitado impacto da inserção de infraestruturas cicloviárias no contexto estudado.

Krenn, Oja e Titze (2015) mapearam o potencial ciclável da cidade de Graz (Áustria), por meio de uma camada *raster* com resolução espacial de 100 metros, em uma escala de 1 a 10, baseando-se em fatores de influência na escolha das rotas pelos ciclistas locais, identificados pela comparação entre rotas reais e rotas homólogas mínimas. A partir de cada célula, foram definidos raios de ação de 200 metros, com o intuito de incluir também os atributos das células adjacentes à avaliação final. A existência de infraestruturas cicloviárias e de vias com maior hierarquia funcional foi avaliada em termos de extensão total (metros dentro da área de influência); a existência de trajetos exclusivos aos ciclistas, como variável binária; as condições do entorno, em termos de metros quadrados de áreas verdes e corpos d'água e; a topografia, da declividade média da área de influência.

Uma metodologia semelhante foi empregada por Gu *et al.* (2018), que buscaram mensurar o potencial ciclável de quatro cidades chinesas, Tianjin, Chongqing, Kunming e Shijiazhuang, utilizando dados abertos, como mapeamentos colaborativos, imagens de

navegação a nível do solo e informações que permitiram o georreferenciamento de zonas residenciais e de possíveis PGVs pelo transporte ativo. Os segmentos viários locais foram avaliados sob três aspectos: 1) segurança, isto é, existência de ciclofaixas e taxa de estacionamentos irregulares ao longo das mesmas, tratamento de interseções etc.; 2) conforto, traduzido pela continuidade de tipologias cicloviárias, taxa de sombreamento da via etc.; e 3) conveniência, mensurada em função da densidade de vias de tráfego e interseções dentro de uma área de influência, além da acessibilidade às facilidades para ciclistas. Os resultados sugerem que a avaliação da segurança por variáveis binárias remete a potenciais cicláveis bastante semelhantes em três das quatro cidades estudadas, com exceção de Chongqing, caracterizada por um terreno montanhoso.

Lin e Wei (2018), com o intuito de avaliar o potencial ciclável relativo entre as 53 zonas de tráfego do distrito de Daan, em Taipei (Taiwan), buscaram propor um método que, segundo os próprios autores, não compartilhasse das desvantagens apontadas em outros trabalhos desenvolvidos até então, como, por exemplo, a interdependência entre fatores inclusos em análises multicritério. Para isto, foram elencadas três perspectivas de avaliação: 1) compatibilidade, traduzida em termos de infraestruturas para ciclistas e pedestres, características geométricas e operacionais das vias de tráfego, além do transporte público; 2) amenidade de condições adversas, tanto do ambiente natural quanto construído, ao ciclismo e 3) acessibilidade, mensurada tanto em função de parâmetros da própria rede quanto do tipo de uso do solo. Ao todo, vinte e cinco critérios objetivos foram definidos, quantificados, submetidos a um processo de normalização e, beneficiando-se do mais comum dentre os processos de hierarquia analítica (*Analytic Network Process*, ou ANP), comparados par a par visando-se a definição de fatores de ponderação. Os resultados sugerem que dentre as regiões avaliadas com o menor potencial ciclável, destacam-se aquelas afetadas por terrenos acidentados. Já as regiões com alto potencial ciclável são aquelas dotadas de áreas verdes, além de numerosas vias arteriais, neste último caso, por disporem de espaço para a acomodação de infraestruturas cicloviárias.

2.5 REDES CICLOVIÁRIAS

Em muitos países europeus, além de outros como os Estados Unidos, Canadá e Austrália, as autoridades nacionais, estaduais e municipais em transportes têm investido há quase três décadas no ciclismo com o intuito de promover sistemas sustentáveis de transporte (PUCHER; BUEHLER, 2012), enfatizando cada vez mais o planejamento de

redes cicloviárias em detrimento de infraestruturas isoladas (BUEHLER; DILL, 2016). Já no contexto da América Latina, embora alguns municípios também tenham desenvolvido projetos cicloviários a nível de rede, como Bogotá (Colômbia) (RODRIGUEZ-VALENCIA *et al.*, 2019) ou Santiago (Chile) (MORA; TRUFFELLO; OYARZÚN, 2021), esforços neste sentido ainda são tímidos. Especificamente no Brasil, planos cicloviários nacionais nunca foram desenvolvidos e nas raras cidades onde são construídas redes cicloviárias, como em São Paulo, muitas infraestruturas são dispostas em locais com baixa demanda de viagens por bicicleta, além de em diversas ocasiões estas tipologias não estarem conectadas entre si (GUERREIRO *et al.*, 2018).

A conectividade é um dos parâmetros mais relevantes na avaliação de redes cicloviárias e, normalmente, é quantificada em função da estrutura da própria rede, como pela densidade de interseções (LOWRY *et al.*, 2012). Em abordagens alternativas e de caráter recente, no entanto, a conectividade tem sido interpretada como a manutenção da qualidade operacional ao longo dos consecutivos segmentos viários que integram uma rota (MEKURIA; FURTH; NIXON, 2012). Nesse sentido, considerando o estresse de ciclistas, o planejamento de redes que atendam às necessidades e expectativas da maior parte da demanda cicloviária pode ser norteado pelo limite de estresse tolerável por aqueles “Interessados, mas preocupados” (*Interested but concerned*) (MCLEOD; BABB; BARLOW, 2020).

Lowry e Loh (2017), por exemplo, buscaram quantificar a conectividade da rede viária de Seattle (EUA), antes e depois de intervenções hipotéticas, utilizando o conceito de “rota ciclável de baixo estresse”: os PGVs por bicicleta só seriam considerados acessíveis, a partir de uma determinada origem, se os respectivos trajetos origem-destino obedecessem a uma série de condições de contorno, dentre elas, serem caracterizados integralmente por níveis de estresse toleráveis à maioria da população adulta (LTS 1 ou 2).

Analogamente, Lowry, Furth e Hadden-Loh (2016) se beneficiaram da classificação LTS para elencar trechos viários, também de Seattle (EUA), com prioridade de investimento em ciclismo. Por meio da atribuição de fatores de equivalência a interseções e segmentos viários caracterizados por diferentes qualidades operacionais e acomodações ao tráfego de ciclistas, os autores procederam com a identificação de “rotas cicláveis de baixo estresse” e com o cálculo da importância relativa de cada elemento da rede (centralidade).

A mesma lógica supracitada foi utilizada no trabalho de Moran *et al.* (2018). Ao definirem a centralidade de cada segmento da rede, os autores puderam ranquear os trechos viários da cidade de Filadélfia (EUA) com prioridade de investimento em ciclismo, isto é, aqueles que, caso tivessem seu nível de estresse diminuído, garantiriam uma maior conectividade da rede ao potencializarem “rotas cicláveis de baixo estresse”. Mais ainda, os autores advogam que projetos ciclovitários pontuais, como a provisão de infraestruturas isoladas em locais que beneficiaram-se de melhores classificações LTS, embora aparentemente inconsequentes, podem escalar gradualmente para “redes ciclovitárias de baixo estresse”.








No Brasil, em particular, Monari e Segantine (2022) também utilizaram a classificação LTS e o conceito de centralidade de segmentos viários (proporção de utilização dos mesmos nas rotas cicláveis identificadas) para propor eixos cicláveis³ contínuos nas cidades de Bariri-SP e Bocaina-SP. Outras abordagens, no entanto, se beneficiaram de modelos de nível de serviço ou de estresse dissonantes da classificação LTS, como as propostas por Kirner (2006) e por Magalhães, Campos e Bandeira (2015), ambas baseadas no modelo de Dixon (1996), ou por Monari e Segantine (2019), amparada pelo BSL. Mais ainda, alheios à utilização destas métricas, pesquisadores brasileiros como Neri (2012) e Guerreiro (2016) combinaram SIG e análise multicritério para o planejamento de redes ciclovitárias em cidades de porte médio.

Outros importantes critérios para a definição de redes ciclovitárias documentados na literatura internacional são aqueles baseados na minimização dos custos monetários (DUTHIE; UNNIKISHNAN, 2014) e na otimização da integração da bicicleta com o transporte público (ZUO; WEI, 2019).

A título de ilustração, o Quadro 2.3 exemplifica elementos de sinalização vertical que podem ser utilizados para a realização de uma rede ciclovitária, apresentados no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2021).

³ Neste trabalho, a expressão *eixo ciclável* será utilizada como a tradução do termo genérico *bikeway* que, segundo Toole (2010), corresponde a qualquer estrada, rua ou trajeto que, de alguma forma, é especificamente indicado ao uso da bicicleta, podendo dispor de infraestruturas exclusivas ao tráfego de ciclistas ou ser caracterizado pelo tráfego misto.

Quadro 2.3: Exemplos de sinalização vertical ciclovária.

Código	Significado	Utilização	Sinal
R-19	Regulamenta o limite máximo de velocidade em que o veículo pode circular na pista ou faixa, válido a partir do ponto onde o sinal é colocado	Nos locais onde é necessário regulamentar a velocidade máxima permitida para bicicleta em valor diferenciado dos veículos automotores	
R-36c	Assinala que a calçada, canteiro, passagem subterrânea de pedestres, passarela, trecho de via, pista ou faixa(s) é de circulação compartilhada de ciclistas e pedestres	Principais acessos, recomendando-se em trechos longos a sua repetição no mínimo a cada 150 metros e no máximo a cada 200 metros	
A-30a	Adverte ao condutor do veículo da existência, adiante, de trecho de pista ao longo do qual ciclistas circulam pela via ou cruzam a pista	Sempre que ocorrer circulação frequente ou travessia não sinalizada de ciclistas na via	
A-30b	Adverte ao condutor de veículo da existência, adiante, de marcação de cruzamento rodociclovário	Quando a marcação de cruzamento rodociclovário for de difícil percepção pelo condutor ou que possa comprometer a segurança dos usuários da via	
A-30c	Adverte os usuários da via da existência, adiante, de trecho de via com trânsito compartilhado entre o ciclista e o pedestre	Pode ser utilizada quando ocorrer circulação compartilhada de ciclista e pedestre, na mesma via, pista, obras de arte especiais, canteiro central ou calçada	
-	Indica ao ciclista a existência de bicicletário	Deve ser utilizada quando for necessário orientar ao ciclista sobre o trajeto até o bicicletário	
-	Indica ao ciclista a direção que ele(a) deve seguir para atingir determinados lugares, orientando seu percurso, distâncias e/ou tempo de viagem	Deve ser utilizada em pontos de decisão para ciclistas, onde não é possível o ciclista utilizar o referencial para motoristas e em ciclorrotas	

Fonte: CONTRAN (2021).

Com relação à qualidade de uma rede ciclovária, segundo Schoner e Levinson (2014), redes densas e caracterizadas pela combinação de diversas facilidades para ciclistas impactam no uso da bicicleta de forma mais relevante que aquelas simplesmente extensas. A atratividade, isto é, quando as infraestruturas projetadas integram-se ao ambiente circundante (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007), e a coerência dos trajetos propostos com a malha urbana, garantindo aos ciclistas diferentes rotas para se alcançar um mesmo

destino de viagem (PETTINGA *et al.*, 2009), também são importantes atributos a serem considerados na definição de eixos cicláveis, embora de difícil mensuração ou representação geoespacial, principalmente a atratividade, sem a condução de auditorias ou de pesquisas específicas (HULL; O'HOLLERAN, 2014).

Em contrapartida, de forma extremamente objetiva, o projeto de uma rede cicloviária muitas vezes é balizado por limitações orçamentárias (MAUTTONE *et al.*, 2017; LIU; SZETO; LONG; 2019), principalmente em cidades do hemisfério sul, o que reflete em problemas relacionados à cobertura da rede proposta, não servindo totalmente à demanda por ciclismo (OSPINA *et al.*, 2022). Neste contexto, trabalhos desenvolvidos nacionalmente têm sugerido porcentagens mínimas de cobertura da área de estudo como critério para eventual aceitação de propostas de redes cicloviárias, variando de 50% nos maiores municípios (NERI, 2012) a 70% nos menores (MONARI, 2018).

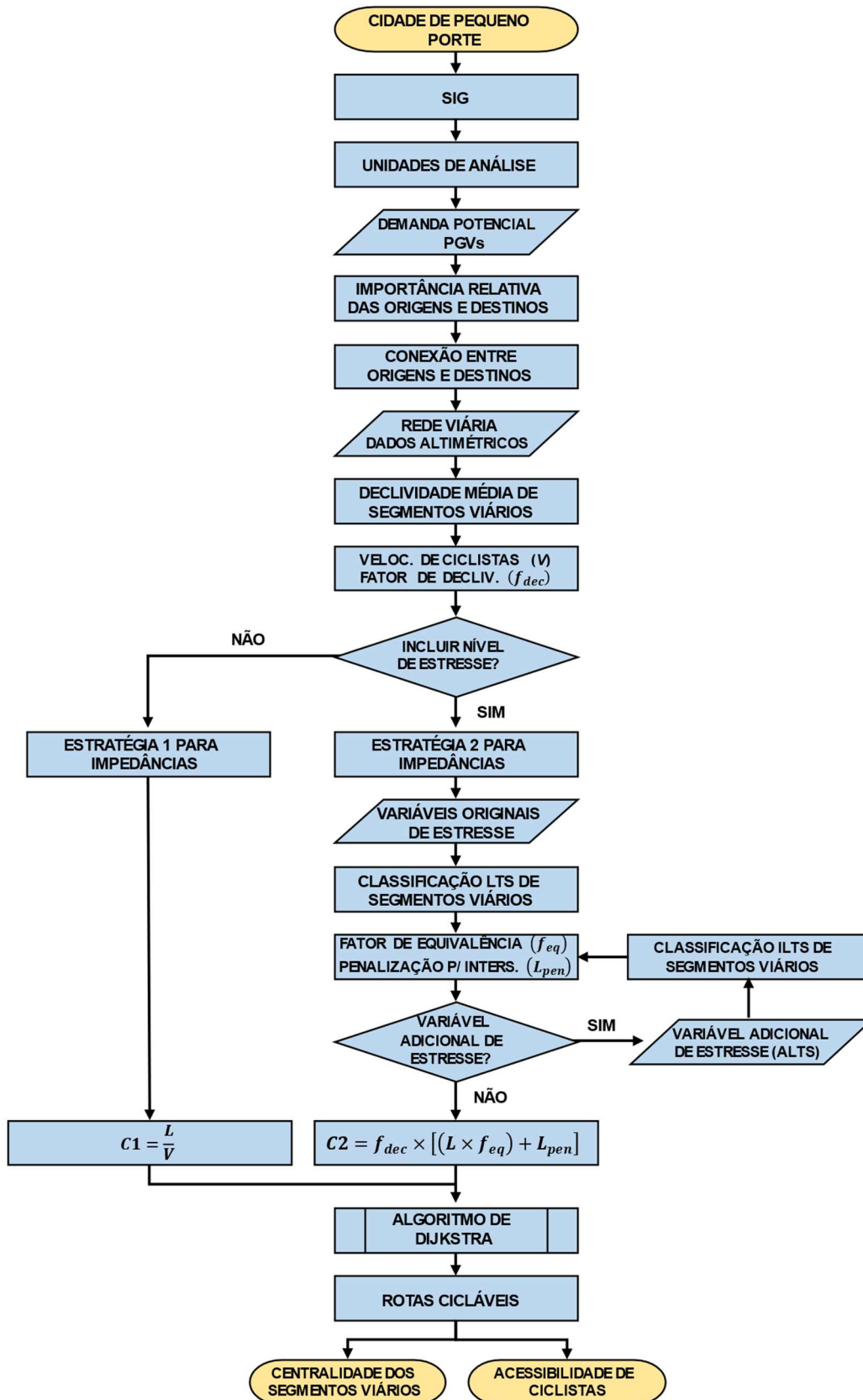
3 MATERIAIS E MÉTODO

Neste Capítulo, são apresentados os materiais e o método da pesquisa. Em síntese, inicialmente, devem ser mapeadas a acessibilidade de ciclistas e a centralidade de cada segmento viário de um determinado local de estudo. Em seguida, com base nos segmentos viários de maior centralidade, devem ser definidos eixos cicláveis que componham uma rede cicloviária, bem como propostas eventuais intervenções no sistema viário que garantam uma qualidade operacional homogênea ao longo desses eixos. Por último, devem ser simulados os benefícios de tais intervenções à facilidade de acesso de ciclistas aos potenciais PGVs por bicicleta.

Com o propósito de exemplificar a aplicação do método, estudos de caso foram conduzidos para três distintos municípios brasileiros localizados no Estado de São Paulo: Bocaina, Bariri e Ibitinga. Além da familiaridade do autor deste trabalho com os locais de estudo, a seleção dos mesmos é justificada por vários motivos: (i) apesar de todas as cidades escolhidas serem classificadas como de pequeno porte, são observadas diferenças populacionais e de extensão significativas entre elas; (ii) as cidades de Bariri-SP e Ibitinga-SP possuem Planos de Mobilidade Urbana, permitindo confrontar os resultados de aplicação do método com o planejamento cicloviário em vigor nestes municípios; e (iii) a cidade de Bocaina-SP foi recentemente reconhecida pelo governo estadual como de interesse turístico (PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAINA, 2019), além de, assim como Ibitinga-SP, possuir particularidades topográficas que as configuram como interessantes objetos de estudo.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma de etapas iniciais do método, cujo produto final é justamente o mapeamento da acessibilidade de ciclistas e das centralidades de segmentos viários. As seções que a sucedem têm o objetivo de discorrer sobre os conjuntos de dados abertos, softwares livres e suplementos estatísticos gratuitos utilizados nos estudos de caso, bem como sobre cada parâmetro a ser estimado nesse estágio inicial (velocidade de ciclistas (V), fatores de declividade (f_{dec}) e de equivalência entre diferentes níveis de estresse (f_{eq}), comprimento de “penalização” para interseções (L_{pen}) etc.). A abordagem foi incrementalmente desenvolvida em três fases, permitindo avaliar os impactos da incorporação gradual de variáveis de estresse nos índices de acessibilidade e de centralidade: i) sem considerar variáveis de estresse, ii) considerando a classificação LTS original e iii) incorporando variáveis adicionais de estresse à classificação original.

Figura 3.1: Método para o mapeamento da acessibilidade de ciclistas e das centralidades dos segmentos viários em cidades de pequeno porte.



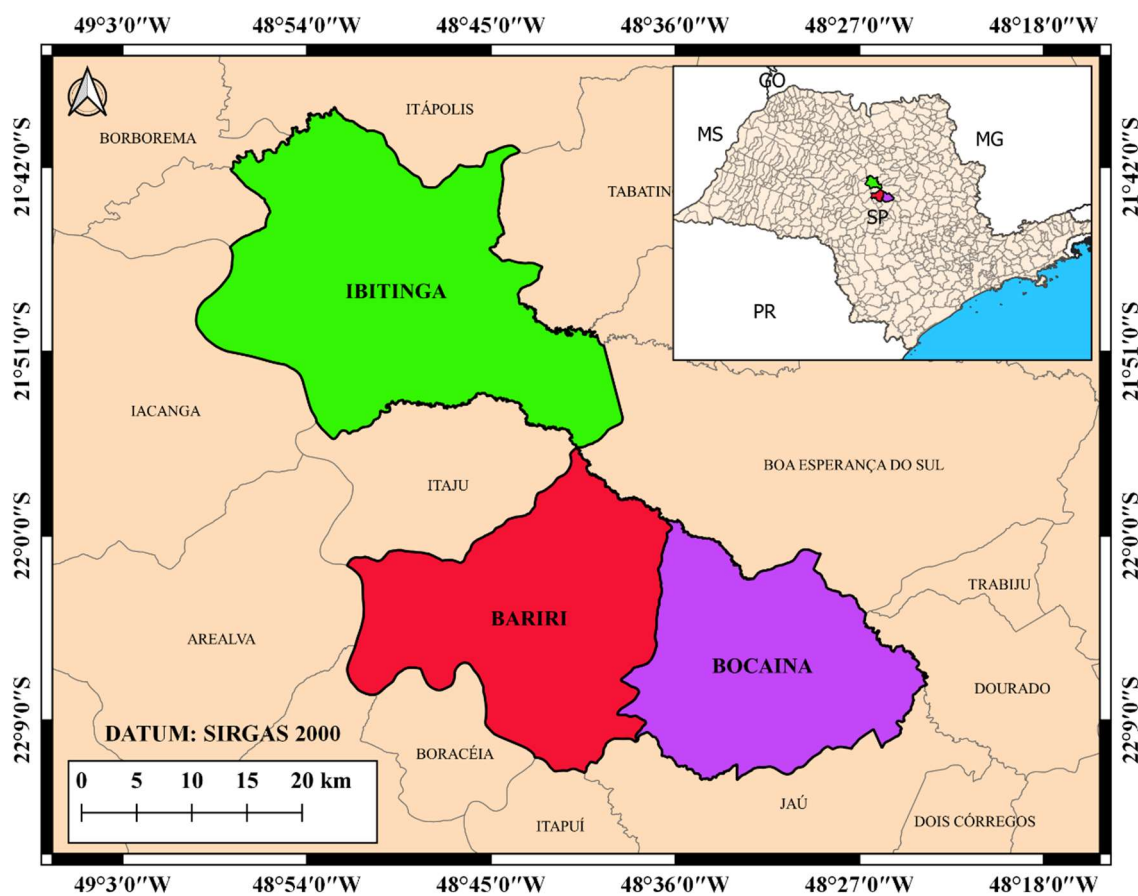
Fonte: O Autor (2022).

A proposta de rede cicloviária, por sua vez, deve ser norteada pelos resultados de testes estatísticos comparativos entre valores homólogos de centralidade mensurados em cada fase. Para um melhor entendimento deste estágio do método, o leitor pode referir-se à Figura 3.17, na seção “3.12 PROPOSTA DE REDE CICLOVIÁRIA”.

3.1 LOCALIZAÇÃO DAS CIDADES ESTUDADAS

A Figura 3.2 apresenta o mapa de localização das cidades estudadas. As cidades de Bocaina-SP e Bariri-SP pertencem à mesorregião de Bauru-SP e possuem populações próximas de, respectivamente, 13 mil e 36 mil habitantes. Já Ibitinga-SP pertence à mesorregião de Araraquara-SP e estima-se que sua população atual seja de pouco mais de 61 mil habitantes (IBGE, 2021). Ainda com relação a esta última, ressalta-se que a mesma é reconhecida como a “capital nacional do bordado”, sendo caracterizada por diversas indústrias, fábricas e lojas ligadas ao setor têxtil.

Figura 3.2: Mapa de localização das cidades estudadas.



Fonte: Adaptado de IBGE (2020).

3.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O geoprocessamento de dados espaciais requer o uso de plataformas SIG que permitam operações de armazenamento, gerenciamento, consulta, conversão, interpolação etc. de informações às quais podem ser atribuídas coordenadas (SEGANTINE, 2001).

O QuantumGIS (QGIS) consiste em um SIG disponível gratuitamente para *download* e que permite a codificação de complementos em Python, sendo, a cada nova versão do programa, mais *plugins* disponibilizados aos usuários. A versão QGIS 3.8.2 “Zanzibar”, utilizada neste trabalho, possui ferramentas próprias à análise de redes de transporte, permitindo, mesmo que de maneira não tão direta quanto um SIG-T comercial, a criação de grafos, o cálculo de rotas por diferentes critérios, a avaliação de áreas de serviço etc. Mais ainda, o QGIS permite que o usuário trabalhe com feições vetoriais (pontos, linhas e polígonos) ou camadas *raster* (formato matricial), além de possuir interface com o *Microsoft Excel* via “arquivo de texto delimitado” (com extensão .csv).

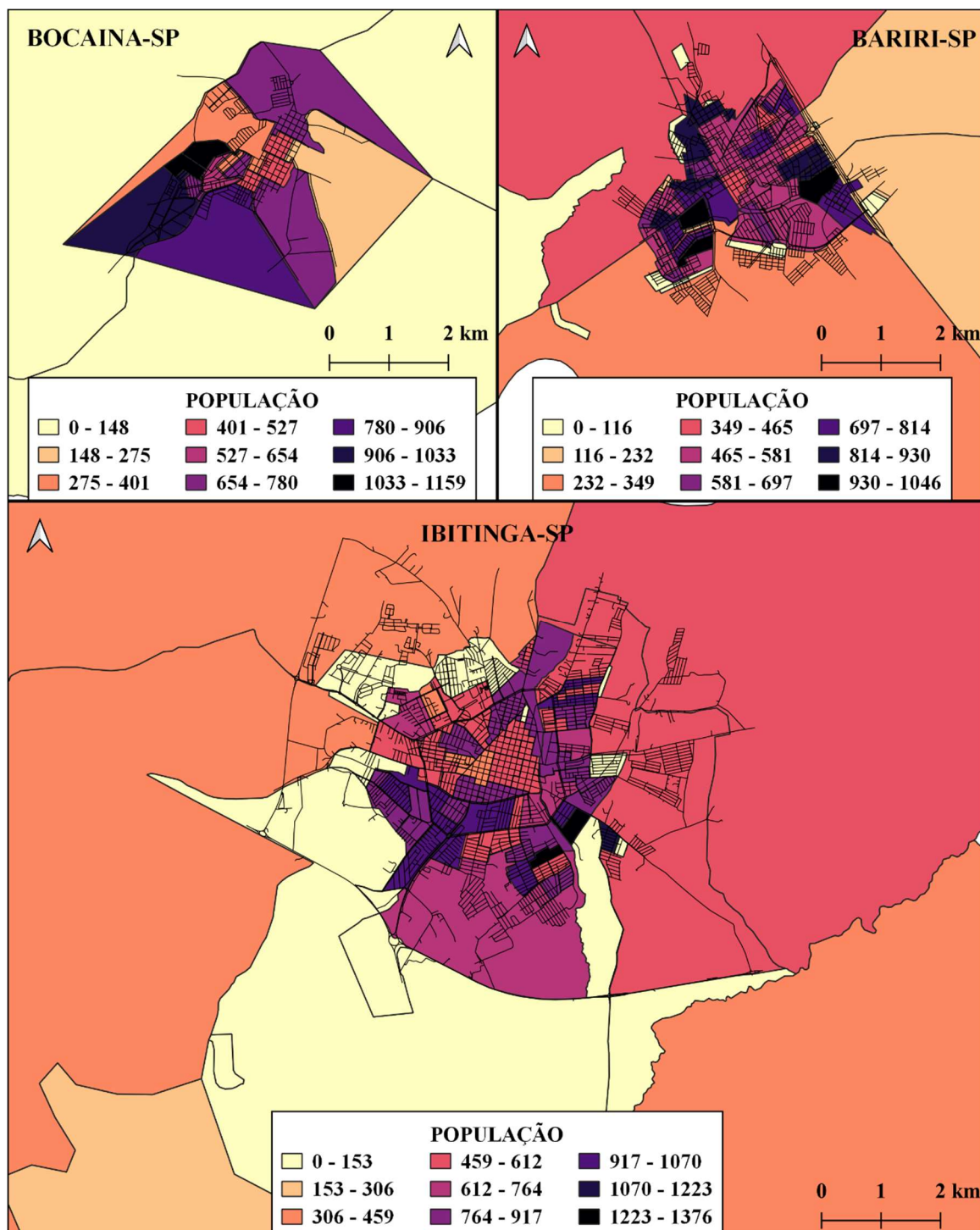
3.3 UNIDADES DE ANÁLISE

A definição das origens e destinos das rotas cicláveis a serem calculadas e a subsequente quantificação da acessibilidade de ciclistas aos potenciais PGVs por bicicleta requer a subdivisão da área de estudo em unidades de análise. Neste sentido, sugere-se aos planejadores nacionais dos transportes a utilização da grade estatística, uma camada vetorial georreferenciada, disponibilizada pelo IBGE, que consiste em um conjunto de células regulares (200 x 200 metros em regiões urbanas). A opção por este recurso é justificada pelo fato de que maiores unidades de análise podem estar sujeitas à “falácia ecológica”, isto é, à aceitação de que a facilidade de alcance aos potenciais PGVs é uniforme entre todos os indivíduos que nelas residem (IACONO; KRIZEK; EL-GENEIDY, 2010), o que muitas vezes não ocorre.

3.3.1 Demanda potencial por ciclismo

Para se estimar a demanda potencial por ciclismo em cada unidade de análise, são necessários dados populacionais agregados, conforme exemplificado na Figura 3.3 para as cidades de estudo. Estas informações são oferecidas no repositório digital do IBGE, que é responsável pela condução (a cada 10 anos) e pelo gerenciamento dos resultados do censo demográfico nacional.

Figura 3.3: População total por setor censitário das cidades de estudo.



Fonte: O Autor (2022).

De forma resumida, compete ao IBGE disponibilizar camadas vetoriais georreferenciadas e representativas dos setores censitários, que são devidamente codificados de acordo com a Unidade da Federação (UF) e com o município em que estão inseridos. Além disso, os resultados dos levantamentos de campo realizados pelas equipes

do IBGE, em cada setor, também são disponibilizados, contudo, em forma de tabela. Assim, com um SIG, é possível associar cada polígono, por meio de seu código individual, com dados agregados da respectiva população residente, como a população total e frações da mesma pertencentes a diferentes gêneros, faixas etárias e de renda mensal. A transferência destas informações à grade estatística pode ser feita de maneira ponderada pela área de interseção entre as camadas vetoriais.

Neste contexto, a pandemia do novo Coronavírus (COVID-19) e as decorrentes orientações sanitárias para minimização do contágio, postas em vigor ainda no início de 2020, fizeram com que o censo demográfico programado para o mesmo ano fosse suspenso (decisão mantida também durante todo o ano de 2021 devido a restrições orçamentárias), sendo iniciado apenas em 2022. Desta forma, até o momento da pesquisa, não se fazem existentes dados censitários atualizados, contudo, em razão do aspecto metodológico da mesma, optou-se pela utilização dos dados oficiais referentes ao censo de 2010.

De posse dos dados agregados por unidade de análise, a demanda potencial por ciclismo pode ser estimada ponderando-se a população pertencente simultaneamente a determinadas faixas de idade e renda pelas respectivas porcentagens apresentadas na Tabela 3.1, conforme a Equação 3.1. Essas porcentagens correspondem aos valores médios da distribuição de ciclistas de cidades brasileiras de pequeno porte em 4 faixas etárias (k) e 3 faixas de renda (s) de interesse, compilados utilizando-se 9 das 11 cidades inclusas no trabalho de Soares e Guth (2018), que buscaram, conforme discutido no referencial teórico, generalizar o perfil desses ciclistas. As cidades de Gurupi-TO e Mambaí-GO foram excluídas da análise devido às suas consideráveis parcelas de ciclistas com menos de 10 anos de idade, limite a partir do qual são fornecidos dados censitários com relação à renda.

Tabela 3.1: Fatores de ponderação (h_{ks}) para cada combinação entre idade (k) e renda (s).

Faixa de renda		Faixa etária			
		k			
		1	2	3	4
s	Salários mínimos	10 a 29 anos	30 a 49 anos	50 a 69 anos	70 anos ou mais
1	≤ 2	27,5	20,5	13,6	2,2
2	2 - 5	6,7	5,0	3,3	0,5
3	> 5	8,9	6,7	4,4	0,7

Fonte: Adaptado de Monari e Segantine (2022).

$$q_i = \sum_{k=1}^4 \sum_{s=1}^3 h_{ks} \times p_{ks_i} \quad (3.1)$$

Em que:

q_i : demanda potencial por ciclismo na origem i ;

h_{ks} : fator de ponderação para a combinação entre idade k e renda s ; e

p_{ks_i} : população da origem i pertencente ao grupo de idade k e de renda s .

3.3.1.1 Importância relativa das origens das viagens por bicicleta

A importância relativa das unidades de análise no tocante às origens das viagens por bicicleta é calculada de acordo com a Equação 3.2.

$$Q_i = \frac{q_i}{\sum_{i \in O} q_i} \quad (3.2)$$

Em que:

Q_i : multiplicador para demanda potencial por ciclismo na origem i ; e

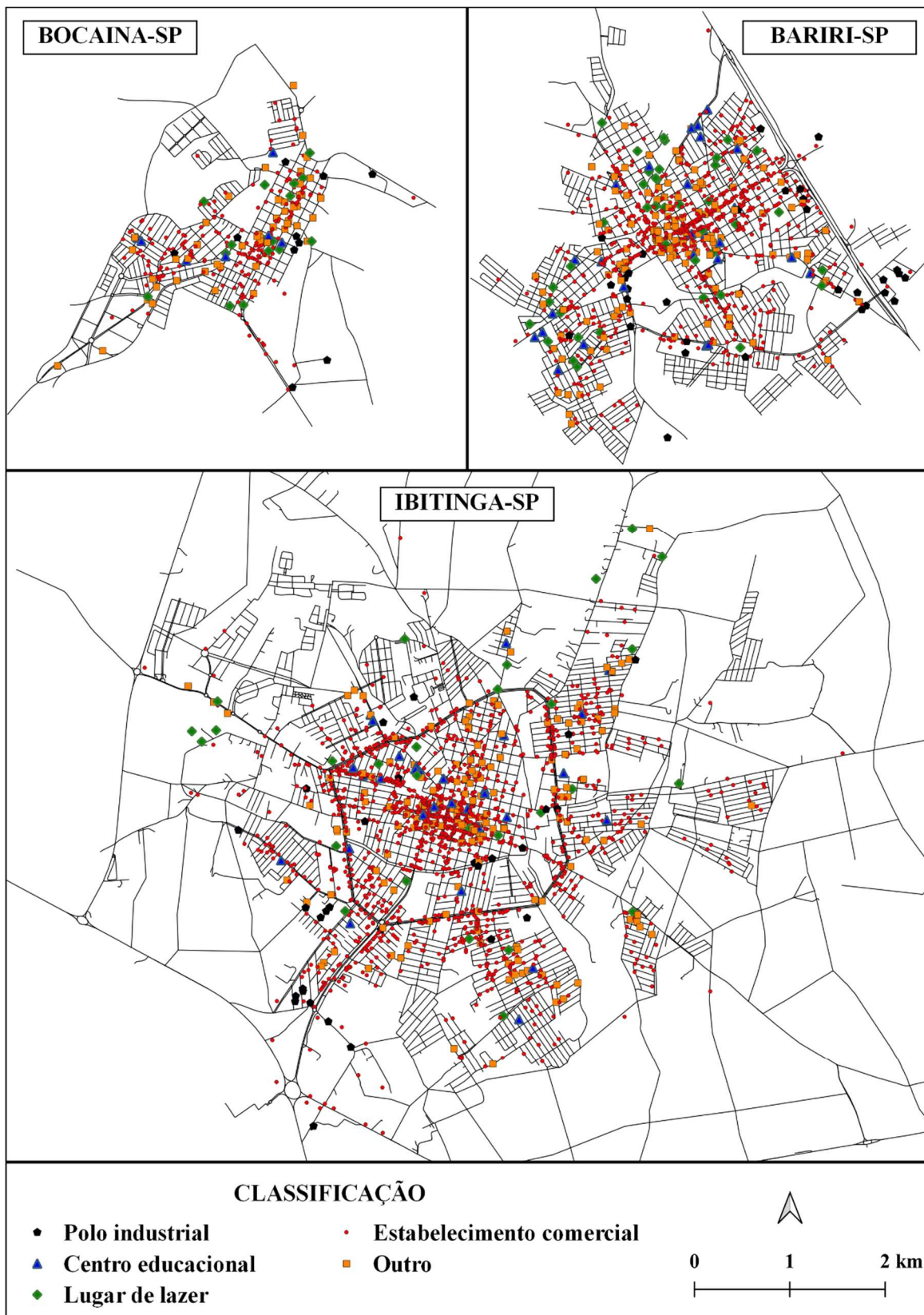
O : conjunto de todas as origens.

3.3.2 Georreferenciamento dos PGVs por bicicleta

O georreferenciamento dos PGVs por bicicleta pode ser realizado por uma busca detalhada por estas instalações na plataforma *Google Maps*, utilizando-se para tal o aplicativo gratuito *Google Earth Pro*. O software em questão permite salvar “lugares temporários” de interesse ao usuário em arquivo KML (*Keyhole Markup Language*), que pode ser aberto no QGIS como uma camada vetorial de pontos.

A Figura 3.4 apresenta a distribuição destes potenciais destinos de viagem por bicicleta nos estudos de caso. Ao todo, foram identificados 288, 977 e 1.766 PGVs, respectivamente, nas cidades de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibatinga-SP. Além disso, cada PGV foi classificado (l) e ponderado (b_l) de acordo com o sistema de pontuação apresentado na Tabela 3.2, adaptado do trabalho de McNeil (2011).

Figura 3.4: PGVs por bicicleta nas cidades de estudo.



Fonte: O Autor (2022).

Tabela 3.2: Sistema de pontuação para PGVs por bicicleta.

Classificação	PGV por bicicleta	l	b_l
Polo industrial	Fábrica ou indústria	1	20,0
Centro educacional	Creche	2	2,5
	Pré-escola	3	2,5
	Ensino Fundamental	4	5,0
	Ensino Médio	5	5,0
	Faculdade	6	5,0
Lugar de lazer	Clube	7	10,0
	Parque ou praça	8	10,0
Estabelecimento comercial	Comércio de mercadorias específicas	9	2,5
	Salão de estética, barbearia etc.	10	2,5
	Loja de roupas	11	5,0
	Restaurante, lanchonete, bar etc.	12	5,0
	Supermercado ou mercearia	13	5,0
Outro	Serviço em geral (banco, correios etc.)	14	5,0
	Organização religiosa	15	5,0
	Unidade de saúde	16	10,0
Total			100,0

Fonte: Adaptado de McNeil (2011).

Em síntese, além das instalações listadas no trabalho base, foram considerados também outros destinos de viagem como indústrias e fábricas, visto que a maioria dos ciclistas brasileiros deslocam-se por motivo de trabalho (LOBO; ANDRADE; RODRIGUES, 2020). Assim, cinco classes de PGVs foram definidas e a todas elas foi atribuído o mesmo peso, isto é, 20 de um total de 100 pontos: “Polo industrial”, “Centro educacional”, “Lugar de lazer”, “Estabelecimento comercial” e “Outro”. Cada classe, por sua vez, foi subdividida de forma a contabilizar a importância relativa entre as distintas instalações de mesma natureza. Por exemplo, dentre os PGVs classificados como “Estabelecimentos comerciais”, espera-se que um supermercado atraia um maior contingente de viagens por bicicleta quando comparado com um estabelecimento voltado ao comércio de mercadorias específicas. Mais ainda, alguns equipamentos urbanos considerados na publicação original foram descartados (por não serem empregados recorrentemente nos menores centros urbanos brasileiros, como pontos de parada de

Veículos Leves sobre Trilhos, ou VLT), alguns dos PGVs considerados separadamente no trabalho base foram reagrupados em novas categorias (como “Bancos” e “Agências de correios”, agregados agora em “Serviço em geral”) e novas subclasses foram criadas (como “Unidades de saúde”). Ao todo, 16 subclasses foram definidas.

Nas cidades de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP, nessa ordem, foram georreferenciados 10, 31 e 30 polos industriais; 7, 26 e 31 centros educacionais; 16, 40 e 28 lugares de lazer; 204, 755 e 1.516 estabelecimentos comerciais; e 51, 125 e 161 PGVs de outra natureza. Ressalta-se que o rigor do georreferenciamento destas instalações está condicionado à qualidade, completude e atualização dos dados da plataforma utilizada, sendo passível de incertezas, porém servindo ao propósito da pesquisa, cujo enfoque é, novamente, metodológico.

A atratividade de viagens por bicicleta em cada unidade de análise pode ser calculada pela Equação 3.3.

$$a_j = \sum_{l=1}^{16} b_l \times u_{j,l} \quad (3.3)$$

Em que:

a_j : atratividade do destino j ao ciclismo;

b_l : pontos atribuídos ao PGV tipo l ; e

$u_{j,l}$: número de PGVs tipo l agregados no destino j .

3.3.2.1 Importância relativa dos destinos das viagens por bicicleta

De forma análoga à conduzida para as origens, a importância relativa das unidades de análise no tocante aos destinos das viagens por bicicleta é calculada de acordo com a Equação 3.4. No entanto, para esta etapa, destaca-se que em cada célula da grade estatística deve ser verificada a densidade de pontos no interior do polígono.

$$M_j = \frac{a_j}{\sum_{j \in J} a_j} \quad (3.4)$$

Em que:

M_j : multiplicador para atratividade do destino j ; e

J : conjunto de todos os destinos.

3.4 CONEXÃO ENTRE ORIGENS E DESTINOS

A conexão entre os diversos pares origem-destino da área de estudo requer a representação da malha viária de forma georreferenciada, atualizada e coerente. Neste contexto, muitos projetos recentes em transportes têm se beneficiado de mapeamentos colaborativos, como o *OpenStreetMap* (OSM), no qual as feições vetoriais fazem alusão ao eixo diretriz das vias de transporte e, uma vez validada sua topologia, podem ser empregadas diretamente nos complementos SIG para identificação de rotas. É válido destacar ainda que, além da geometria das feições, o OSM também inclui atributos pertinentes a uma parcela das mesmas, como o sentido de circulação permitido, a classificação funcional, o tipo de superfície (pavimentada ou não) etc.

Os dados OSM dos estudos de caso foram baixados por meio do complemento *OSMDownloader* do QGIS. Todas as feições não representativas de trechos viários (construções, hidrografia etc.) foram eliminadas e espaços cicláveis não previstos nas camadas originais foram vetorizados, como passeios compartilhados por ciclistas e pedestres e ciclofaixas⁴, conforme exemplificado, respectivamente, pelas Figuras 3.5 e 3.6. Em seguida, cada camada vetorial foi subdividida em um conjunto simplificado de arestas, onde em cada extremo ou interseção foi adicionado um vértice, criando-se, para cada município, um grafo. As redes finais para as cidades de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP, consistem, nesta ordem, em 804, 2.261 e 4.205 segmentos viários.

Na ausência de infraestruturas cicloviárias, a bicicleta possui preferência sobre o tráfego motorizado, porém os ciclistas devem respeitar os sentidos de circulação das vias (CTB, 2010). Embora evidente que muitos ciclistas trafegam na contramão, é desejável que o planejamento cicloviário ocorra de maneira consoante com os sentidos regulamentados (MONARI; SEGANTINE, 2019). Estas restrições (representadas por valores

⁴ Embora na Figura 3.6 a sinalização vertical empregue o termo “ciclovía”, nota-se que as infraestruturas cicloviárias em questão são contíguas à pista de rolamento de veículos motorizados e identificadas por dispositivos delimitadores, configurando, portanto, ciclofaixas.

característicos atribuídos a cada feição vetorial em uma coluna específica da tabela de atributos, geralmente, sendo 0 atribuído ao fluxo em ambas às direções, 1 à direção à vante e -1 à direção à ré), nas cidades de estudo, além dos atributos OSM originais, foram definidas por meio de visitas *in situ* e da navegação a nível do solo via *Google StreetView*.

Figura 3.5: Passeios compartilhados por ciclistas e pedestres em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 3.6: Ciclofaixas em Bariri-SP.

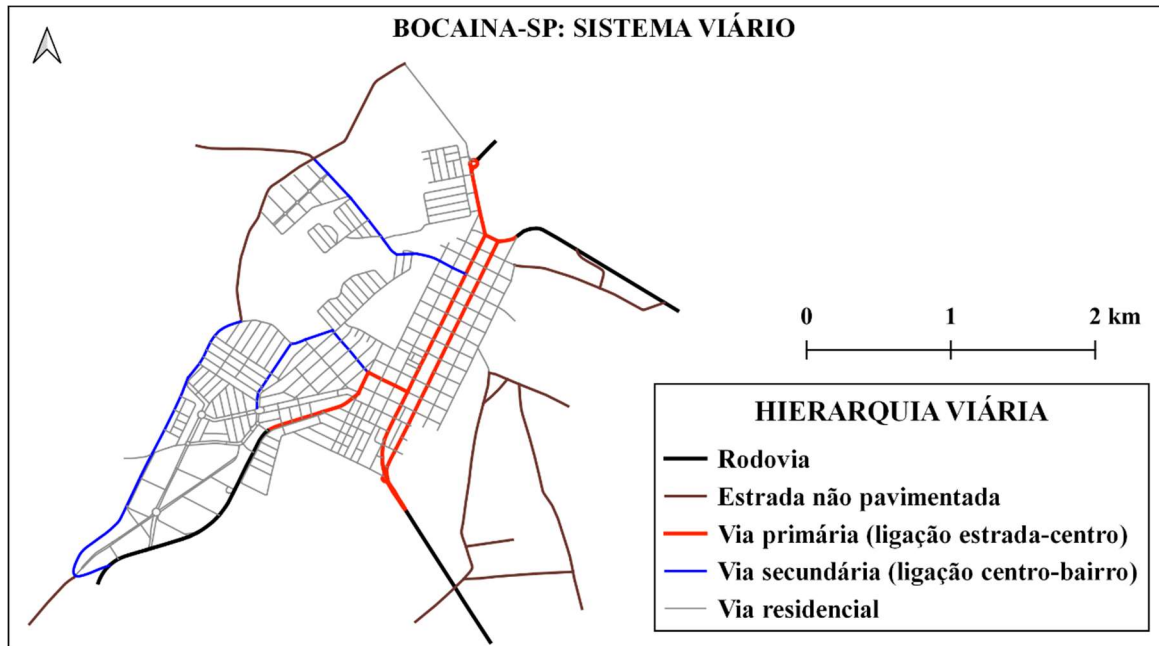


Fonte: O Autor (2022).

3.4.1 Hierarquia viária

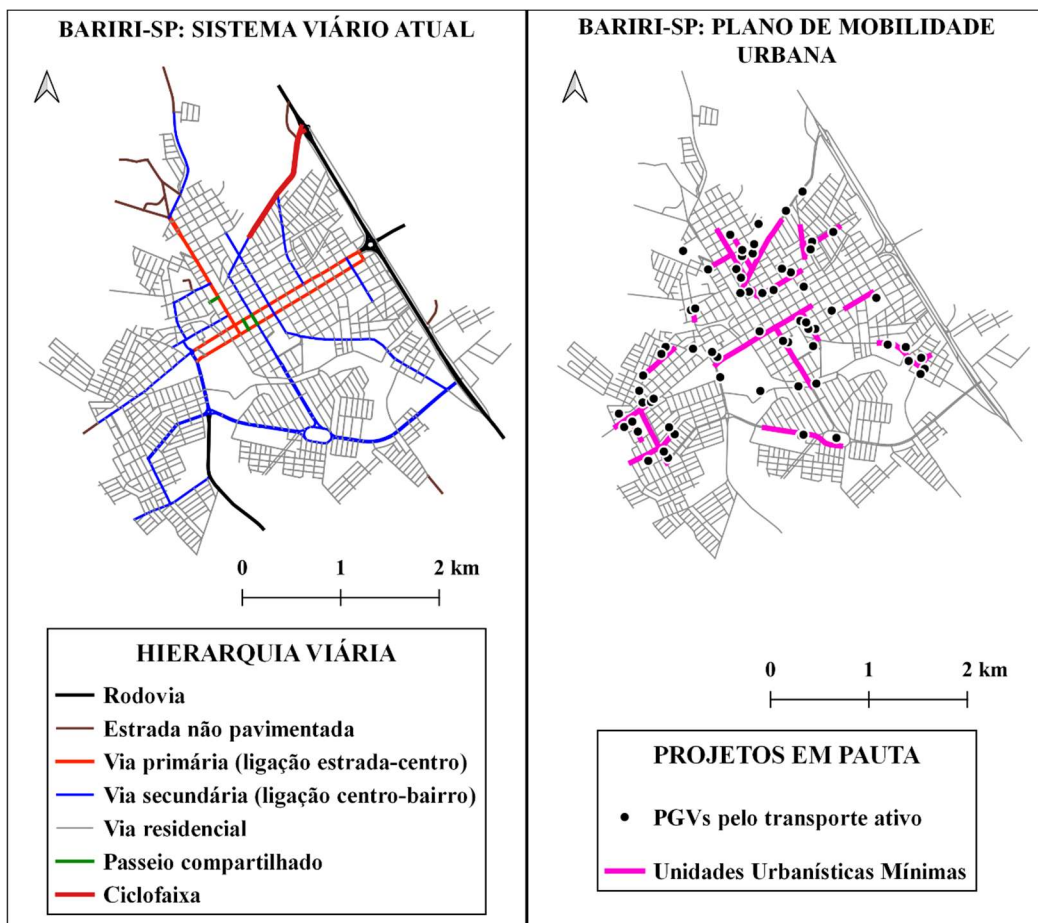
Com relação à organização do tráfego, as cidades de Bocaina-SP e Bariri-SP não dispõem de vias arteriais ou de trânsito rápido. Desta forma, a hierarquização viária destes municípios, conforme apresentado nas Figuras 3.7 e 3.8, pode ser conduzida por uma abordagem alternativa, assim como em Monari (2018): uma via é classificada como primária ao promover a articulação estradas-centro, como secundária ao promover a ligação centro-bairros e como residencial quando destinada ao acesso local.

Figura 3.7: Sistema viário de Bocaina-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 3.8: Sistema viário e UUMs de Bariri-SP.

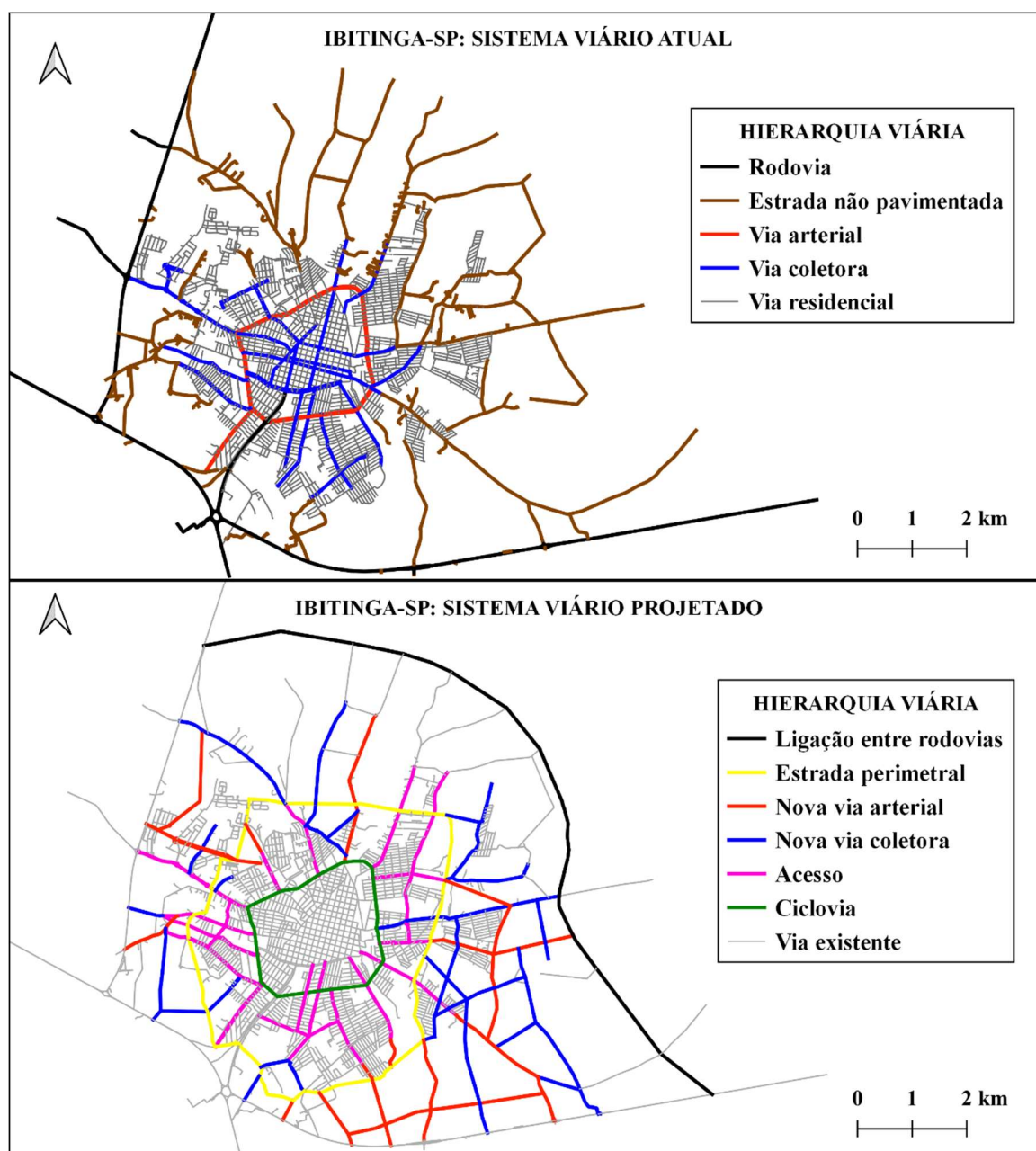


Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Bariri (2016).

Para o caso de Bariri-SP, na Figura 3.8, são apresentados também projetos cicloviários que constam no Plano de Mobilidade Urbana preparado para o município, isto é, nove conjuntos distintos de segmentos viários que compõem as intituladas Unidades Urbanísticas Mínimas (UUMs), responsáveis por articular os 67 PGVs locais de maior importância ao transporte ativo, segundo a administração municipal (PREFEITURA MUNICIPAL DE BARIRI, 2016).

Os sistemas viários atual e projetado para Ibitinga-SP são mostrados na Figura 3.9.

Figura 3.9: Sistemas viários atual e projetado para Ibitinga-SP.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Ibitinga (2021).

O Plano Diretor Participativo da Estância Turística de Ibitinga foi apresentado na forma da Lei Complementar Nº 213, de 06 de maio de 2021 (PREFEITURA MUNICIPAL DE IBITINGA, 2021), e as informações referentes ao sistema viário projetado para o município foram gentilmente cedidas pelas autoridades municipais do Departamento de Ocupação do Solo e Fiscalização. Em síntese, são propostos 14 km de novas rodovias interligando as já existentes, 18 km de uma nova estrada perimetral, 29 km de novas vias arteriais, 36 km de novas vias coletoras, 37 km de novos acessos e 8 km de ciclovias bidirecionais alocadas no canteiro central do atual anel viário (Figura 3.10).

Figura 3.10: Canteiro central do atual anel viário de Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

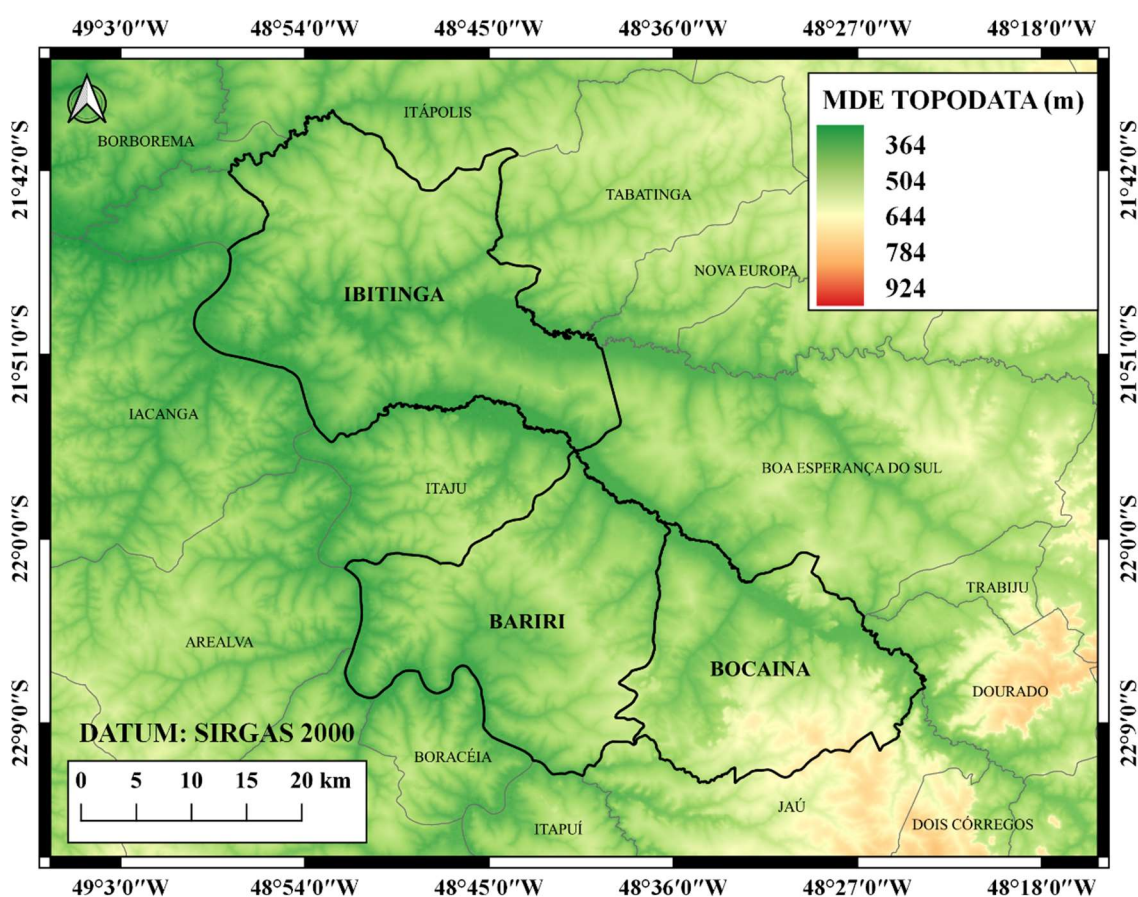
3.5 DADOS ALTIMÉTRICOS

Apesar da notória influência das condições topográficas de uma região de estudo no uso da bicicleta (conforme discutido no referencial teórico), nem sempre se fazem disponíveis mapas topográficos acurados produzidos a partir de levantamentos a nível do solo. Assim, Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são comumente empregados para suprir essa carência por subsídios técnicos (ZIEMKE; METZLER; NAGEL, 2017; MASRI; BIGAZZI, 2019) e, embora seja importante avaliar a qualidade das informações extraídas destes modelos, por exemplo, por meio do Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (DSG, 2011) e de sua usabilidade a demandas específicas dos usuários (IBGE, 2017), muitos deles podem contribuir com o planejamento

cicloviário em função de sua disponibilidade gratuita, ampla cobertura e fácil utilização em ambiente SIG.

Neste contexto, o MDE TOPODATA, apresentado na Figura 3.11, foi utilizado como fonte de dados altimétricos dos locais de estudo. Trata-se de um MDE abertamente oferecido à comunidade acadêmica pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e que consiste em uma derivação do modelo *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), isto é, no reprocessamento dos dados originais, ao longo do território brasileiro, para que fosse atingida uma maior resolução espacial (30 metros) (VALERIANO; ROSSETI, 2012).

Figura 3.11: MDE TOPODATA para as cidades de estudo.



Fonte: Adaptado de INPE (2008) e IBGE (2020).

Segundo a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979) e por meio da utilização consecutiva dos complementos *r.reclass* e *r.report* do QGIS, estima-se que aproximadamente 62% da área urbana de Bariri-SP possui declividades limitadas a 3% (terreno plano), sendo praticamente todo o restante caracterizado por declividades entre 3 e 8% (terreno suavemente ondulado). Já as cidades

de Bocaina-SP e Ibitinga-SP são majoritariamente caracterizadas por terrenos suavemente ondulados (nesta ordem, 63% e 61% de suas áreas urbanas).

3.5.1 Declividade média de segmentos viários

A declividade média de cada segmento viário na rede, em todas as cidades de estudo, foi quantificada da seguinte forma: para cada vértice do grafo previamente definido, foi extraída uma altitude do MDE TOPODATA local por meio do complemento *Point Sampling Tool* do QGIS e, em seguida, procedeu-se com a particularização de rampas ascendentes e descendentes no sistema viário por meio de uma análise conjunta dos desníveis entre os pontos inicial e final de cada aresta do grafo e dos sentidos de circulação permitidos para as mesmas. Ressalta-se ainda que, para os segmentos viários de “mão dupla”, procedeu-se com a duplicação dos mesmos na rede e com a atribuição de um único sentido de circulação a cada segmento sobreposto, diferenciando-os em subidas e descidas e, assim, possibilitando avaliar um mesmo segmento como mais ou menos atrativo ao ciclismo dependendo-se de como o mesmo é percorrido.

3.5.2 Velocidade de ciclistas (*V*)

Na primeira fase da abordagem proposta, isto é, sem considerar variáveis de estresse, cada segmento viário deve ser avaliado de acordo o tempo que demanda para ser percorrido por bicicleta, que pode ser calculado pela razão entre o comprimento deste segmento e a respectiva velocidade esperada para ciclistas ao longo do mesmo. Para fins de planejamento cicloviário, apesar de influenciada por diversos fatores intrínsecos aos próprios ciclistas, esta velocidade pode ser estimada em função de valores padrão associados a características geométricas da via, dentre elas, a declividade média (rampa).

A Tabela 3.3 apresenta as velocidades consideradas neste trabalho para ciclistas que trafegam sob a influência de diferentes rampas. Os valores tabelados foram adotados com base em uma revisão do manual *Guide for the Development of Bicycle Facilities* (AASHTO, 1999) conduzida por Toole (2010), na qual são sugeridos os seguintes intervalos: 13 a 24 km/h para terrenos planos, 8 a 19 km/h para subidas e 32 a 50 km/h para descidas. Assim, admitindo-se como terreno plano taxas de declividade inferiores a 3% (EMBRAPA, 1979), foi adotada para tal situação a máxima velocidade sugerida à mesma, de 24 km/h. Para rampas de 3% a 5%, ainda admissíveis ao ciclismo (AASHTO, 1999), foi considerada uma variação de 8 km/h com relação à velocidade original, resultando em

valores para subidas e descidas de, respectivamente, 16 e 32 km/h, coerentes com a amplitude de cada situação. Analogamente, para rampas mais íngremes que 5%, foi adotada uma diferença de 16 km/h com relação à velocidade original, resultando em velocidades de 8 km/h para subidas e de 40 km/h para descidas.

Tabela 3.3: Velocidades adotadas para ciclistas sob a influência de diferentes rampas.

Rampa (%)	V (km/h)	
	Subida	Descida
< 3	24	24
3 - 5	16	32
> 5	8	40

Fonte: Adaptado de Toole (2010).

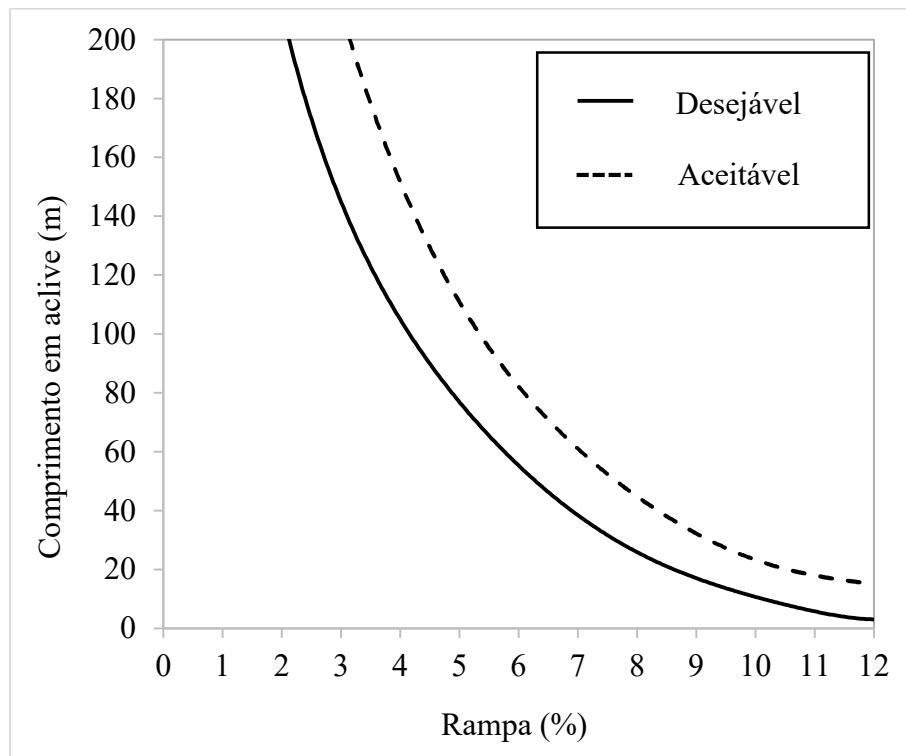
3.5.3 Fator de declividade (f_{dec})

Diferentemente de outras situações adversas ao ciclismo, para as quais podem ser adotadas soluções técnicas visando tornar o percurso mais compatível com o uso da bicicleta (*traffic calming*, fiscalização eletrônica de velocidade, alargamento de vias, pavimentação etc.), restrições de caráter técnico ou orçamentário raramente possibilitam alterações no perfil topográfico de vias existentes. Desta forma, diversos manuais técnicos têm proposto, desde a década de 1970, comprimentos em aclive desejáveis e aceitáveis à maioria dos ciclistas ao trafegarem por diferentes rampas ascendentes (FHWA, 1977; AASHTO, 1999), sendo um dos critérios mais recentes o do *Cycling Aspects of Austroads Guides* (AUSTROADS, 2014), apresentado na Figura 3.12. Para um melhor entendimento do leitor, pede-se considerar um trecho viário em rampa ascendente a uma taxa de 5%. De acordo com os critérios apresentados, qualquer comprimento deste trecho inferior a 80 metros é desejável à maioria dos ciclistas; entre 80 e 110 metros, aceitável, porém não ideal; e superior a 110 metros, não aceitável ou, em outras palavras, desestimulante ao ciclismo.

Neste contexto, nas segunda e terceira fases da abordagem proposta, que consideram variáveis de estresse, ao invés de serem atribuídas a segmentos viários velocidades esperadas ao longo dos mesmos em função de suas respectivas rampas, sugere-se que as condições topográficas do relevo sejam contabilizadas na forma de fatores de declividade, como em Monari, Segantine e Silva (2021), conforme apresentado na Equação 3.5. É válido destacar que para rampas descendentes, os manuais de planejamento

ciclovialário sugerem taxas de declividade ideais limitadas a 5%, de forma a garantir o equilíbrio e, conseqüentemente, a segurança viária de ciclistas (AUSTROADS, 2014). No entanto, neste trabalho, não foram atribuídos fatores de declividade para esses casos, visto que, inobstante ao grau de inclinação, rampas descendentes raramente desestimulam o ciclismo.

Figura 3.12: Comprimentos em aclave desejáveis e aceitáveis à maioria dos ciclistas.



Fonte: Austroads (2014, p. 96).

$$f_{dec_e} = \begin{cases} 1,00, & \text{se } Rampa_e < 3\% \text{ ou } L_e \leq L_{ac_e} \\ \frac{L_e}{L_{ac_e}}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.5)$$

Em que:

f_{dec_e} : fator de declividade do segmento viário e ;

$Rampa_e$: declividade média (rampa) do segmento viário e ;

L_e : comprimento do segmento viário e ; e

L_{ac_e} : comprimento em aclave aceitável ao ciclismo para o segmento viário e .

3.6 NÍVEL DE ESTRESSE DE CICLISTAS: CLASSIFICAÇÕES LTS E ILTS

Ainda com relação às segunda e terceira fases da abordagem proposta, cada segmento viário deve ser avaliado com relação ao seu nível de estresse relacionado ao ciclismo. As Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam os critérios utilizados neste trabalho para a classificação LTS de segmentos viários (segunda fase). Em decorrência do fato de que a maior parte das cidades brasileiras de pequeno porte, incluindo as do estudo de caso, não dispõem de informações em larga escala acerca de seus fluxos veiculares, é proposta a utilização da classificação LTS original para as situações de tráfego misto, cujas variáveis previsoras são resumidas ao limite de velocidade, número de faixas de tráfego e existência de *centerlines* (MEKURIA; FURTH; NIXON, 2012). Para as ciclofaixas, no entanto, sugere-se a versão mais recente da classificação LTS, atualizada de 2017 (FURTH, 2017).

Tabela 3.4: Classificação LTS original para situações de tráfego misto.

Limite de velocidade (km/h)	Número de faixas de tráfego por direção		
	2 - 3	4 - 5	≥ 6
≤ 40	LTS 1 ou 2 ⁵	LTS 3	LTS 4
50	LTS 2 ou 3 ⁵	LTS 4	LTS 4
≥ 60	LTS 4	LTS 4	LTS 4

Fonte: Mekuria, Furth e Nixon (2012, p. 21).

Tabela 3.5: Classificação LTS atualizada de 2017 para ciclofaixas.

Número de faixas por direção	Largura da ciclofaixa (m) ⁶	Velocidade (km/h)					
		≤ 40	50	60	65	70	≥ 80
1	≥ 1,80	LTS 1	LTS 2	LTS 2	LTS 3	LTS 3	LTS 3
1	1,20 – 1,60	LTS 2	LTS 2	LTS 2	LTS 3	LTS 3	LTS 4
2	≥ 1,80	LTS 2	LTS 2	LTS 2	LTS 3	LTS 3	LTS 3
2	1,20 – 1,60	LTS 2	LTS 2	LTS 2	LTS 3	LTS 3	LTS 4
3	Qualquer largura	LTS 3	LTS 3	LTS 3	LTS 4	LTS 4	LTS 4

Fonte: Furth (2017).

⁵ O menor valor é atribuído a segmentos viários sem *centerline* ou a vias residenciais com menos de 3 faixas de tráfego; o maior, caso contrário.

⁶ Inclui qualquer marcação do pavimento que delimite a ciclofaixa.

Em se tratando especificamente da terceira fase da abordagem proposta, uma vez concluída a classificação preliminar (LTS) de todos os elementos da rede, sugere-se proceder com a incorporação de duas das três variáveis adicionais de estresse identificadas por Rodrigues, Silva e Teixeira (2022) para o contexto brasileiro, isto é, a existência de obstáculos na via e a presença de rotatórias. Estas variáveis, associadas a *Additional Levels of Traffic Stress* (ALTSs), atuam de maneira a compor uma nova classificação, aqui intitulada *Improved Level of Traffic Stress* (ILTS), conforme apresentado nas Equações 3.6 a 3.8. A declividade das vias, também identificada por Rodrigues, Silva e Teixeira (2022) como fator determinante no aumento do estresse fisiológico de ciclistas, por sua vez, não deve ser incorporada na forma de ALTS, com o intuito de evitar a redundância de avaliação desta variável, visto o fator de declividade detalhado anteriormente.

$$ILTS = \text{mínimo} \{(LTS + ALTS_{obs} + ALTS_{rot}); 4\} \quad (3.6)$$

$$ALTS_{obs} = \begin{cases} 1, & \text{se existem obstáculos na via} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.7)$$

$$ALTS_{rot} = \begin{cases} 1, & \text{se o segmento viário integra ou intercepta uma rotatória} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.8)$$

Em que:

ILTS: classificação ILTS proposta para o nível de estresse de ciclistas;

LTS: classificação LTS original (ou atualizada) para o nível de estresse de ciclistas;

ALTS_{obs}: nível adicional de estresse devido à existência de obstáculos na via; e

ALTS_{rot}: nível adicional de estresse devido à presença de rotatórias.

Com relação à existência de obstáculos, Rodrigues, Silva e Teixeira (2022) advogam que estes elementos atuam como potenciais agravantes do estresse fisiológico de ciclistas independentemente do lado da via em que se encontram. Desta forma, são propostos os seguintes critérios para a atribuição do ALTS relacionado a esta variável: taxa de ocupação média entre os dois lados da via por veículos estacionados superior a 30% (HARKEY *et al.*, 1998) e existência de pontos de parada de coletivos (JENSEN, 2007; BEURA *et al.*, 2018). Já no tocante à presença de rotatórias, ALTSs devem ser atribuídos

tanto aos segmentos que as compõem, quanto àqueles que as interceptam. Vale destacar ainda que a classificação proposta é subdividida de forma análoga à original, isto é, mesmo para situações críticas onde são observados ambos os ALTSs, a classificação ILTS de um determinado segmento viário não deve ser superior a 4.

As Figuras 3.13 a 3.15 apresentam algumas das imagens registradas durante visitas *in situ* para o levantamento das variáveis previsoras das classificações LTS e ILTS, como o limite de velocidade (sinalização vertical) e o número de faixas de tráfego por direção de cada via, a existência de *centerlines* e rotatórias, a porcentagem de cada lado das vias destinada ao estacionamento de veículos, a largura de ciclofaixas etc. É importante destacar que, ainda que realizadas diversas visitas *in situ* em cada cidade, a demanda por informações em larga escala para aplicação do método em três estudos de caso só pôde ser suprida por consultas complementares na plataforma *Google StreetView*.

Para os locais onde dispunha-se de estudos prévios do tráfego local, estas informações também foram incluídas na avaliação do nível de estresse de ciclistas. Por exemplo: na cidade de Bariri-SP, dispunha-se de medições da velocidade média do tráfego motorizado em algumas das vias de maior hierarquia funcional, que foram utilizadas em substituição às velocidades regulamentadas para tais vias.

Figura 3.13: Levantamento das variáveis previsoras do nível de estresse de ciclistas em Bocaina-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 3.14: Levantamento das variáveis previsoras do nível de estresse de ciclistas em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

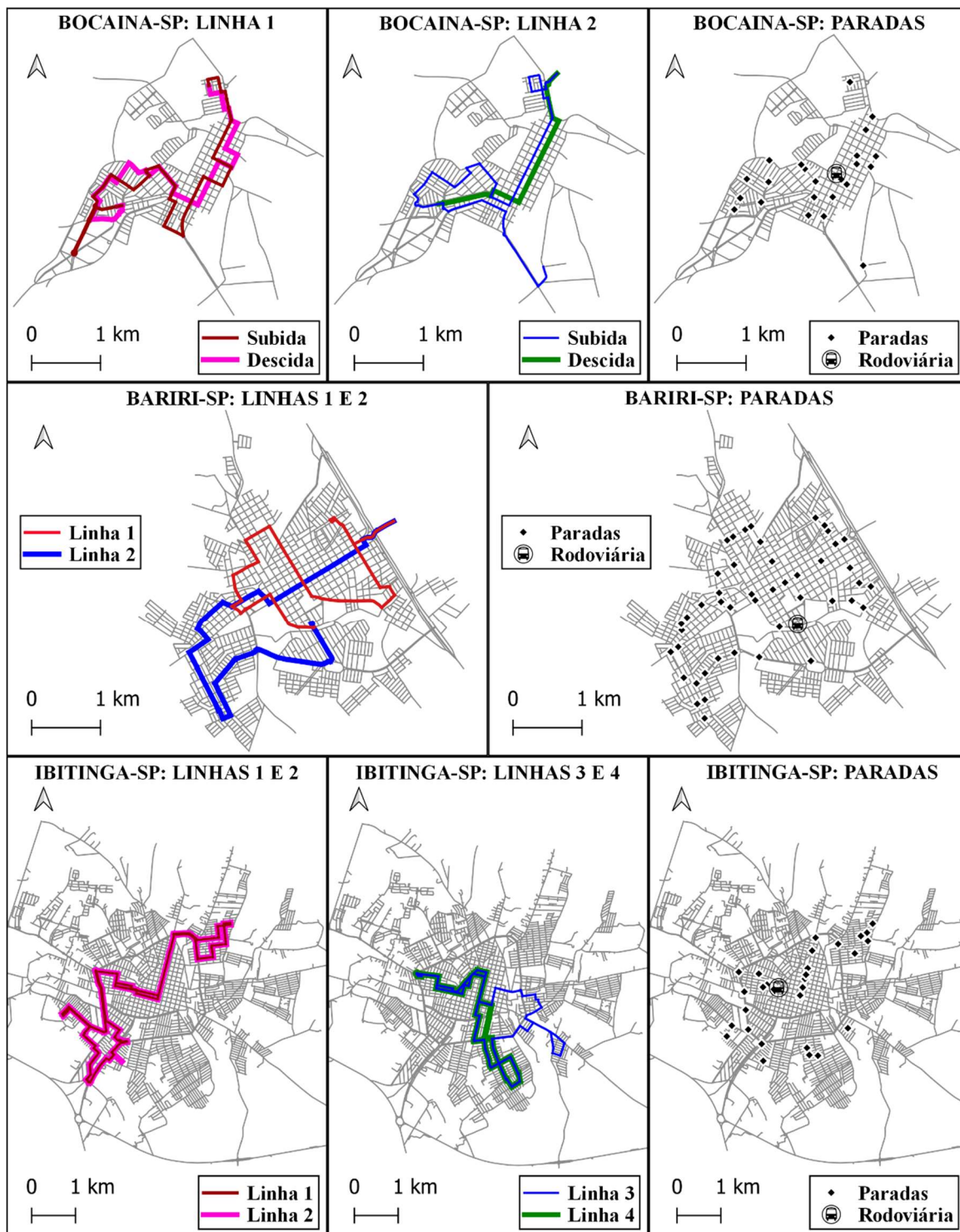
Figura 3.15: Levantamento das variáveis previsoras do nível de estresse de ciclistas em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Mais do que pelas visitas *in situ*, os pontos de parada de coletivos foram georreferenciados com base em informações disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Bocaina-SP e que constam nos Planos de Mobilidade Urbana preparados para os municípios de Bariri-SP e Ibitinga-SP, conforme apresenta a Figura 3.16.

Figura 3.16: Trajetos e pontos de parada de ônibus nas cidades de estudo.



Fonte: O Autor (2022).

3.6.1 Fator de equivalência (f_{eq})

A equivalência entre segmentos viários caracterizados por diferentes classificações LTS ou ILTS deve basear-se no conceito de Taxa Marginal de Substituição (TMS),

entendida na teoria econômica como a taxa pela qual consumidores optam pela substituição de um produto por outro (SALVATORE, 1984).

Diversos trabalhos da literatura têm proposto TMSs para quantificar os máximos desvios admissíveis aos ciclistas, com relação às rotas mais diretas, para que sejam evitados trechos viários caracterizados por condições precárias (HOOD; SALL; CHARLTON, 2011; BROACH; DILL; GLIEBE, 2012). Desta forma, considerando-se uma taxa percentual relativa de 15% (SEGADILHA, 2014; CERVERO; DENMAN; JIN, 2019), a padronização de segmentos viários com diferentes níveis de estresse deve ser baseada nos fatores de equivalência apresentados na Tabela 3.6. Para um melhor entendimento do leitor, supõe-se, por exemplo, que um ciclista esteja disposto a trafegar até 115 metros por um trecho viário classificado como LTS 1 (ou ILTS 1) em substituição a 100 metros deste mesmo trecho caso classificado como LTS 4 (ou ILTS 4).

Tabela 3.6: Fatores de equivalência entre as diferentes classificações LTS (ou ILTS).

Nível de estresse	Fator de equivalência (f_{eq})
LTS 1 (ou ILTS 1)	1,00
LTS 2 (ou ILTS 2)	1,05
LTS 3 (ou ILTS 3)	1,10
LTS 4 (ou ILTS 4)	1,15

Fonte: O Autor (2022).

3.6.2 Comprimento de “penalização” para interseções (L_{pen})

Conforme mencionado no referencial teórico, a classificação LTS também sugere critérios para avaliação de interseções não semaforizadas. As variáveis previsoras desta avaliação são o limite de velocidade e o número de faixas da via a ser cruzada, e os autores do modelo sugerem ainda que, para casos em que vias caracterizadas por diferentes hierarquias funcionais se interceptam sem a existência de semáforos, a classificação LTS da interseção seja também atribuída ao segmento viário daquela de menor hierarquia próximo ao cruzamento (MEKURIA; FURTH; NIXON, 2012).

Variantes desta metodologia, no entanto, têm sido propostas em trabalhos recentes, com destaque para as que buscam traduzir as diferentes qualidades operacionais de segmentos viários que se interceptam na forma de uma “penalização”, equivalente em

comprimento, àquele mais bem avaliado. A ideia geral é de que o estresse ao qual um ciclista está sujeito ao trafegar pela via com pior qualidade operacional seja também esperado em um trecho dos segmentos viários que a interceptam e, para isto, conforme sugerido na literatura, *buffers* de valores fixos com no máximo 25 metros (PRITCHARD; FROYEN; SNYZEK, 2019) devem ser considerados de forma proporcional a cada um dos quatro níveis crescentes de estresse da classificação LTS. Neste trabalho, *buffers* de 0, 5, 10 e 15 metros foram definidos para, respectivamente, as classificações LTS 1 a LTS 4 (ou ILTS 1 a ILTS 4), e a formulação matemática utilizada no cálculo dos comprimentos de “penalização” dos segmentos viários para interseções é apresentada pela Equação 3.9 (MONARI; SEGANTINE, 2022).

$$L_{pen_e} = \sum_{d \in E} w_{ed} \times (B_d - B_e) \times (f_{eq_d} - 1,00) \times \gamma_{ed} \quad (3.9)$$

Em que:

L_{pen_e} : comprimento de “penalização” do segmento viário e para interseções;

w_{ed} : interseção entre os segmentos viários e e d {não = 0; sim = 1};

B_e e B_d : *buffers* atribuídos, nesta ordem, aos segmentos viários e e d ;

f_{eq_d} : fator de equivalência do segmento viário d em função de seu nível de estresse;

γ_{ed} : critério para penalização {1, caso $LTS_d > LTS_e$ (ou $ILTS_d > ILTS_e$); 0, caso contrário}; e

E : conjunto de todos os segmentos viários da rede.

3.7 ATRIBUIÇÃO DE IMPEDÂNCIAS

Em função dos parâmetros anteriormente apresentados, são propostas duas estratégias distintas para atribuição de impedâncias a segmentos viários, conforme apresentam as Equações 3.10 e 3.11.

$$C1_e = \frac{L_e}{V_e} \quad (3.10)$$

$$C2_e = f_{dec_e} \times [(L_e \times f_{eq_e}) + L_{pen_e}] \quad (3.11)$$

Em que:

$C1_e$: impedância do segmento viário e na primeira fase da abordagem proposta; e

$C2_e$: impedância do segmento viário e nas segunda e terceira fases da abordagem proposta.

3.8 IDENTIFICAÇÃO DE ROTAS CICLÁVEIS

A identificação de rotas cicláveis, conforme o referencial teórico, deve basear-se no algoritmo de Dijkstra (1959). Neste contexto, as rotas cicláveis, em cada cidade de estudo, foram identificadas utilizando-se a seguinte metodologia: por meio do complemento *Distância para o ponto central mais próximo (pontos)* da “caixa de ferramentas de geoprocessamento” do QGIS, foi possível identificar o nó da rede mais próximo de cada centroide das células da grade censitária e acumular nestes nós os respectivos multiplicadores para origens e destinos. Em seguida, utilizando-se o complemento *Caminho mais curto (ponto para camada)* da “análise de rede” do QGIS, foi executado um processamento em lote, partindo-se de cada nó previamente identificado e com destino a todos os demais. Ao todo, foram identificadas para Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP, nesta ordem, 115.425, 152.475 e 376.996 rotas cicláveis em cada uma das três fases da abordagem proposta.

3.9 QUANTIFICAÇÃO DA ACESSIBILIDADE DE CICLISTAS

A formulação matemática para se quantificar a acessibilidade de uma determinada unidade de análise é baseada em métricas gravitacionais pioneiramente propostas por Ingram (1971), conforme apresentam as Equações 3.12 e 3.13.

$$A1_i = \sum_{j=1}^n M_j \times y(t_{ij}) \quad (3.12)$$

$$A2_i = \sum_{j=1}^n M_j \times y(D_{ij}) \quad (3.13)$$

Em que:

$A1_i$: acessibilidade da origem i na primeira fase da abordagem proposta;

$A2_i$: acessibilidade da origem i nas segunda e terceira fases da abordagem proposta;

$y(t_{ij})$: função de decaimento da acessibilidade para o menor tempo (t_{ij}) de viagem entre i e j ;

$y(D_{ij})$: função de decaimento da acessibilidade para a distância (D_{ij}) de viagem entre i e j ; e

n : número de unidades de análise.

3.9.1 Funções de decaimento da acessibilidade

As funções de decaimento da acessibilidade de ciclistas consideradas neste trabalho são apresentadas nas Equações 3.14 e 3.15.

$$y(t_{ij}) = \begin{cases} 1,00, & \text{se } t_{ij} \leq 5 \\ 0,75, & \text{se } 5 < t_{ij} \leq 10 \\ 0,50, & \text{se } 10 < t_{ij} \leq 15 \\ 0,25, & \text{se } 15 < t_{ij} \leq 20 \\ 0,00, & \text{se } t_{ij} > 20 \end{cases} \quad (3.14)$$

$$y(D_{ij}) = \begin{cases} 1,00, & \text{se } L_{\sigma_{ij}^*} \leq (0,25 \times \delta) \\ 0,75, & \text{se } (0,25 \times \delta) < L_{\sigma_{ij}^*} \leq (0,50 \times \delta) \\ 0,50, & \text{se } (0,50 \times \delta) < L_{\sigma_{ij}^*} \leq (0,75 \times \delta) \\ 0,25, & \text{se } (0,75 \times \delta) < L_{\sigma_{ij}^*} \leq (1,00 \times \delta) \\ 0,00, & \text{se } L_{\sigma_{ij}^*} > (1,00 \times \delta) \end{cases} \quad (3.15)$$

Em que:

t_{ij} : menor tempo de viagem entre i e j , em minutos;

$L_{\sigma_{ij}^*}$: comprimento da rota ciclável (σ_{ij}^*) entre i e j ; e

δ : limite de distância alcançável para bicicletas.

É de suma importância ressaltar que trabalhos da literatura que se beneficiam de metodologias semelhantes, geralmente, fazem o uso de funções de decaimento contínuas na forma exponencial negativa, contudo, que necessitam de estudos prévios ou de extensas coletas de informações para o ajuste de seus coeficientes (IACONO; KRIZEK; EL-GENEIDY, 2010; VALE; PEREIRA, 2017; HAMIDI; CAMPOREALE; CAGGIANI, 2019). Na ausência destas informações, portanto, podem ser adotadas funções de decaimento da medida de acessibilidade gravitacional ponderando-se intervalos de tempos ou distâncias de viagem, adequados aos limites toleráveis por ciclistas, ou até mesmo de porcentagens do comprimento de rotas cicláveis caracterizado por baixos níveis de estresse (GEHRKE *et al.*, 2020).

A primeira função de decaimento da acessibilidade ($y(t_{ij})$) está associada à atribuição de impedâncias isentas de variáveis de estresse. Conforme o referencial teórico, estima-se que 64% dos ciclistas em cidades brasileiras de pequeno porte alcançam importantes destinos de viagem em menos de vinte minutos (SOARES; GUTH, 2018), limite definido nesta pesquisa para caracterizar um determinado PGV por bicicleta como acessível, corroborando com outros trabalhos da literatura que se amparam no conceito da “vizinhança de 20 minutos” para definir o raio de ação de ciclistas (MCNEIL, 2011).

Já no que se refere à segunda função de decaimento da acessibilidade ($y(D_{ij})$), associada à atribuição de impedâncias com base nas classificações LTS ou ILTS, não há um consenso entre as diversas fontes da literatura com relação ao limite de distância alcançável para bicicletas (δ), sendo sugeridos valores entre 3 e 8 km (GEIPOT, 2011; MCDANIEL; LOWRY; DIXON, 2014; LOWRY; FURTH; HADDEN-LOH, 2016). Desta forma, considerando-se uma velocidade média de ciclistas de 15 km/h (JENSEN *et al.*, 2010; TRAFIKVERKET, 2016) e, novamente, um tempo máximo de 20 minutos para se acessar um determinado PGV, foi admitido para este trabalho um limite de 5 km para o raio de ação de ciclistas.

3.9.2 Equidade de acesso aos PGVs por bicicleta

Além da avaliação em termos gerais da acessibilidade de ciclistas a potenciais PGVs por bicicleta, uma análise complementar importante é a verificação da equidade desta facilidade de acesso entre indivíduos de diferentes gêneros (g) e pertencentes às diferentes faixas etárias (k) e de renda (s) apresentadas na subseção “3.3.1 Demanda potencial por

ciclismo”. Neste contexto, ponderando-se a acessibilidade em cada unidade de análise pelo respectivo número de residentes nas mesmas que enquadram-se nestes grupos, conforme as Equações 3.16 a 3.19, pode-se proceder com tal verificação.

$$A1_{gk} = \frac{\sum_{i \in O} p_{gk_i} \times A1_i}{\sum_{i \in O} p_{gk_i}} \quad (3.16)$$

$$A2_{gk} = \frac{\sum_{i \in O} p_{gk_i} \times A2_i}{\sum_{i \in O} p_{gk_i}} \quad (3.17)$$

$$A1_{gs} = \frac{\sum_{i \in O} p_{gs_i} \times A1_i}{\sum_{i \in O} p_{gs_i}} \quad (3.18)$$

$$A2_{gs} = \frac{\sum_{i \in O} p_{gs_i} \times A2_i}{\sum_{i \in O} p_{gs_i}} \quad (3.19)$$

Em que:

$A1_{gk}$ e $A2_{gk}$: índices de acessibilidade da população pertencente ao gênero g e ao grupo de idade k correspondentes, respectivamente, às estratégias 1 e 2 de atribuição de impedâncias a segmentos viários;

$A1_{gs}$ e $A2_{gs}$: índices de acessibilidade da população pertencente ao gênero g e ao grupo de renda s correspondentes, respectivamente, às estratégias 1 e 2 de atribuição de impedâncias a segmentos viários;

p_{gk_i} : população na origem i pertencente ao gênero g e ao grupo de idade k ;

p_{gs_i} : população na origem i pertencente ao gênero g e ao grupo de renda s ;

O : conjunto de todas as origens.

3.10 CENTRALIDADE DOS SEGMENTOS VIÁRIOS

Conforme mencionado de forma superficial no referencial teórico, na teoria dos grafos, a importância relativa de um determinado segmento viário à rede é denominada

“centralidade”, que pode ser mensurada de diversas formas que variam desde sua proximidade com outros segmentos e os nós da rede, até sua contribuição às rotas entre pares origem-destino de interesse (BRANDES, 2008). Neste último caso, a contribuição em questão pode ser ainda ponderada pela atratividade das zonas de destino e pela demanda potencial por ciclismo nas zonas de origem (MCDANIEL; LOWRY; DIXON, 2014), conforme apresentado nas Equações 3.20 a 3.22.

$$Centralidade1_e = \sum_{i \in O, j \in J} \sigma_{ij}^*(e) \times y(t_{ij}) \times Q_i \times M_j \quad (3.20)$$

$$Centralidade2_e = \sum_{i \in O, j \in J} \sigma_{ij}^*(e) \times y(D_{ij}) \times Q_i \times M_j \quad (3.21)$$

$$\sigma_{ij}^*(e) = \begin{cases} 1, & \text{se o segmento viário } e \text{ integra } \sigma_{ij}^* \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.22)$$

Em que:

Centralidade1_e: centralidade do segmento viário *e* na primeira fase da abordagem proposta;

Centralidade2_e: centralidade do segmento viário *e* nas segunda e terceira fases da abordagem proposta;

σ_{ij}^* : rota ciclável entre *i* e *j*;

O: conjunto de todas as origens; e

J: conjunto de todos os destinos.

3.11 COMPARAÇÃO ENTRE ROTAS E ÍNDICES HOMÓLOGOS

A comparação entre as rotas cicláveis homólogas identificadas em cada fase da abordagem proposta deve ser conduzida em função dos comprimentos desses trajetos, conforme as Equações 3.23 e 3.24, com o intuito de verificar se a incorporação gradual de variáveis de estresse reflete em diferenças significativas entre eles.

$$\Delta L1_{\sigma_{ij}^*} = L_{\sigma_{ij_{LTS}}^*} - L_{\sigma_{ij_t}^*} \quad (3.23)$$

$$\Delta L2_{\sigma_{ij}^*} = L_{\sigma_{ij_{ILTS}}^*} - L_{\sigma_{ij_{LTS}}^*} \quad (3.24)$$

Em que:

$\Delta L1_{\sigma_{ij}^*}$: diferença, em metros, entre as rotas cicláveis homólogas que conectam i e j minimizando, respectivamente, o somatório de impedâncias associadas à classificação LTS e o tempo de viagem de ciclistas;

$\Delta L2_{\sigma_{ij}^*}$: diferença, em metros, entre as rotas cicláveis homólogas que conectam i e j minimizando, respectivamente, os somatórios de impedâncias associadas às classificações ILTS e LTS;

$L_{\sigma_{ij_t}^*}$: comprimento da rota ciclável que conecta i e j minimizando o tempo de viagem de ciclistas;

$L_{\sigma_{ij_{LTS}}^*}$: comprimento da rota ciclável que conecta i e j minimizando o somatório de impedâncias associadas à classificação LTS; e

$L_{\sigma_{ij_{ILTS}}^*}$: comprimento da rota ciclável que conecta i e j minimizando o somatório de impedâncias associadas à classificação ILTS.

Analogamente, os índices homólogos de acessibilidade e de centralidade mensurados em cada fase também devem ser comparados. Para isto, é proposta a condução de testes estatísticos para amostras pareadas, como o Teste- t , nos casos em que as diferenças entre os valores homólogos de ambas as amostras seguem a distribuição normal; ou testes equivalentes não-paramétricos, como o teste de Wilcoxon, caso contrário (FIELD, 2009). Neste último caso, o teste é baseado na soma dos postos das diferenças positivas (T^+) e negativas (T^-), sob a hipótese nula de que não há diferença entre as medianas de ambas as amostras (RANA; SURYANARAYANA, 2019). Nos estudos de caso, todas essas análises estatísticas foram conduzidas com o auxílio do suplemento gratuito *Real Statistics* para *Microsoft Excel*.

3.11.1 Índices de Moran Global e Local

Uma análise complementar à comparação de acessibilidades homólogas, em termos absolutos, consiste em verificar, por meio do Índice de Moran Global (I), se as diferenças entre elas seguem um padrão espacial. Este índice é baseado na interdependência entre os valores observados para uma variável em uma determinada unidade de análise e em suas vizinhas, conforme apresentado na Equação 3.25, e cujos valores entre -1 e 0 indicam autocorrelação espacial negativa; e entre 0 e +1, positiva (MORAN, 1947). De forma similar, padrões espaciais também podem ser verificados para as diferenças entre as centralidades homólogas, por meio da autocorrelação espacial de redes (BLACK, 1992), conforme apresentado na Equação 3.26.

$$I = \frac{n}{\sum_{i \in O} \sum_{j \in J} z_{ij}} \times \frac{\sum_{i \in O} \sum_{j \in J} z_{ij} \times (x_i - \bar{x}) \times (x_j - \bar{x})}{\sum_{i \in O} (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.25)$$

$$I = \frac{m}{\sum_{e \in E} \sum_{d \in E} w_{ed}} \times \frac{\sum_{e \in E} \sum_{d \in E} w_{ed} \times (x_e - \bar{x}) \times (x_d - \bar{x})}{\sum_{e \in E} (x_e - \bar{x})^2} \quad (3.26)$$

Em que:

I : Índice de Moran Global;

n : número de unidades de análise;

m : número de segmentos viários na rede;

z_{ij} : contiguidade entre unidades de análise i e j {não = 0; sim = 1};

w_{ed} : interseção entre os segmentos viários e e d {não = 0; sim = 1};

x_i e x_j : valores da variável x , respectivamente, nas unidades de análise i e j ;

x_e e x_d : valores da variável x , respectivamente, para os segmentos viários e e d ;

\bar{x} : valor médio de x ;

O : conjunto de todas as origens;

J : conjunto de todos os destinos; e

E : conjunto de todos os segmentos viários da rede.

Mesmo para o caso de não ser observada uma forte autocorrelação espacial da variável de interesse, indicadores locais (*Local Indicators of Spatial Association*, ou LISA) ainda podem existir, os quais podem ser identificados por meio do Índice de Moran Local, conforme apresentado nas Equações 3.27 e 3.28 (ANSELIN, 1995).

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{v} \times \sum_{j=1}^n z_{ij} \times (x_j - \bar{x}) \quad (3.27)$$

$$I_e = \frac{(x_e - \bar{x})}{v} \times \sum_{d=1}^m w_{ed} \times (x_d - \bar{x}) \quad (3.28)$$

Em que:

I_i : Índice de Moran Local para a unidade de análise i ;

I_e : Índice de Moran Local para o segmento viário e ;

n : número de unidades de análise;

m : número de segmentos viários na rede;

z_{ij} : contiguidade entre unidades de análise i e j {não = 0; sim = 1};

w_{ed} : interseção entre os segmentos viários e e d {não = 0; sim = 1};

x_i : valor da variável x na unidade de análise i ;

x_e : valor da variável x para o segmento viário e ;

\bar{x} : valor médio de x ; e

v : variância de x .

É válido destacar ainda que, beneficiando-se dos mesmos conceitos apresentados, podem ser conduzidas também análises bivariadas do Índice de Moran, com o objetivo de

verificar a associação espacial de uma variável observada em uma unidade de análise com uma segunda variável observada em unidades adjacentes, sendo o equacionamento para tal semelhante ao detalhado anteriormente (por exemplo, a expressão $(x_j - \bar{x})$ passaria a ser preenchida com valores da segunda variável de interesse).

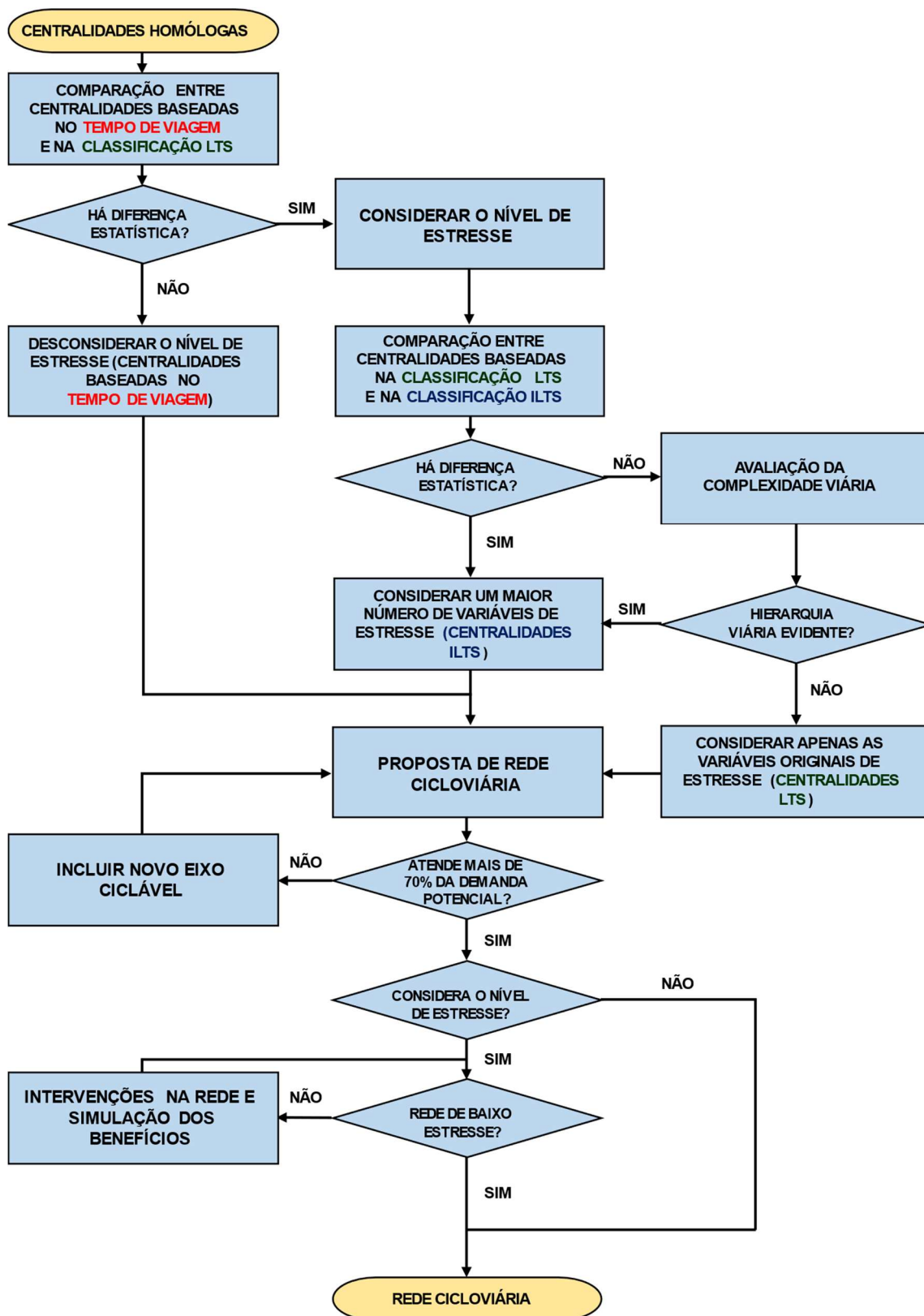
Nos estudos de caso, todas as análises estatísticas envolvendo a dependência espacial de variáveis de interesse foram conduzidas com auxílio do software gratuito *GeoDa*. Para as diferenças entre índices homólogos de acessibilidade, o critério de contiguidade adotado foi o *queen contiguity* (que faz alusão aos movimentos permitidos à peça “dama” no jogo de xadrez) de ordem 1, isto é, foram considerados todos os vizinhos imediatos (acima, abaixo, nos dois lados e nas diagonais) de uma determinada unidade de análise. Já para a autocorrelação espacial de redes (diferenças entre índices homólogos de centralidade), algumas considerações fazem-se necessárias.

Até o momento do desenvolvimento do presente trabalho, o software em questão não permite que o usuário trabalhe com camadas vetoriais de linhas, sendo restrito a pontos e polígonos. Assim, para cada feição vetorial correspondente a um segmento viário dos locais de estudo, foi definido um pequeno *buffer*, sendo mantidos, na tabela de atributos, os campos de identificação (ID) e referente à variável de análise (diferenças entre centralidades homólogas). De posse desta camada de polígonos que assemelha-se à rede original, foi possível gerar o arquivo de pesos (*Weight File*) no *GeoDa*, ajustando-se a precisão de alcance (*Precision threshold*) de forma a evitar polígonos desconexos, seguido dos mapas LISA. Os resultados foram transferidos de volta à camada original de linhas, no QGIS, por meio da união entre as camadas vetoriais destacadas, possibilitada pelo campo de identificação em comum.

3.12 PROPOSTA DE REDE CICLOVIÁRIA

A Figura 3.17 apresenta as diretrizes para seleção do critério mais adequado, em cada cidade estudada, à proposta de rede cicloviária com base em segmentos viários de maior centralidade. A tomada de decisão com relação a este critério é fundamentada nos resultados dos testes estatísticos entre amostras pareadas de centralidades e, para o caso de serem consideradas variáveis de estresse na definição dos eixos cicláveis, sugere-se a seleção do critério (LTS ou ILTS) também em função da complexidade viária do local em questão. Alguns parâmetros para a aceitação da rede proposta também são apresentados.

Figura 3.17: Seleção do critério e parâmetros de aceitação da proposta de rede cicloviária.



Fonte: O Autor (2022).

Com relação à seleção do critério, caso não sejam constatadas diferenças entre as amostras de centralidades homólogas associadas às duas primeiras fases da abordagem proposta, a rede deve ser definida sem considerar variáveis de estresse. Contudo, caso sejam constatadas diferenças, a rede deve ser definida obrigatoriamente com base em variáveis de estresse, procedendo-se à comparação entre as amostras de centralidades homólogas associadas às duas últimas fases da abordagem proposta. Nesta análise, por sua vez, caso sejam constatadas diferenças, sugere-se considerar o critério que incorpora um maior número de variáveis de estresse (centralidades ILTS). Caso contrário, tal critério mais rigoroso só deve ser selecionado para cidades com hierarquia viária evidente, sendo às cidades menos complexas em termos de transporte e trânsito sugerida a definição da rede com base em centralidades LTS.

Uma vez selecionado o critério mais adequado, a proposta da rede cicloviária deve ser balizada pelos segmentos viários de maior centralidade, a partir dos quais devem ser propostos eixos cicláveis contínuos, coerentes com os sentidos de circulação permitidos ao longo do sistema viário e interconectados entre si. Além disto, é importante que a rede proposta esteja alinhada com as facilidades existentes (a despeito de sua importância relativa) e com projetos cicloviários em pauta no local estudado, de forma a torná-la mais densa e atrativa. Mais ainda, cada eixo proposto deve ser avaliado de acordo a fração do sistema viário atendida à distância de 400 metros, em rede, a partir dos mesmos (área de serviço) e, analogamente, à unidade composta pelos diversos eixos deve ser definido um *buffer* de valor fixo, também de 400 metros, para que possa ser verificada sua cobertura com relação aos PGVs por bicicleta, pontos de parada de ônibus (integração com o transporte público) e demanda potencial por ciclismo, neste último caso, sendo sugerida um porcentagem mínima de 70% para aceitação da proposta de rede (MONARI, 2018; MONARI *et al.*, 2018; MONARI; SEGANTINE, 2022).

Quando da opção por critérios baseados no nível de estresse de ciclistas, uma vez proposta a rede cicloviária, cada segmento que a integra deve ser avaliado de acordo com a sua classificação LTS ou ILTS, dependendo-se do critério adotado, e intervenções prioritárias no sistema viário devem ser elencadas de forma a garantir uma “rede cicloviária de baixo estresse”, assim como sugerem Moran *et al.* (2018). Em outras palavras, todos os eixos cicláveis que compõem a rede proposta devem ser caracterizados homogeneamente

por níveis de estresse toleráveis àqueles “Interessados, mas preocupados” (*Interested but concerned*), isto é, devem possuir LTS ou ILTS limitado a 2.

Por uma simplicidade técnica, vias projetadas para o sistema viário futuro, como novas arteriais ou coletoras, podem ser beneficiadas pelo planejamento prévio de ciclofaixas ou até mesmo de ciclovias (por exemplo, em canteiros centrais). Analogamente, quando permitido, o uso da bicicleta em estradas rurais deve beneficiar-se da segregação total do tráfego motorizado (ciclovias) ou da adição de acostamentos pavimentados. Em vias urbanas já existentes, no entanto, intervenções voltadas a torná-las mais adequadas ao ciclismo não necessariamente estão associadas à inserção desses espaços segregados: o alargamento da via ou a reconfiguração da mesma (*road diet*) para acomodar ciclofaixas, por exemplo, nem sempre é possível, demandando outros ajustes como a proibição do estacionamento de veículos ou a substituição de estacionamentos diagonais por paralelos, a provisão de elementos que diminuam a velocidade do tráfego motorizado e alertem os motoristas sobre a situação de compartilhamento da via (marcações no pavimento), o *design* de rotatórias seguras para ciclistas etc. (TOOLE, 2010).

3.12.1 Avaliação dos benefícios das intervenções no sistema viário

Após definida a rede cicloviária e elencados os projetos prioritários, pode-se proceder com a avaliação dos benefícios das intervenções propostas para o sistema viário em termos do aumento da acessibilidade de ciclistas aos PGVs por bicicleta. Desta forma, em cada unidade de análise, o índice de acessibilidade de ciclistas deve ser recalculado, simulando-se a atenuação do estresse nos locais a receberem novas facilidades ou qualquer outro tipo de tratamento e, por fim, comparado com o original mensurado pelo mesmo critério utilizado na definição da rede. Por exemplo: caso o planejador tenha definido a rede com base nas centralidades LTS, após as intervenções, as novas acessibilidades devem ser comparadas com os valores originais de acessibilidades LTS do local estudado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste Capítulo, são apresentados e discutidos os resultados das etapas iniciais da pesquisa, isto é, para cada cidade de estudo, são abordados os seguintes tópicos: 1) importância relativa das unidades de análise, tanto com relação às origens quanto aos destinos das viagens por bicicleta; 2) classificações LTS e ILTS de segmentos viários; comparação entre as 3) rotas cicláveis identificadas em cada fase da abordagem proposta e entre índices homólogos da 4) acessibilidade de ciclistas e de 5) centralidade de segmentos viários. As propostas de redes cicloviárias, por sua vez, são assunto do Capítulo 5.

4.1 IMPORTÂNCIA RELATIVA DAS UNIDADES DE ANÁLISE

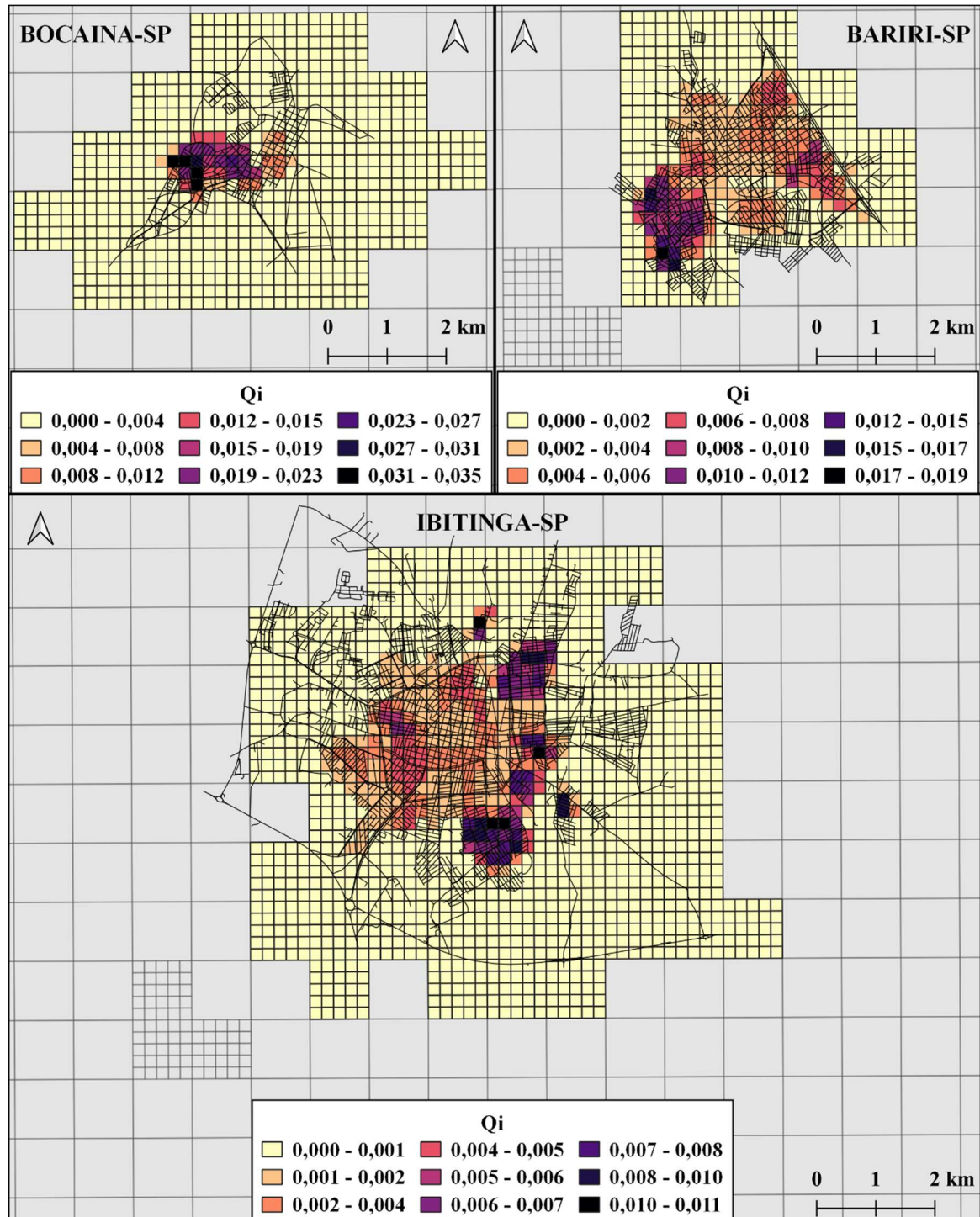
As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam a importância relativa de cada unidade de análise das cidades de estudo no tocante, respectivamente, às origens e aos destinos das viagens por bicicleta. Ao todo, 675, 475 e 1.375 unidades de análise foram definidas, nesta ordem, para as cidades de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP, correspondentes às células da grade estatística que abrangem os seus respectivos limites urbanos.

Em se tratando da subdivisão prévia em setores censitários (recomenda-se ao leitor rever a Figura 3.3), diferentemente das outras cidades estudadas, a cidade de Bocaina-SP, que agrega 21 setores (15 urbanos e 6 rurais), é caracterizada por alguns polígonos extremamente grandes, muitas vezes até mesmo dissonantes do sistema viário, o que pode eventualmente refletir em resultados pouco confiáveis de alguns processos metodológicos ao fazerem o uso de tais informações. A despeito disto, uma vez uniformizadas as unidades de análise, nota-se que algumas células da grade estatística atingem uma importância relativa de 3,5% com relação às origens das viagens por bicicleta e de 7,5% com relação aos destinos.

Na cidade de Bariri-SP, previamente subdividida em 65 setores censitários (58 urbanos e 7 rurais) que também não são isentos de inconsistências, pois nota-se que a expansão do sistema viário ao longo de mais de uma década resultou na criação de novos bairros em áreas anteriormente consideradas rurais (para as quais é esperada uma reclassificação na edição em andamento do censo demográfico nacional), as máximas importâncias relativas com relação às origens e aos destinos das viagens por bicicleta são de, respectivamente, 1,9% e 4,9%.

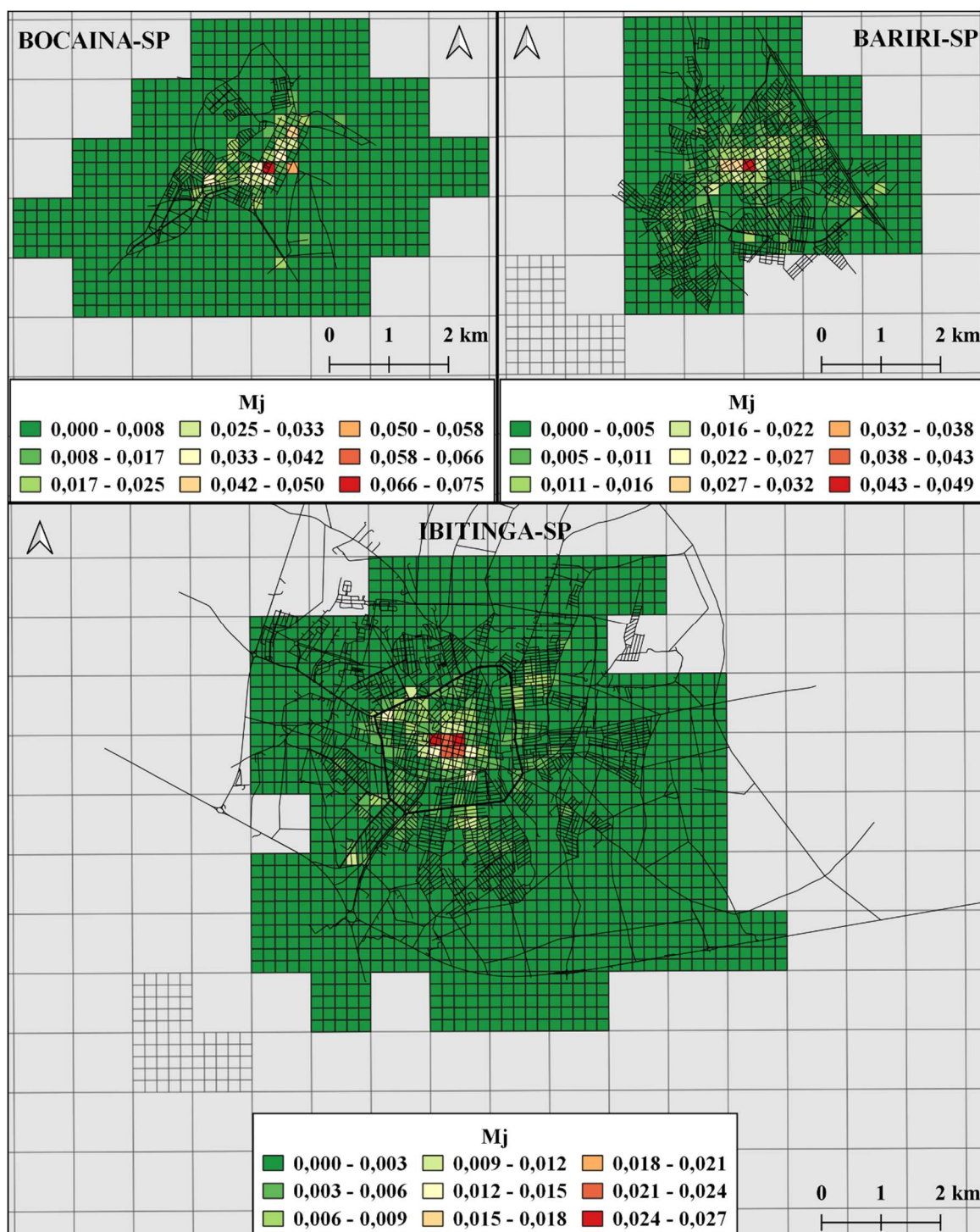
Por último, em Ibitinga-SP, subdividida previamente em 89 setores censitários (82 urbanos e 7 rurais) passíveis das mesmas críticas feitas aos de Bariri-SP no tocante à obsolescência dos dados censitários, as máximas importâncias relativas com relação às origens e aos destinos das viagens por bicicleta são de, respectivamente, 1,1% e 2,7%.

Figura 4.1: Importância relativa das unidades de análise no tocante às origens das viagens por bicicleta.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 4.2: Importância relativa das unidades de análise no tocante aos destinos das viagens por bicicleta.

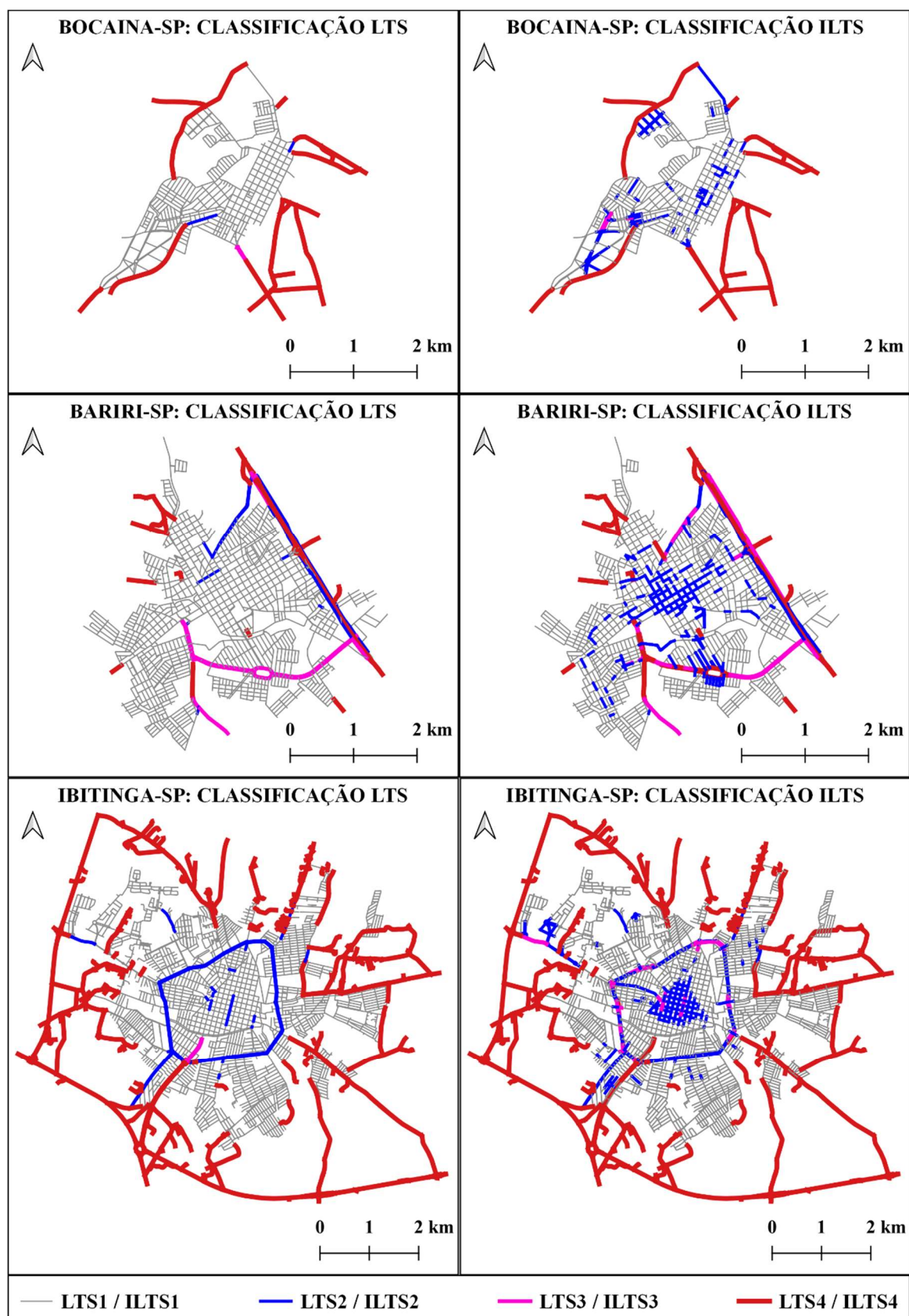


Fonte: O Autor (2022).

4.2 CLASSIFICAÇÕES LTS E ILTS NAS CIDADES DE ESTUDO

A Figura 4.3 apresenta as classificações LTS e ILTS dos segmentos viários em cada cidade de estudo.

Figura 4.3: Classificações LTS e ILTS dos segmentos viários das cidades de estudo.



Fonte: O Autor (2022).

Na cidade de Bocaina-SP, nota-se que quase todos os segmentos viários urbanos são classificados como LTS 1, com exceção de trechos das vias primárias contíguos a rodovias e que dispõem de *centerlines*, os quais, em função de um maior ou menor número de faixas de tráfego por direção, são classificados com LTS 2 ou LTS 3. As próprias rodovias e trechos viários não pavimentados são classificados como LTS 4.

Com relação à classificação ILTS, em Bocaina-SP, foram atribuídos ALTSs devido à existência de obstáculos a 43 segmentos viários (majoritariamente localizados na região central da cidade), sendo 17 deles reclassificados exclusivamente em função da taxa média de ocupação da via por veículos estacionados, 21 exclusivamente em função de paradas de ônibus e 5 por ambos os critérios. Os ALTSs devido à presença de rotatórias foram atribuídos a 138 segmentos viários. Casos críticos, que remetem à atribuição de ambos os ALTSs, foram observados para apenas 4 segmentos viários, previamente classificados como LTS 1 e que passaram a ser classificados como ILTS 3.

Analogamente, na cidade de Bariri-SP, a classificação LTS original da grande maioria dos segmentos viários urbanos remete ao menor nível de estresse de ciclistas (LTS 1), com exceção de alguns trechos viários de maior hierarquia funcional que dispõem de *centerlines* ou cuja velocidade média aferida excede aquela regulamentada para tais vias (40 km/h). Rodovias e trechos viários não pavimentados são classificados como LTS 4. As ciclofaixas unidirecionais do município são classificadas como LTS 2, pois possuem larguras entre 1,20 e 1,60 metro, além de serem contíguas a pistas de rolamento caracterizadas por 1 faixa de tráfego por direção e limite de velocidade de 40 km/h.

No tocante à classificação ILTS, em Bariri-SP, foram atribuídos ALTSs devido à existência de obstáculos a 134 segmentos viários (concentrados na região central da cidade), sendo 99 deles reclassificados exclusivamente em função da taxa média de ocupação da via por veículos estacionados, 29 exclusivamente em função de paradas de ônibus e 6 por ambos os critérios. Os ALTSs devido à presença de rotatórias foram atribuídos a 164 segmentos viários. Casos críticos, que remetem à atribuição de ambos os ALTSs, foram observados para apenas 5 segmentos viários, 3 deles previamente classificados como LTS 1 e que passaram a ser classificados como ILTS 3, e 2 como LTS 2 e que passaram a ser classificados como ILTS 4. Por último, 4 dos 17 segmentos viários que dispõem de ciclofaixa foram reclassificados de LTS 2 para ILTS 3 em função da presença de rotatórias.

Na cidade de Ibitinga-SP, a grande maioria dos segmentos viários pertencentes às vias residenciais e coletoras é classificada como LTS 1, sendo observadas algumas exceções para segmentos viários que dispõem de *centerlines* ou de um maior número de faixas de tráfego por direção (LTS 2). Todas as vias arteriais da cidade são classificadas como LTS 2, uma vez que, além da sinalização vertical indicar um limite de velocidade de 50 km/h, inferior àquele previsto pelo CTB (2010) para este tipo de via (60 km/h), não são observadas *centerlines* ou mais do que duas faixas de tráfego por direção ao longo das mesmas. Apenas 2 feições vetoriais, que remetem a um trecho viário de transição entre rodovias e vias coletoras, são classificadas como LTS 3. Rodovias e trechos não pavimentados são classificados como LTS 4.

No que tange à classificação ILTS, em Ibitinga-SP, foram atribuídos ALTSs devido à existência de obstáculos a 140 segmentos viários, sendo 122 deles reclassificados exclusivamente em função da taxa média de ocupação da via por veículos estacionados (todos na região central do município), 14 exclusivamente em função de paradas de ônibus e 4 por ambos os critérios. Os ALTSs devido à presença de rotatórias foram atribuídos a 217 segmentos viários. Casos críticos, que remetem à atribuição de ambos os ALTSs, foram observados para apenas 5 segmentos viários, 2 deles previamente classificados como LTS 1 e que passaram a ser classificados como ILTS 3, e 3 como LTS 2 e que passaram a ser classificados como ILTS 4.

4.3 ROTAS CICLÁVEIS NAS CIDADES DE ESTUDO

A Tabela 4.1 apresenta, em termos percentuais, a distribuição das rotas cicláveis identificadas para cada cidade de estudo entre diferentes intervalos de tempo (pertinentes à primeira fase da abordagem proposta, ou seja, sem considerar variáveis de estresse) e de extensão (pertinentes às demais fases, que incorporam a percepção do estresse).

Com relação ao tempo de viagem dos trajetos identificados na primeira fase, tanto em Bocaina-SP quanto em Bariri-SP, a maioria das rotas cicláveis está acumulada no intervalo de 5 a 10 minutos, não sendo identificados trajetos que demandam mais de 20 minutos de viagem. Já em Ibitinga-SP, nota-se que mais de 70% das rotas cicláveis identificadas estão igualmente distribuídas entre os intervalos de 5 a 10 e de 10 a 15 minutos de viagem, além de uma pequena porcentagem dos trajetos (1%) estar associada a tempos de viagem mais longos que 20 minutos.

Tabela 4.1: Distribuição das rotas cicláveis (%) entre diferentes intervalos de tempo ou de extensão.

Intervalo de tempo (minutos) ou de extensão (metros)	Distribuição das rotas cicláveis (%)								
	Bocaina-SP			Bariri-SP			Ibitinga-SP		
	$\sigma_{ij_t}^*$	$\sigma_{ij_{LTS}}^*$	$\sigma_{ij_{ILTS}}^*$	$\sigma_{ij_t}^*$	$\sigma_{ij_{LTS}}^*$	$\sigma_{ij_{ILTS}}^*$	$\sigma_{ij_t}^*$	$\sigma_{ij_{LTS}}^*$	$\sigma_{ij_{ILTS}}^*$
$t_{ij} \leq 5$	25,7	n.a. ^a	n.a. ^a	24,3	n.a. ^a	n.a. ^a	14,8	n.a. ^a	n.a. ^a
$5 < t_{ij} \leq 10$	44,9	n.a. ^a	n.a. ^a	50,0	n.a. ^a	n.a. ^a	36,0	n.a. ^a	n.a. ^a
$10 < t_{ij} \leq 15$	26,6	n.a. ^a	n.a. ^a	24,3	n.a. ^a	n.a. ^a	35,5	n.a. ^a	n.a. ^a
$15 < t_{ij} \leq 20$	2,8	n.a. ^a	n.a. ^a	1,4	n.a. ^a	n.a. ^a	12,7	n.a. ^a	n.a. ^a
$t_{ij} > 20$	0,0	n.a. ^a	n.a. ^a	0,0	n.a. ^a	n.a. ^a	1,0	n.a. ^a	n.a. ^a
$L_{\sigma_{ij}^*} \leq 1.250$	n.a. ^a	12,1	12,1	n.a. ^a	10,8	10,8	n.a. ^a	6,9	6,9
$1.250 < L_{\sigma_{ij}^*} \leq 2.500$	n.a. ^a	28,3	28,6	n.a. ^a	29,3	29,2	n.a. ^a	19,6	19,5
$2.500 < L_{\sigma_{ij}^*} \leq 3.750$	n.a. ^a	32,8	33,1	n.a. ^a	33,2	33,0	n.a. ^a	27,9	27,8
$3.750 < L_{\sigma_{ij}^*} \leq 5.000$	n.a. ^a	21,5	21,2	n.a. ^a	20,7	20,7	n.a. ^a	26,3	26,2
$L_{\sigma_{ij}^*} > 5.000$	n.a. ^a	5,3	5,0	n.a. ^a	6,0	6,3	n.a. ^a	19,3	19,6

^a não se aplica.

Fonte: O Autor (2022).

Com relação à extensão dos trajetos identificados nas segunda e terceira fases, nota-se que a inclusão de ALTSs, a despeito da cidade estudada, não reflete em alterações significativas nas porcentagens tabeladas para cada intervalo de interesse. Tanto em Bocaina-SP quanto em Bariri-SP, são observadas rotas cicláveis majoritariamente acumuladas no intervalo de 2.500 a 3.750 metros de extensão, além de pequenas porcentagens do total de trajetos calculados que excedem o limite de distância alcançável para bicicletas. Já para Ibitinga-SP, nota-se que mais de 50% das rotas cicláveis identificadas estão igualmente distribuídas entre os intervalos de 2.500 a 3.750 e de 3.750 a 5.000 metros de extensão. Além disso, o limite de distância alcançável para bicicletas é excedido em quase 20% do total de trajetos calculados para a cidade de Ibitinga-SP.

A Tabela 4.2 apresenta estatísticas descritivas das diferenças entre rotas homólogas identificadas nas distintas fases⁷ da abordagem proposta, permitindo discorrer sobre a influência da gradual incorporação de variáveis de estresse no processo de identificação de rotas cicláveis.

⁷ Sugere-se ao leitor rever as Equações 3.23 e 3.24.

Tabela 4.2: Estatísticas descritivas da comparação entre rotas cicláveis homólogas.

Estatística descritiva	$\Delta L1_{\sigma_{ij}^*}$ (m)			$\Delta L2_{\sigma_{ij}^*}$ (m)		
	Bocaina-SP	Bariri-SP	Ibitinga-SP	Bocaina-SP	Bariri-SP	Ibitinga-SP
Média	172	24	41	-12	9	13
Mediana	65	0	0	0	0	0
Moda	0	0	0	0	0	0
Desvio padrão	330	151	205	45	53	78
Mínimo	-906	-526	-852	-1.321	-348	-1.072
Máximo	3.001	1.513	4.695	512	1.243	805
Tamanho da amostra	115.425	152.475	376.996	115.425	152.475	376.996

Fonte: O Autor (2022).

No tocante à comparação entre as rotas homólogas identificadas nas duas primeiras fases, aproximadamente 18% desses trajetos correlatos são coincidentes tanto em Bocaina-SP quanto em Ibitinga-SP, e pouco mais de 29% dos trajetos calculados são coincidentes na cidade de Bariri-SP. Esta maior porcentagem de similaridade entre rotas homólogas observada em Bariri-SP pode ser justificada por seu terreno mais plano quando comparado com os dos demais locais de estudo, visto que em Bocaina-SP ou Ibitinga-SP o terreno suavemente ondulado reflete em um maior número de segmentos viários pouco “atrativos” ao ciclismo e, conseqüentemente, maiores desvios das rotas cicláveis com relação às rotas mais diretas ($\Delta L1_{\sigma_{ij}^*}$).

Em média, as rotas identificadas em Bocaina-SP com base na classificação LTS original são 172 metros mais extensas que seus pares identificados com base no tempo de viagem; e em Ibitinga-SP, 41 metros, sinalizando para o fato de que a ponderação de segmentos viários por fatores de declividade traduz com maior rigor as condições topográficas adversas ao ciclismo do que a simples atribuição de velocidades de circulação em função das rampas. Em Bariri-SP, esta diferença média é de 24 metros.

No que se refere à comparação entre as rotas homólogas identificadas incorporando-se ou não variáveis adicionais de estresse, isto é, com base nas classificações LTS e ILTS, quase 73% dos trajetos calculados são coincidentes na cidade de Bocaina-SP, 75% na cidade de Bariri-SP e 86% na cidade de Ibitinga-SP. Neste contexto, apesar de serem observados desvios máximos e mínimos consideráveis em todos os locais de estudo, as grandes porcentagens de rotas homólogas idênticas sugerem que o estresse associado à

incorporação de obstáculos e rotatórias na forma de ALTSs pode não ser suficientemente grande para alterar o percurso de ciclistas ($\Delta L2_{\sigma_{ij}^*}$).

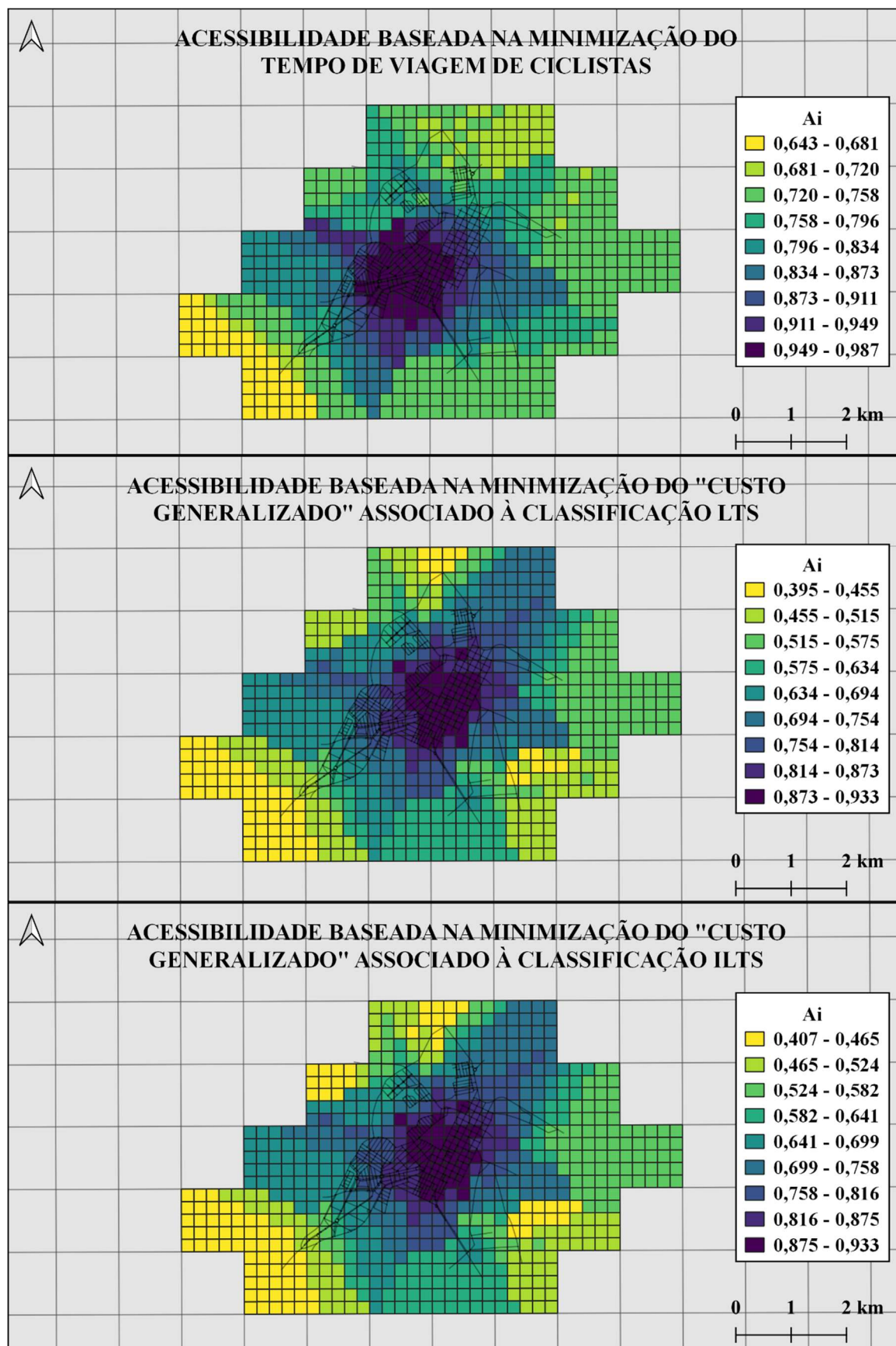
Em média, são observados desvios de 9 e 13 metros para as respectivas cidades de Bariri-SP e Ibitinga-SP. Na cidade de Bocaina-SP, em contrapartida, nota-se um resultado interessante e distinto de qualquer outro previamente descrito: as rotas identificadas com base na classificação ILTS são, em média, 12 metros menos extensas do que seus pares identificados com base no modelo original. Uma possível explicação para isto é que, especificamente neste local de estudo, a nova ponderação de segmentos viários por fatores de equivalência associados à classificação ILTS atuou de forma a compensar os efeitos da declividade que antes tornavam trajetos mais diretos menos atrativos.

4.4 ACESSIBILIDADE DE CICLISTAS NAS CIDADES DE ESTUDO

As Figuras 4.4 a 4.6 apresentam, nesta ordem, os índices de acessibilidade de ciclistas a PGVs por bicicleta em cada unidade de análise das cidades de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP, mensurados com base nas rotas cicláveis identificadas em cada uma das fases da abordagem proposta. Nota-se que, em todas as cidades estudadas e a despeito do critério utilizado, os maiores índices de acessibilidade são observados para a região central, o que é esperado devido à grande concentração de potenciais destinos de viagem.

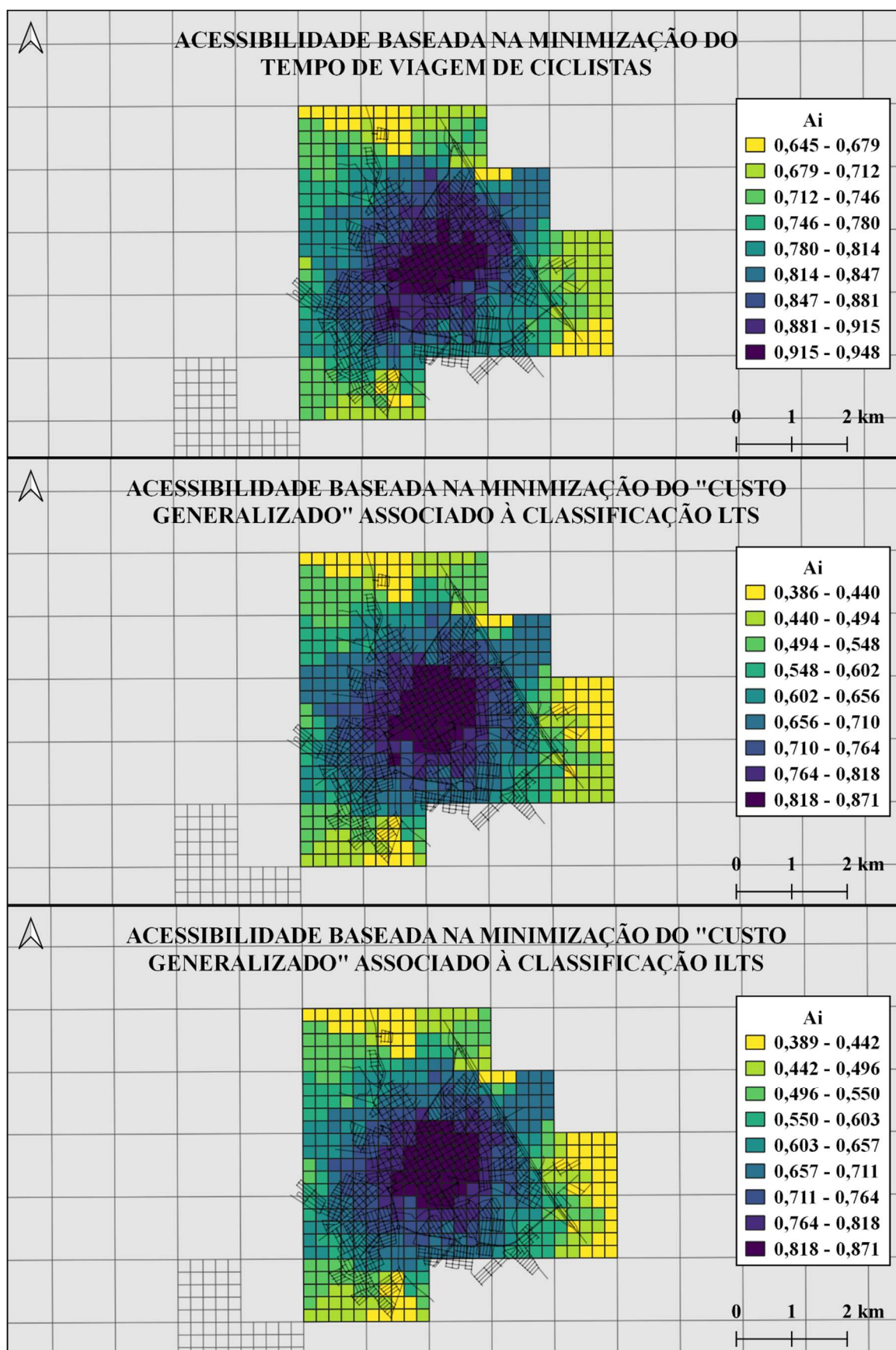
Com relação à cidade de Bocaina-SP, os índices de acessibilidade mensurados na primeira fase da abordagem proposta (minimização do tempo de viagem de ciclistas) variam entre 0,643 e 0,987, com valor médio de 0,787; na segunda fase (minimização do somatório de impedâncias associadas à classificação LTS), entre 0,395 e 0,933, com valor médio de 0,618; e na terceira fase (minimização do somatório de impedâncias associadas à classificação ILTS), entre 0,407 e 0,933, com valor médio de 0,621. Em Bariri-SP, os índices de acessibilidade mensurados na primeira fase variam entre 0,645 e 0,948, com valor médio de 0,793; na segunda fase, entre 0,386 e 0,871, com valor médio de 0,621; e na terceira fase, entre 0,389 e 0,871, com valor médio de 0,619. Por último, em Ibitinga-SP, os índices de acessibilidade mensurados na primeira fase variam entre 0,408 e 0,895, com valor médio de 0,642; na segunda fase, entre 0,142 e 0,809, com valor médio de 0,442; e na terceira fase, entre 0,142 e 0,808, com valor médio de 0,440.

Figura 4.4: Acessibilidade de ciclistas em Bocaina-SP.



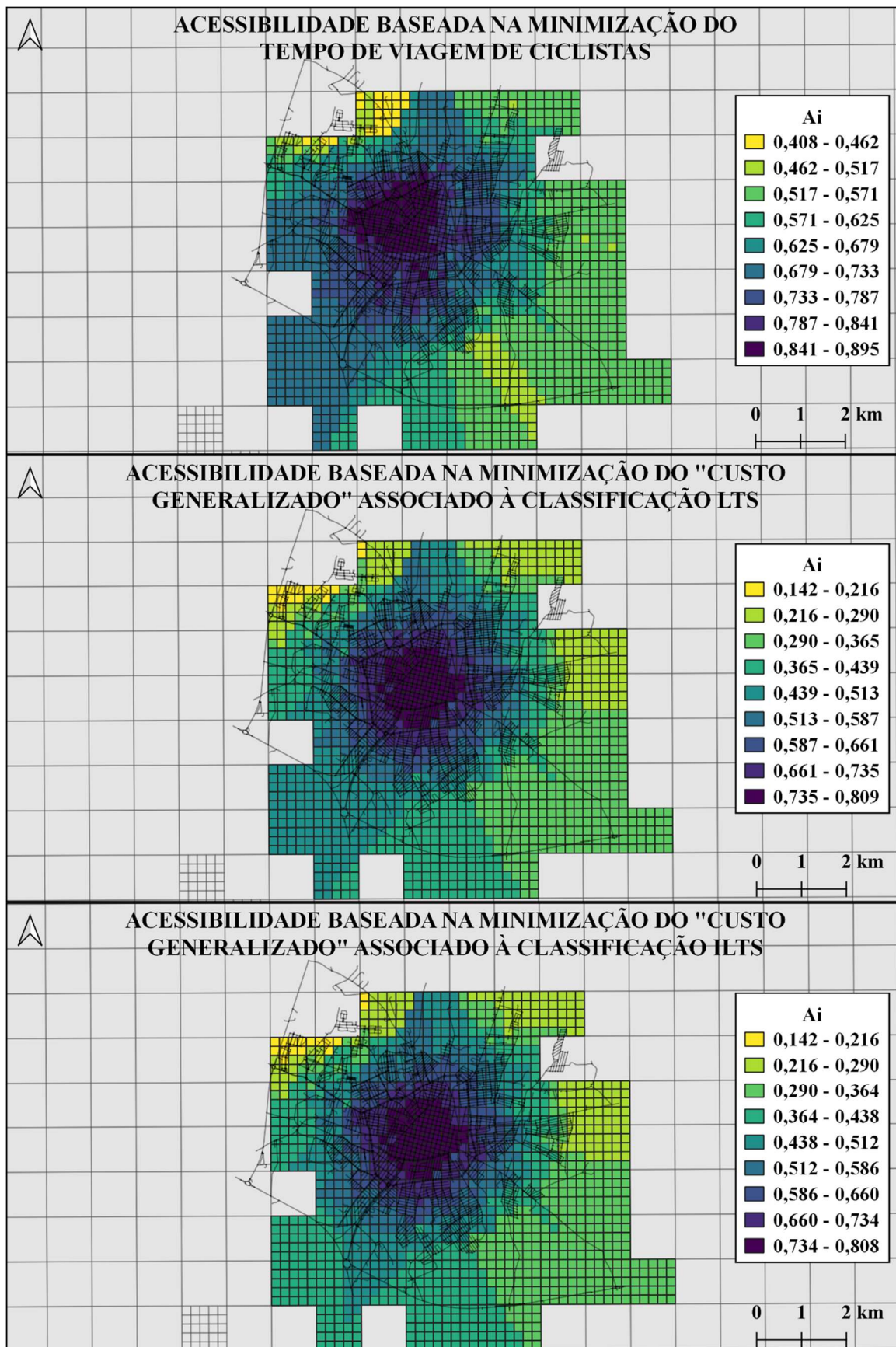
Fonte: O Autor (2022).

Figura 4.5: Acessibilidade de ciclistas em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 4.6: Acessibilidade de ciclistas em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

De forma consoante com outros trabalhos da literatura, como o de Iacono, Krizek e El-Geneidy (2010), que reforçam que a simples minimização do tempo de viagem pode não ser a metodologia mais adequada à identificação de rotas cicláveis, os resultados apresentados sinalizam para o fato de que, ao ser incorporada a percepção do estresse de ciclistas, as diferenças entre rotas homólogas identificadas nas duas primeiras fases escalam para um prejuízo à acessibilidade de ciclistas aos potenciais PGVs por bicicleta. Em contrapartida, quando da comparação entre os índices de acessibilidade associados às duas últimas fases da abordagem proposta, os resultados são visualmente e numericamente bastante semelhantes em todos os locais de estudo.

Objetivando-se uma comparação mais rigorosa, de forma análoga à conduzida para as rotas cicláveis, em cada local de estudo, foram calculadas as diferenças entre os índices homólogos de acessibilidade mensurados nas duas primeiras e nas duas últimas fases. A Tabela 4.3 apresenta as estatísticas descritivas destas diferenças⁸.

Tabela 4.3: Estatísticas descritivas das diferenças entre acessibilidades homólogas.

Estatística descritiva	$A2_{i_{LTS}} - A1_i$			$A2_{i_{ILTS}} - A2_{i_{LTS}}$		
	Bocaina-SP	Bariri-SP	Ibitinga-SP	Bocaina-SP	Bariri-SP	Ibitinga-SP
Média	-0,168	-0,172	-0,200	0,002	-0,002	-0,002
Mediana	-0,187	-0,168	-0,204	0,000	0,000	-0,001
Moda	-0,193	-0,210	-0,261	0,000	0,000	0,000
Desvio padrão	0,085	0,057	0,059	0,007	0,003	0,003
Mínimo	-0,381	-0,282	-0,362	-0,008	-0,019	-0,06
Máximo	0,050	-0,054	-0,013	0,033	0,006	0,012
Tamanho da amostra	675	475	1.375	675	475	1.375

Fonte: O Autor (2022).

Na cidade de Bocaina-SP, a substituição do critério de minimização do tempo de viagem pelo de minimização do somatório de impedâncias associadas à classificação LTS reflete em acessibilidades a PGVs por bicicleta, em média, 16,8% menores, sendo em algumas unidades de análise observadas diminuições críticas de mais de 38%. O mesmo fenômeno foi observado para os demais locais de estudo: em Bariri-SP, estes valores são de, respectivamente, 17,2% e 28,2%; e em Ibitinga, de 20% e 36,2%. As diferenças entre

⁸ Sugere-se ao leitor rever as Equações 3.12 e 3.13. Para o caso da estratégia 2 de atribuição de impedâncias a segmentos viários, os parâmetros $A2_{i_{LTS}}$ e $A2_{i_{ILTS}}$ da Tabela 4.3 referem-se, respectivamente, aos índices homólogos de acessibilidade associados às classificações LTS e ILTS.

acessibilidades homólogas, cujas distribuições de frequências constam no Apêndice A, foram submetidas aos testes de Shapiro-Wilk e de D'Agostino-Pearson, e para nenhum local de estudo foi verificada a distribuição normal da amostra. Assim, procedeu-se com o teste bicaudal de postos sinalizados de Wilcoxon para amostras pareadas. Os resultados em Bocaina-SP ($z\text{-score} = 22,43$; $p < 0,05$), Bariri-SP ($z\text{-score} = 18,88$; $p < 0,05$) ou Ibitinga-SP ($z\text{-score} = 32,12$; $p < 0,05$) sugerem rejeitar a hipótese nula, sinalizando para diferenças entre as acessibilidades homólogas mensuradas nas duas primeiras fases da abordagem proposta.

No tocante à comparação entre acessibilidades LTS e ILTS, as estatísticas descritivas sugerem que a inclusão de ALTSs não reflete em decréscimos médios significativos na facilidade de acesso aos PGVs por bicicleta tanto em Bariri-SP quanto em Ibitinga-SP, cujo valor para ambos os casos é de 0,2%. Em Bocaina-SP, ao contrário, a inclusão destas variáveis adicionais escala para um aumento da acessibilidade média de ciclistas de 0,2%, atingindo 3,3% em algumas unidades de análise, o que é uma consequência direta da menor extensão das rotas cicláveis identificadas com base na classificação ILTS quando comparadas com seus pares que remetem ao modelo original. As distribuições de frequências das diferenças entre acessibilidades homólogas mensuradas nestas duas últimas fases também são apresentadas no Apêndice A e, mais uma vez, para nenhum local de estudo foi verificada a distribuição normal da amostra. Os resultados do teste de Wilcoxon para Bocaina-SP ($z\text{-score} = 9,60$; $p < 0,05$), Bariri-SP ($z\text{-score} = 13,35$; $p < 0,05$) ou Ibitinga-SP ($z\text{-score} = 24,95$; $p < 0,05$) sugerem rejeitar a hipótese nula, sinalizando também para diferenças entre as acessibilidades homólogas mensuradas com base nas classificações LTS e ILTS.

4.4.1 Equidade de acesso aos PGVs por bicicleta nas cidades de estudo

Além de estimados e comparados os índices homólogos de acessibilidade em cada unidade de análise, a equidade de acesso aos PGVs por bicicleta entre diferentes grupos populacionais nas cidades de estudo, em cada fase da abordagem proposta, também foi avaliada. Por se tratar de uma verificação importante, porém de caráter complementar, os resultados desta etapa são apresentados no Apêndice B.

4.4.2 Autocorrelação espacial das diferenças entre acessibilidades homólogas

A seguir, são apresentados os resultados de avaliação da autocorrelação espacial tanto das diferenças entre índices homólogos de acessibilidade quantificados nas duas primeiras ($A_{i_{LTS}} - A_{i_t}$) quanto nas duas últimas ($A_{i_{ILTS}} - A_{i_{LTS}}$) fases da abordagem proposta. Para isto, além do Índice de Moran Global (I), em cada análise, são apresentados os mapas de *clusters* e significâncias LISA destas diferenças nas cidades de estudo.

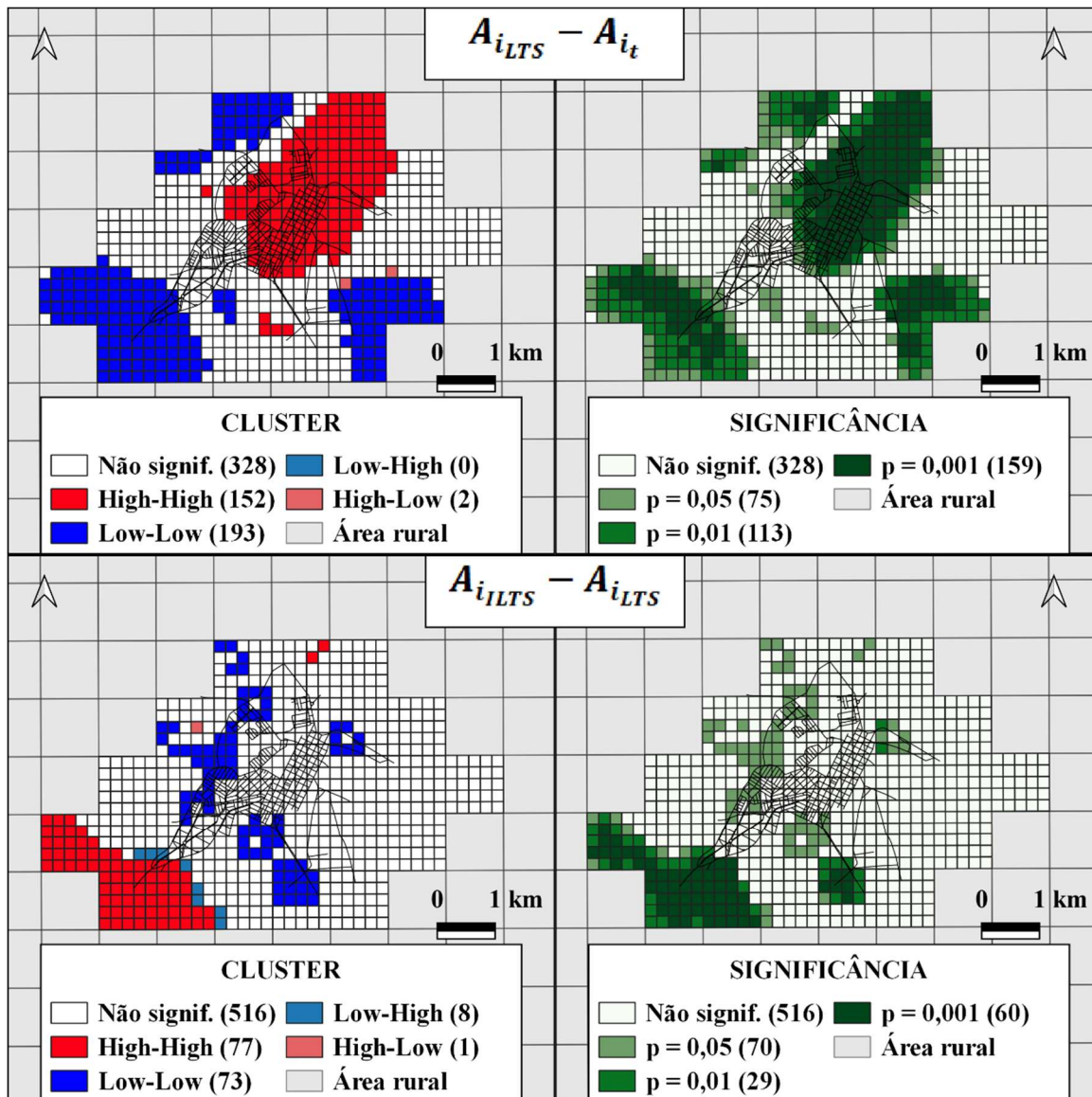
Com relação à discussão dos resultados, objetivando-se o pleno entendimento do leitor, atenta-se para a seguinte nomenclatura: quando da comparação entre acessibilidades homólogas quantificadas nas duas primeira fases ($A_{i_{LTS}} - A_{i_t}$), *clusters High-High* referem-se a unidades de análise em que a acessibilidade LTS supera significativamente aquela mensurada com base na minimização do tempo de viagem, próximas a outras em que este fenômeno também é observado; e *clusters Low-Low*, a unidades de análise contíguas em que a acessibilidade LTS é significativamente subestimada com relação à baseada no tempo de viagem. Já os *outliers* da variável de análise, *Low-High* e *High-Low*, representam, nesta ordem, células da grade onde observa-se uma diminuição na acessibilidade ao ser considerado o nível de estresse de ciclistas, próximas a outras onde observa-se um aumento, e vice-versa.

Analogamente, quando da comparação entre acessibilidades homólogas quantificadas nas duas últimas fases ($A_{i_{ILTS}} - A_{i_{LTS}}$), *clusters High-High* referem-se a unidades de análise em que a acessibilidade ILTS supera significativamente a acessibilidade LTS, próximas a outras em que este fenômeno também é observado; e *clusters Low-Low*, a unidades de análise em que a acessibilidade ILTS é significativamente subestimada com relação à LTS, próximas a outras de mesma natureza. Já os *outliers*, *Low-High* e *High-Low*, referem-se, respectivamente, a células da grade onde observa-se uma diminuição na acessibilidade ao serem considerados ALTSs, próximas a outras onde observa-se um aumento, e vice-versa.

4.4.2.1 Resultados para Bocaina-SP

A Figura 4.7 apresenta os mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Bocaina-SP.

Figura 4.7: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Bocaina-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Com relação à comparação entre as duas primeiras fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,872$) sugere uma forte autocorrelação espacial positiva destas diferenças. *Clusters High-High* são majoritariamente identificados nas regiões central e nordeste do município, e *clusters Low-Low* nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste, no último caso, sendo identificados também dois *outliers* com relação à variável de análise (*High-Low*). Não foram identificados *outliers Low-High*.

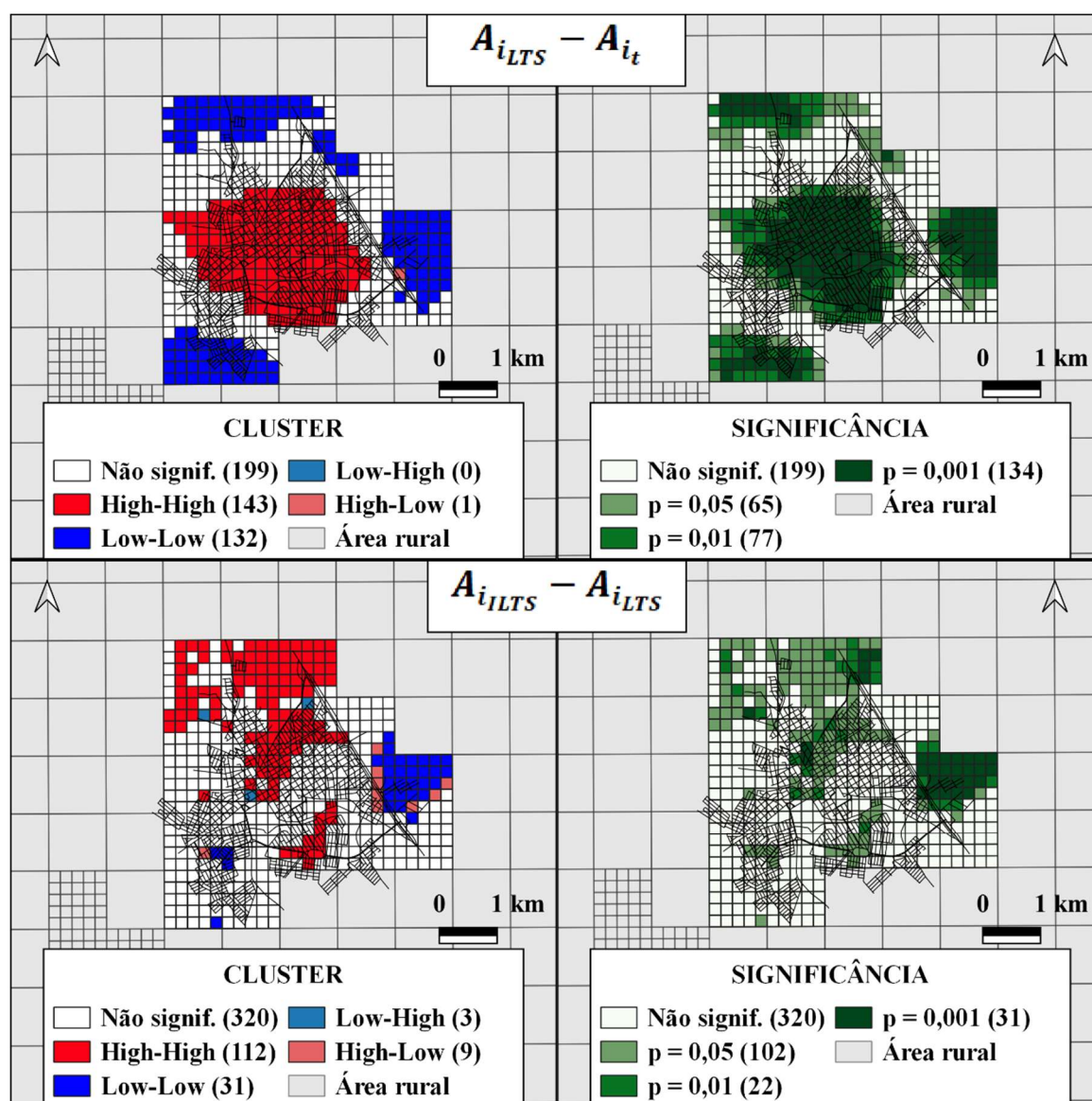
No que se refere à comparação entre as duas últimas fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,802$) também sugere uma forte autocorrelação espacial positiva das diferenças entre

acessibilidades homólogas. *Clusters High-High* são majoritariamente identificados na região sudoeste do município, para a qual também são observados oito *outliers* com relação à variável de análise (*Low-High*). Já *clusters Low-Low*, com exceção da própria região sudoeste e da central, são observados em quase todas as regiões do município. Apenas um *outlier High-Low* foi observado.

4.4.2.2 Resultados para Bariri-SP

A Figura 4.8 apresenta os mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Bariri-SP.

Figura 4.8: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Bariri-SP.



O Índice de Moran Global ($I = 0,878$) referente à comparação entre as duas primeiras fases sugere uma forte autocorrelação espacial positiva das diferenças entre acessibilidades homólogas, sendo identificados um conjunto de 143 unidades de análise agrupadas como *High-High* na região central e diversos *clusters Low-Low* nas regiões periféricas, no último caso, sendo observado um único *outlier High-Low* da variável de análise na região sudeste da área de estudo. Não foram identificados *outliers Low-High*.

No que se refere à comparação entre as duas últimas fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,600$) sugere uma moderada autocorrelação espacial positiva das diferenças entre acessibilidades homólogas. *Clusters High-High* são majoritariamente identificados ao norte do município, região para a qual também são observados três *outliers Low-High* com relação à variável de análise. Já *clusters Low-Low* são observados primordialmente na região sudeste de Bariiri-SP, que também concentra 8 dos 9 *outliers High-Low* identificados.

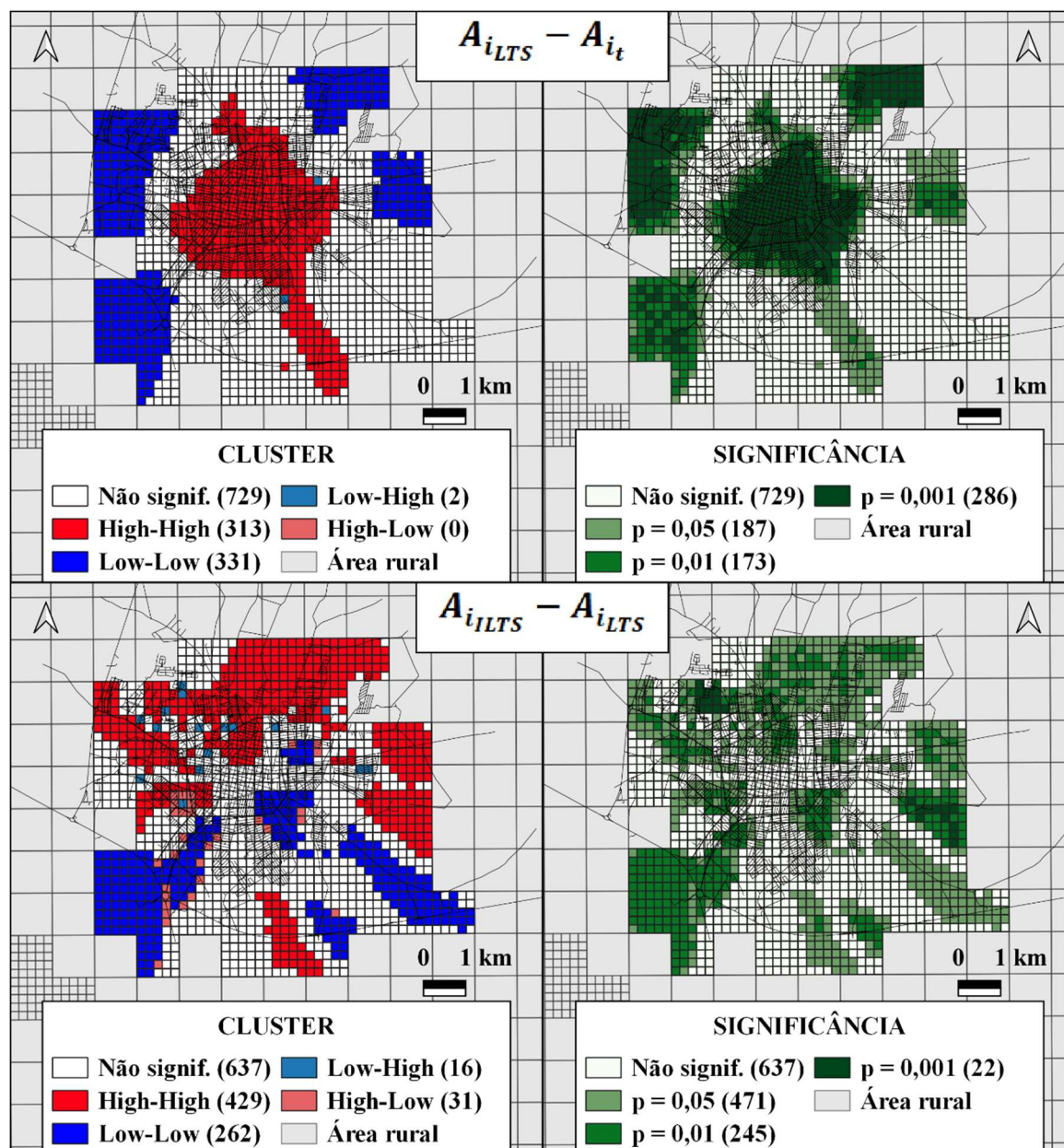
4.4.2.3 Resultados para Ibitinga-SP

A Figura 4.9 apresenta os mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Ibitinga-SP.

O Índice de Moran Global ($I = 0,938$) referente à comparação entre as duas primeiras fases sugere uma fortíssima autocorrelação espacial positiva das diferenças entre acessibilidades homólogas, sendo identificado um conjunto de 313 células agrupadas como *High-High* que se estende pela região central, ao norte e ao sudeste do município, além de quatro grandes agrupamentos *Low-Low* nas regiões periféricas. Para o primeiro caso, apenas duas unidades de análise correspondem a *outliers Low-High* da variável de análise. Não foram identificados *outliers High-Low*.

No que se refere à comparação entre as duas últimas fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,480$) sugere uma autocorrelação espacial positiva de moderada a fraca das diferenças entre acessibilidades homólogas. *Clusters High-High* são identificados para diversas regiões periféricas do município, com destaque para a o extremo norte da área de estudo, e *clusters Low-Low* são observados majoritariamente nas regiões sudeste e sudoeste. Ao todo, 31 células são agrupadas como *High-Low* e 16 como *Low-High*.

Figura 4.9: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

4.4.2.4 Análises bivariadas

Buscando-se investigar possíveis motivos para a forte autocorrelação espacial, em todos os locais de estudo, das diferenças entre acessibilidades homólogas relacionadas às duas primeiras fases da abordagem proposta, uma análise complementar, bivariada, foi conduzida, isto é, da dependência espacial entre a diferença de acessibilidades homólogas (observada em uma unidade de análise) e as altitudes do MDE TOPODATA (observadas em unidades adjacentes). Os resultados desta etapa são apresentados no Apêndice C.

4.5 CENTRALIDADES DOS SEGMENTOS VIÁRIOS DAS CIDADES DE ESTUDO

As Figuras 4.10 a 4.12 apresentam, respectivamente, as centralidades de segmentos viários de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP, para cada fase da abordagem proposta.

Com relação à Bocaina-SP, os segmentos viários integram, em média, 2,1% das rotas cicláveis identificadas na primeira fase, sendo observada uma contribuição máxima de 22,4% para algumas feições, enquanto outras 78 não possuem importância relativa ao ciclismo. Estas centralidades média e máxima são de, respectivamente, 0,9% e 15,9% para Bariri-SP; e de 0,5% e 6,9% para Ibitinga-SP. Além disto, na mesma ordem, 482 e 1.307 segmentos viários não possuem importância relativa ao ciclismo para tais cidades.

No tocante à segunda fase, baseada na classificação LTS, as centralidades médias dos segmentos viários de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP são, nesta ordem, de 1,8%, 0,7% e 0,4%; e máximas, de 17,4%, 12,3% e 7,8%, além de, respectivamente, 104, 488 e 1.351 segmentos viários não possuírem importância relativa ao ciclismo. Já na terceira fase, baseada na classificação ILTS, a centralidade média dos segmentos viários não é alterada para nenhuma das cidades estudadas e apenas em Bocaina-SP o valor máximo de centralidade torna-se ligeiramente maior (17,5%), assim como o número de segmentos sem importância relativa ao ciclismo (106). Em Bariri-SP e Ibitinga-SP, os segmentos viários sem participação nas rotas cicláveis diminuem para, respectivamente, 481 e 1.348.

A Tabela 4.4 apresenta estatísticas descritivas, em termos percentuais, das diferenças entre centralidades homólogas⁹. Na cidade de Bocaina-SP, comparando-se as duas primeiras fases, é possível notar uma diminuição média de 0,33% na centralidade de segmentos viários quando considerado o nível de estresse de ciclistas, sendo o decréscimo crítico de 17,46%, que remete a um acréscimo crítico igualmente considerável (13,41%), visto que segmentos viários anteriormente pouco atrativos ao ciclismo passam a se apresentar como opção àqueles agora avaliados com baixa qualidade operacional. Nas demais cidades estudadas, as diminuições da centralidade média de segmentos viários são da mesma ordem de grandeza (0,16% para Bariri-SP e 0,1% para Ibitinga-SP) e os decréscimos e colaterais acréscimos críticos são restritos a 5%.

⁹ Sugere-se ao leitor rever as Equações 3.20 a 3.22. Para o caso da estratégia 2 de atribuição de impedâncias a segmentos viários, os parâmetros $Centralidade_{e,LTS}$ e $Centralidade_{e,ILTS}$ da Tabela 4.4 referem-se, respectivamente, às centralidades homólogas associadas às classificações LTS e ILTS.

Figura 4.10: Centralidades de segmentos viários em Bocaina-SP.

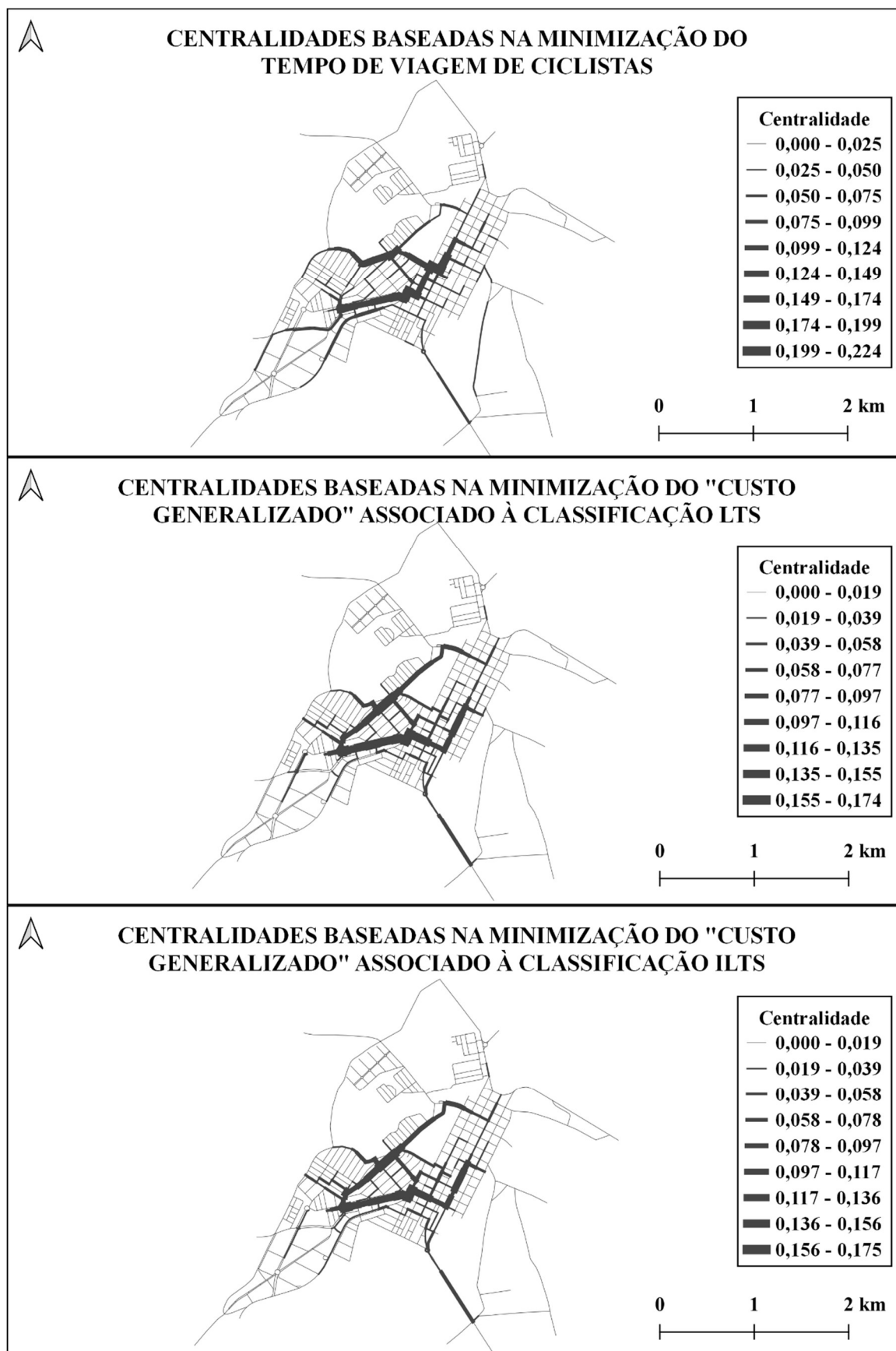


Figura 4.11: Centralidades de segmentos viários em Bariri-SP.

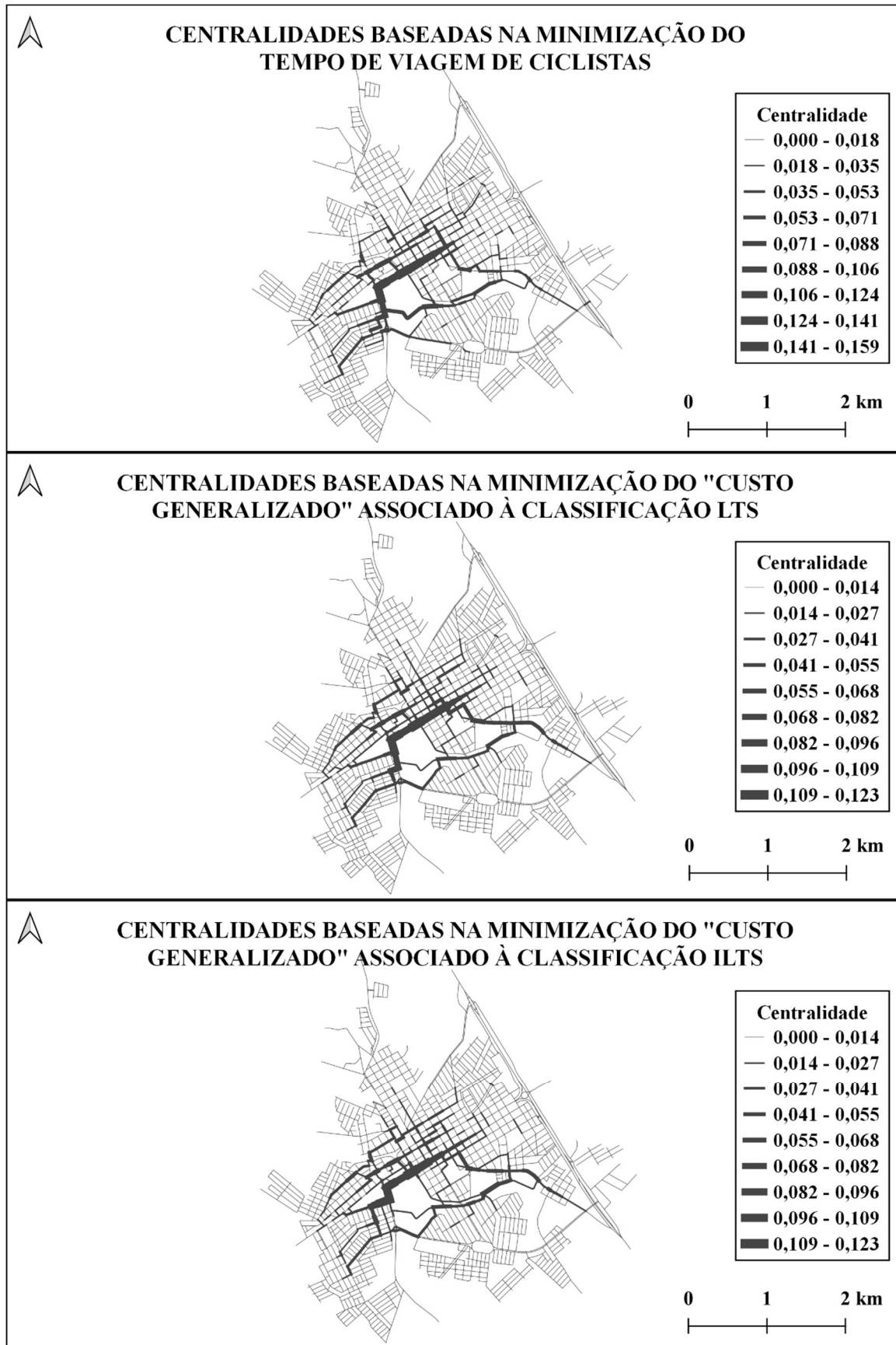
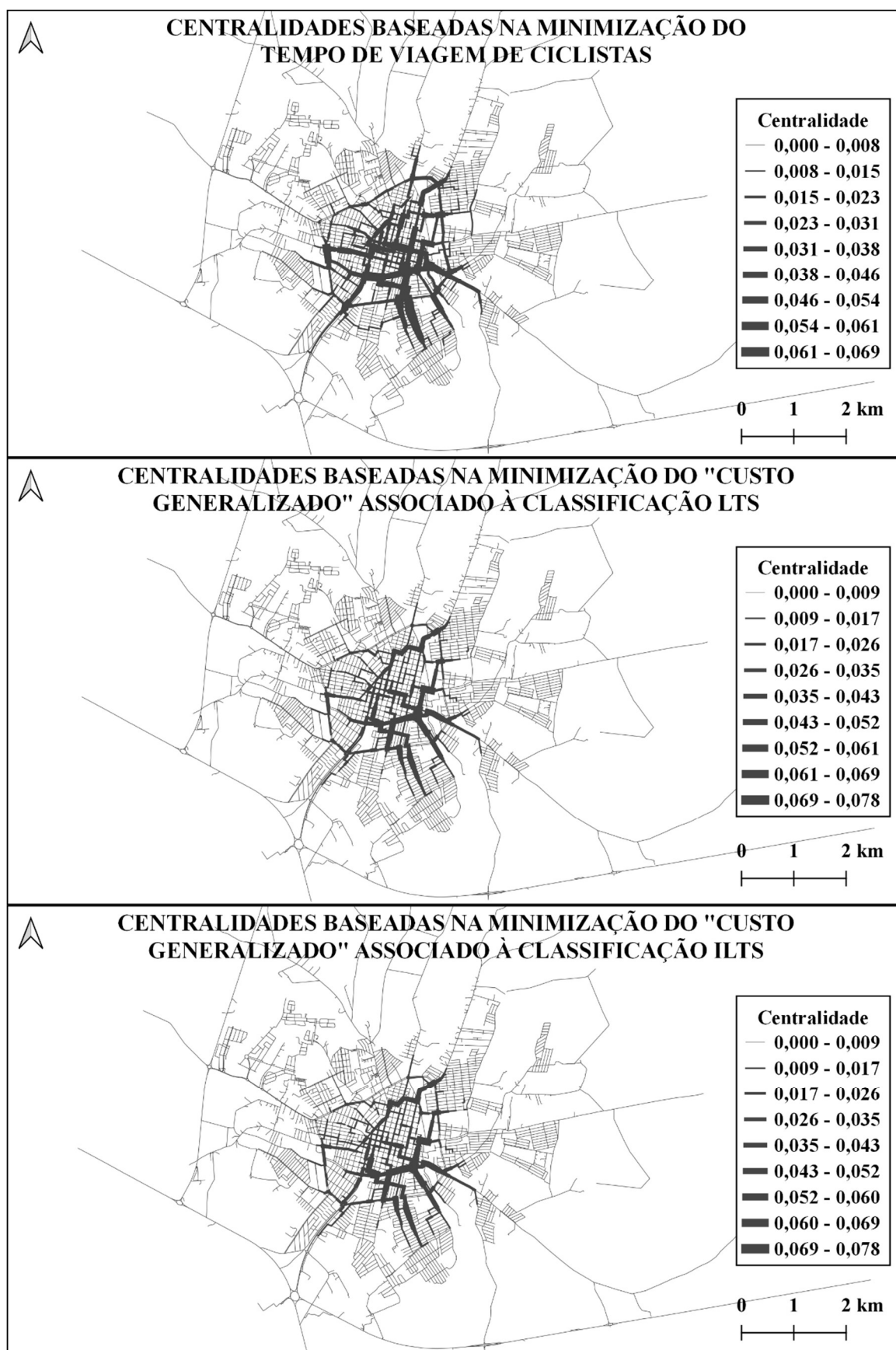


Figura 4.12: Centralidades de segmentos viários em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Tabela 4.4: Estatísticas descritivas das diferenças entre centralidades homólogas (em termos percentuais).

Estatística descritiva	$Centralidade_{2e,LTS} - Centralidade_{1e}$			$Centralidade_{2e,ILTS} - Centralidade_{2e,LTS}$		
	Bocaina-SP	Bariri-SP	Ibitinga-SP	Bocaina-SP	Bariri-SP	Ibitinga-SP
Média (%)	-0,33	-0,16	-0,10	-0,01	0,00	0,00
Mediana (%)	-0,02	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Moda (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desvio padrão (%)	2,65	0,62	0,52	0,30	0,48	0,10
Mínimo (%)	-17,46	-4,65	-4,75	-1,57	-6,04	-1,02
Máximo (%)	13,41	3,93	4,07	1,95	5,87	1,03
Tamanho da amostra	804	2.261	4.205	804	2.261	4.205

Fonte: O Autor (2022).

As diferenças entre os índices homólogos de centralidade mensurados nas duas primeiras fases, cujas distribuições de frequências constam no Apêndice D, foram submetidas a testes de normalidade, porém em nenhum local de estudo esta condição foi verificada. Os resultados do teste de Wilcoxon para Bocaina-SP ($z\text{-score} = 4,47$; $p < 0,05$), Bariri-SP ($z\text{-score} = 17,60$; $p < 0,05$) ou Ibitinga-SP ($z\text{-score} = 19,61$; $p < 0,05$) sugerem rejeitar a hipótese nula, sinalizando para diferenças entre as centralidades homólogas mensuradas com base na minimização do tempo de viagem de ciclistas e do somatório de impedâncias associadas à classificação LTS.

Com relação à comparação entre os índices homólogos de centralidade mensurados nas duas últimas fases, as estatísticas descritivas sugerem que a inclusão de ALTSs à classificação LTS original não reflete em alterações, em termos médios, na centralidade dos segmentos viários dos locais de estudo. Entretanto, apesar de serem observadas variações limitadas a 2% nas cidades de Bocaina-SP e Ibitinga-SP, as diferenças críticas são da ordem de 6% em Bariri-SP. As distribuições de frequências destas diferenças entre centralidades homólogas são apresentadas no Apêndice D e, novamente, para nenhum local de estudo foi verificada a distribuição normal da amostra. Os resultados do teste de Wilcoxon para Bocaina-SP ($z\text{-score} = 0,09$; $p = 0,93 > 0,05$), Bariri-SP ($z\text{-score} = 0,75$; $p = 0,45 > 0,05$) ou Ibitinga-SP ($z\text{-score} = 0,34$; $p = 0,73 > 0,05$), contudo, sugerem não rejeitar a hipótese nula, sinalizando para igualdade entre as centralidades LTS e ILTS.

4.5.1 Autocorrelação espacial das diferenças entre centralidades homólogas

A seguir, são apresentados os resultados de avaliação da autocorrelação espacial tanto das diferenças entre índices homólogos de centralidade mensurados nas duas primeiras ($Centralidade_{2e,LTS} - Centralidade_{1e}$) quanto nas duas últimas ($Centralidade_{2e,ILTS} - Centralidade_{2e,LTS}$) fases da abordagem proposta. Da mesma forma como conduzido para os índices de acessibilidade, além do Índice de Moran Global (I), em cada análise, são apresentados os mapas de *clusters* e significâncias LISA destas diferenças nas cidades de estudo.

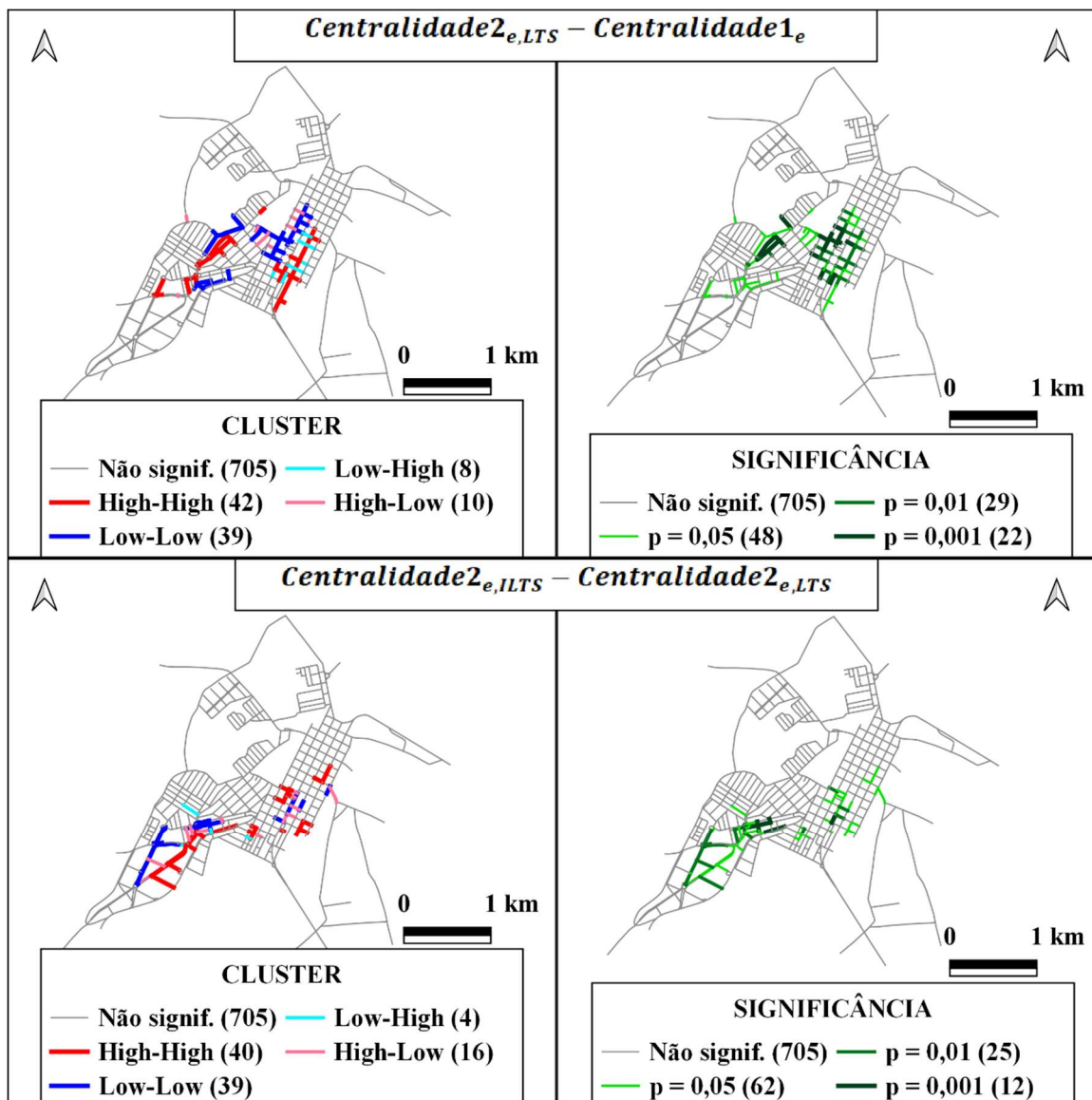
Com relação à nomenclatura utilizada na discussão dos resultados, salienta-se que: quando da comparação entre centralidades homólogas quantificadas nas duas primeiras fases ($Centralidade_{2e,LTS} - Centralidade_{1e}$), *clusters High-High* referem-se a segmentos viários em que a centralidade LTS supera significativamente aquela mensurada com base na minimização do tempo de viagem, próximos a outros em que este fenômeno também é observado; e *clusters Low-Low*, a segmentos viários contíguos em que a centralidade LTS é significativamente subestimada com relação à demais. Já *outliers Low-High* e *High-Low* da diferença de centralidades representam, respectivamente, segmentos onde observa-se uma diminuição na centralidade ao ser considerado o nível de estresse de ciclistas, contíguos a outros onde observa-se um aumento, e vice-versa.

De forma correlata, quando da comparação entre centralidades homólogas quantificadas nas duas últimas fases ($Centralidade_{2e,ILTS} - Centralidade_{2e,LTS}$), *clusters High-High* referem-se a segmentos viários em que a centralidade ILTS supera significativamente a LTS, contíguos a outros em que este fenômeno também é observado; e *clusters Low-Low*, a segmentos viários em que a centralidade ILTS é significativamente subestimada com relação à LTS, contíguos a outros de mesma natureza. Os *outliers Low-High* e *High-Low* da variável de análise, por sua vez, referem-se, respectivamente, a segmentos viários onde observa-se uma diminuição de centralidade ao serem incorporados ALTSs à classificação LTS original, contíguos a outros onde observa-se um aumento, e vice-versa.

4.5.1.1 Resultados para Bocaina-SP

A Figura 4.13 apresenta os mapas de *clusters* e de significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Bocaina-SP.

Figura 4.13: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Bocaina-SP.



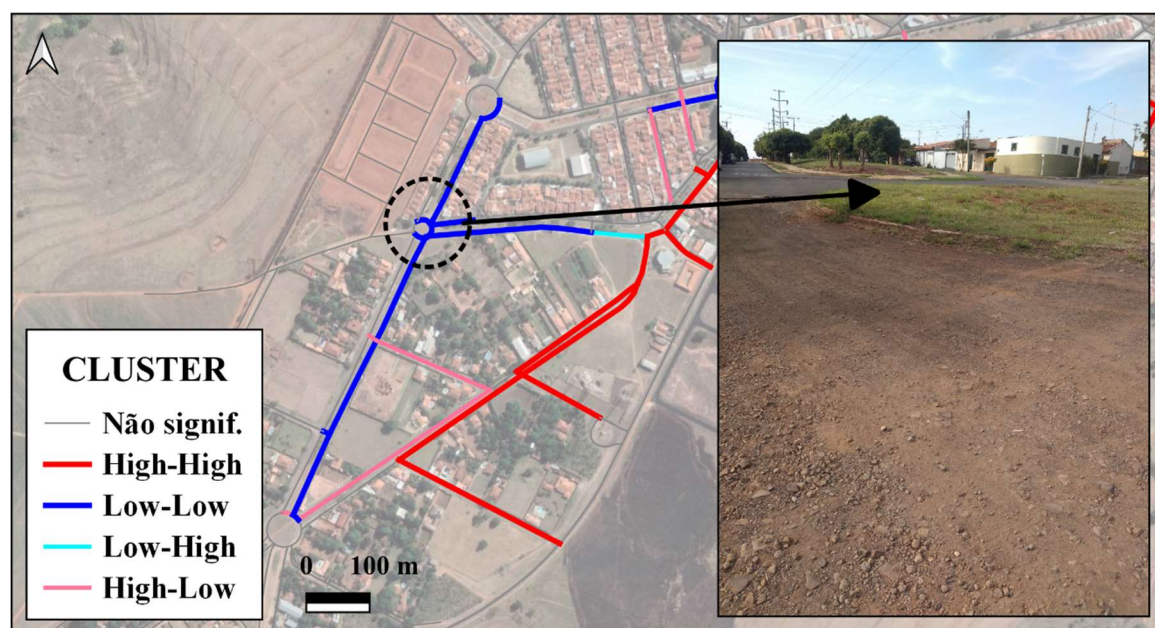
Fonte: O Autor (2022).

Com relação à comparação entre as duas primeiras fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,419$) sugere uma moderada autocorrelação espacial positiva das diferenças entre índices homólogos de centralidade. Ao todo, 42 segmentos viários, invariavelmente classificados com o menor nível de estresse (LTS 1), são agrupados como *High-High*, dentre os quais 11 pertencem a vias primárias e todo o restante a vias residenciais, além de apenas 2 possuírem comprimentos em aclave superiores aos aceitáveis ao ciclismo em função de suas respectivas rampas. Em contrapartida, 39 segmentos viários são agrupados como *Low-Low*, dentre os quais 12 possuem comprimentos em aclave superiores aos aceitáveis ao ciclismo em função de suas respectivas rampas, sugerindo que a tradução das

características do relevo em fatores de declividade escala para a diminuição da importância de segmentos viários não compatíveis com o ciclismo à rede, conforme esperado. No que se refere aos *outliers*, apenas 8 segmentos viários, contíguos àqueles de ampliada acessibilidade na região central, são agrupados como *Low-High*, sendo a metade dotada de inclinações que desestimulam o uso da bicicleta (atingindo 13% no caso crítico); e 10 como *High-Low*, dentre os quais, apesar de ampliada acessibilidade, 4 possuem rampas incompatíveis ao ciclismo e 1 consiste em um trecho viário não pavimentado (LTS 4).

No que se refere à comparação entre as duas últimas fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,351$) sugere uma autocorrelação espacial positiva de moderada a fraca das diferenças entre centralidades homólogas. Ao todo, 40 segmentos viários são agrupados como *High-High*, dentre os quais 26 são classificados com o menor nível de estresse (ILTS 1) e todo o restante com níveis intermediários toleráveis pela maioria da população adulta (ILTS 2). Para apenas 10 destes 40 segmentos viários foram considerados ALTSs, sendo 6 devido a rotatórias e 4 a obstáculos na via (não sendo observados casos críticos de ALTSs simultâneos), além de em apenas 4 feições serem observados comprimentos em aclive desestimulantes ao ciclismo. Em contrapartida, 39 segmentos viários são agrupados como *Low-Low*, sendo 24 caracterizados pela presença de rotatórias (conforme exemplificado na Figura 4.14) e 7 pela existência de obstáculos na via, com ALTSs simultâneos observados para 2 casos.

Figura 4.14: Segmentos viários agrupados como *Low-Low* devido à presença de rotatórias em Bocaina-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Ainda com relação à comparação entre as duas últimas fases, são observados 4 *outliers Low-High*, todos eles isentos de ALTSs ou declividades acentuadas, e 16 *outliers High-Low*, caracterizados por uma boa qualidade operacional (ILTS 1 ou 2) e, com exceção de 1 feição, por comprimentos em aclave compatíveis com ciclismo.

4.5.1.2 Resultados para Bariri-SP

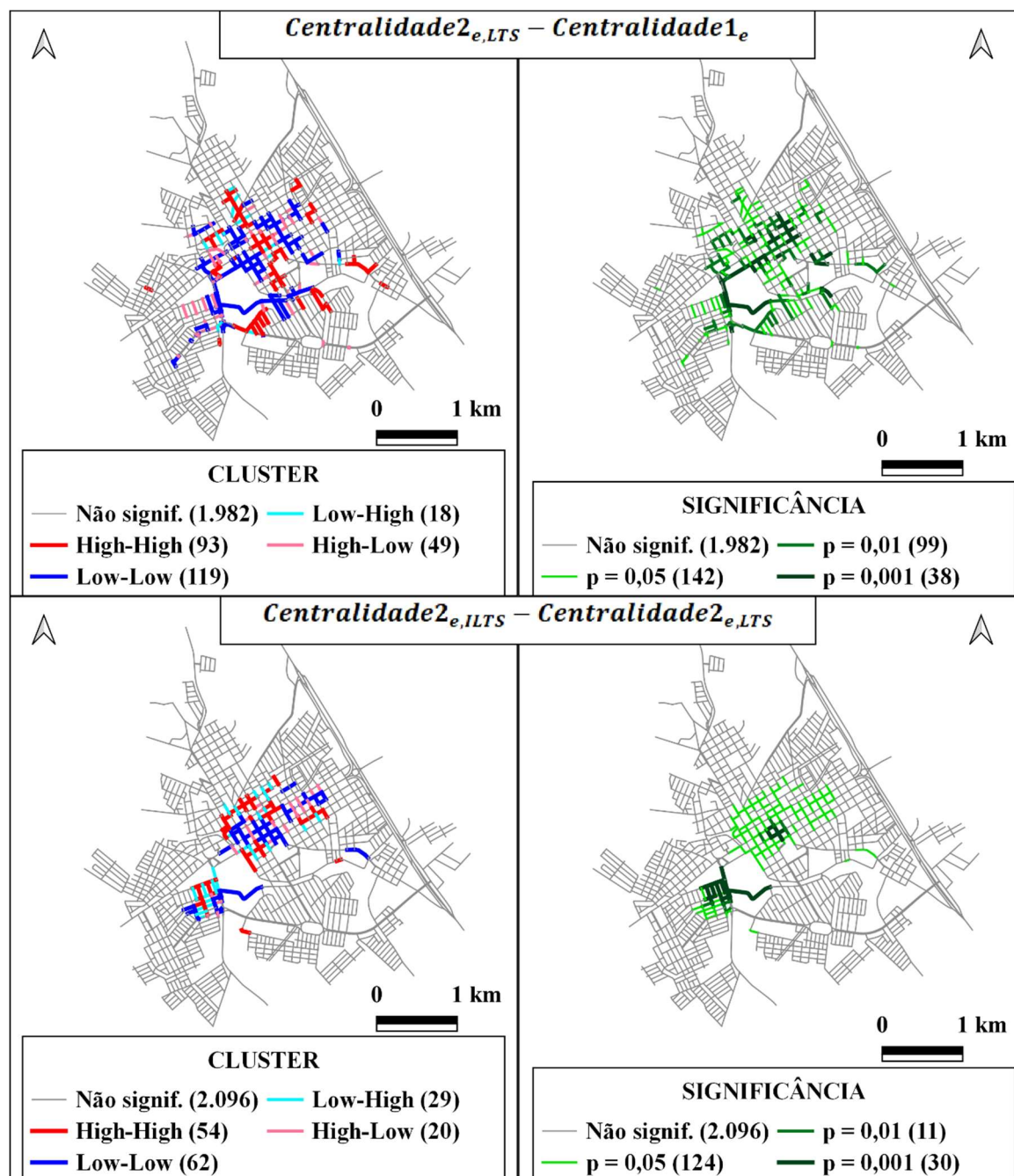
A Figura 4.15 apresenta os mapas de *clusters* e de significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Bariri-SP.

No que se refere à comparação entre as duas primeiras fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,326$) sugere uma autocorrelação espacial positiva de moderada a fraca destas diferenças. Ao todo, 93 segmentos viários são agrupados como *High-High*, sendo apenas 1 deles caracterizado por um nível de estresse não tolerável pela maioria da população adulta (LTS 3) e 6 por comprimentos em aclave superiores aos aceitáveis ao ciclismo em função de suas respectivas rampas. Além disto, 9 segmentos viários pertencentes a este *cluster* integram vias primárias do município e outros 20 integram vias secundárias, sendo todo o restante de caráter residencial local. Em contrapartida, 119 segmentos viários são agrupados como *Low-Low*, 10 deles de alto estresse (LTS 3 ou 4) e 8 com rampas desestimulantes ao ciclismo, no primeiro caso, majoritariamente localizados em vias secundárias do município onde a velocidade média do tráfego motorizado, aferida em campo, excede a regulamentada. Com relação aos *outliers*, distribuídos ao longo de toda a rede, 18 segmentos viários são agrupados como *Low-High*, os quais, ao contrário do ocorrido para Bocaina-SP, possuem unanimemente inclinações compatíveis com o ciclismo, e 49 como *High-Low*, dotados predominantemente de boa qualidade operacional (apenas 1 segmento viário é classificado como LTS 3) e rampas adequadas ao uso da bicicleta (apenas 7 segmentos possuem comprimentos em aclave inaceitáveis ao ciclismo em função de suas respectivas rampas).

Com relação à comparação entre as duas últimas fases, assim como para Bocaina-SP, o Índice de Moran Global ($I = 0,315$) sugere uma autocorrelação espacial positiva de moderada a fraca das diferenças entre centralidades homólogas. Ao todo, 54 segmentos viários são agrupados como *High-High*, todos eles com baixos níveis de estresse ao ciclismo (ILTS 1 ou 2) e apenas 3 com comprimentos em aclave superiores aos respectivos comprimentos aceitáveis em função de suas rampas. Somente para 7 segmentos viários

deste *cluster* foram atribuídos ALTSs associados a obstáculos na via (devido, unanimemente, ao estacionamento de veículos) e em nenhum caso foi observada a influência de rotatórias.

Figura 4.15: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Bariri-SP.

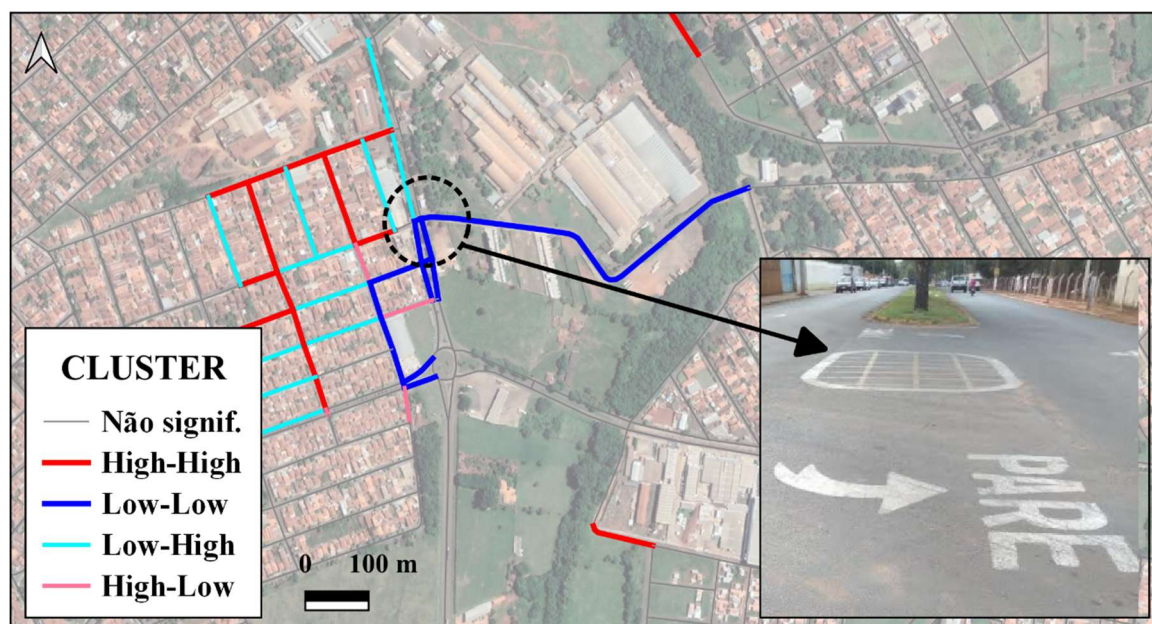


Fonte: O Autor (2022).

Ainda com relação à comparação entre as duas últimas fases, 62 segmentos viários são agrupados como *Low-Low*, sendo que para 36 deles foram atribuídos ALTSs em função

de obstáculos na via, para 8 em função de rotatórias (conforme exemplificado na Figura 4.16) e para 1 em função de ambos. Muitos dos segmentos viários pertencentes a este *cluster* integram vias da região central do município, o que é uma consequência direta da grande concentração de PGVs e da decorrente ocupação dessas vias por veículos estacionados (atingindo 90% em casos críticos). Apenas 2 feições deste grupo, todavia, possuem rampas incompatíveis com o ciclismo. No que diz respeito aos *outliers*, 29 e 20 segmentos viários são agrupados, respectivamente, como *Low-High* e *High-Low*. No primeiro caso, são considerados ALTSs em função de obstáculos a 5 elementos; em função de rotatórias, a 2; e para ambos, a 1. Já no segundo, ALTSs associados a estacionamentos de veículos foram considerados apenas para 4 segmentos viários, o que não refletiu no aumento considerável do estresse de ciclistas, sendo o ILTS limitado, para todos eles, a 2.

Figura 4.16: Segmentos viários agrupados como *Low-Low* devido à presença de rotatórias em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

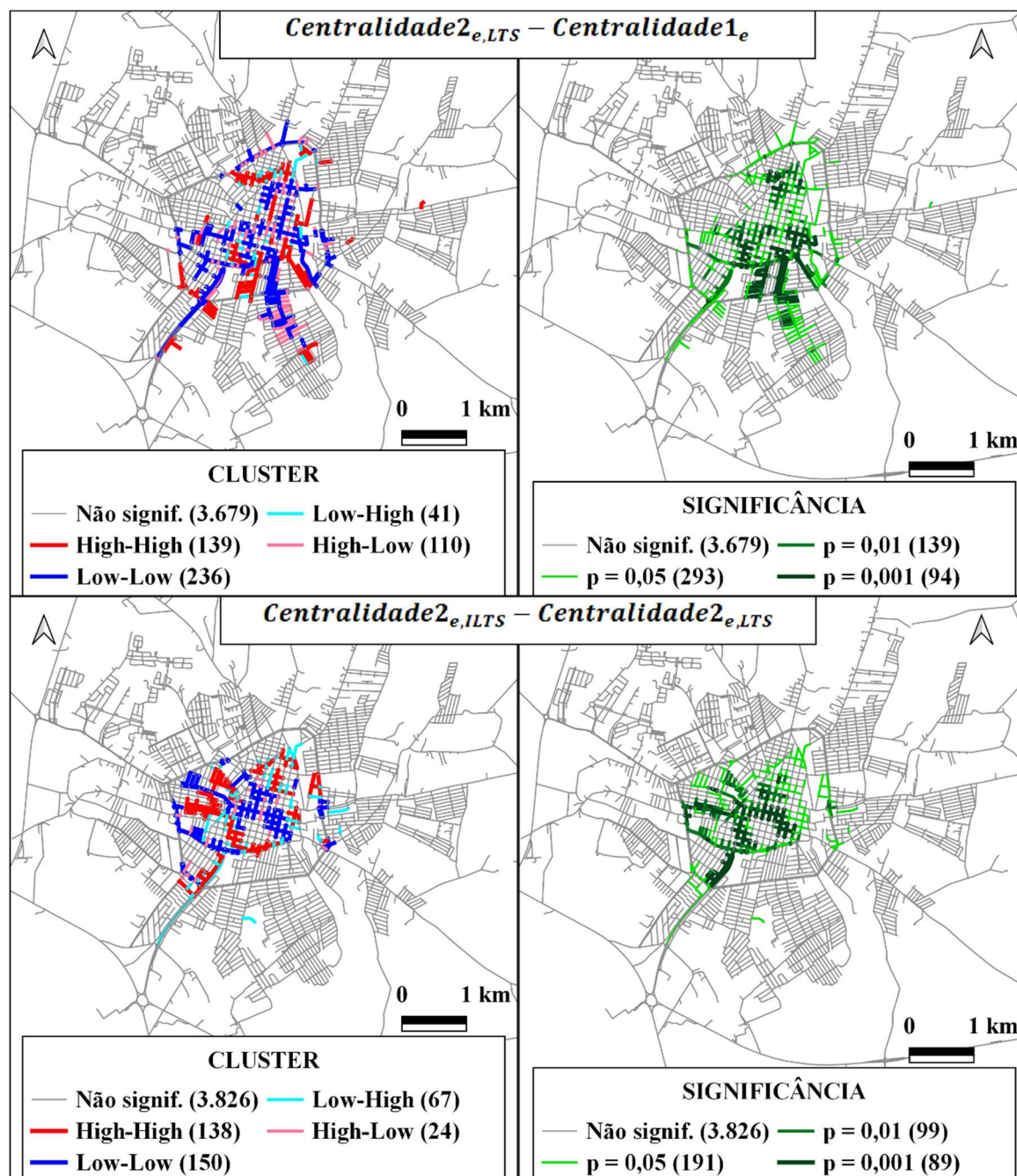
4.5.1.3 Resultados para Ibitinga-SP

A Figura 4.17 apresenta os mapas de *clusters* e de significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Ibitinga-SP.

No que se refere à comparação entre as duas primeiras fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,359$) sinaliza para uma autocorrelação espacial positiva de moderada a fraca destas diferenças. Ao todo, 139 segmentos viários são agrupados como *High-High*, todos eles caracterizados por baixos níveis de estresse ao ciclismo (LTS 1 ou 2) e apenas 19 por

comprimentos em active superiores aos aceitáveis ao ciclismo em função de suas respectivas rampas. Além disto, 12 segmentos viários pertencentes a este *cluster* integram vias arteriais do município; 28, coletoras; e todo o restante, residenciais.

Figura 4.17: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre centralidades homólogas em Ibitinga-SP.

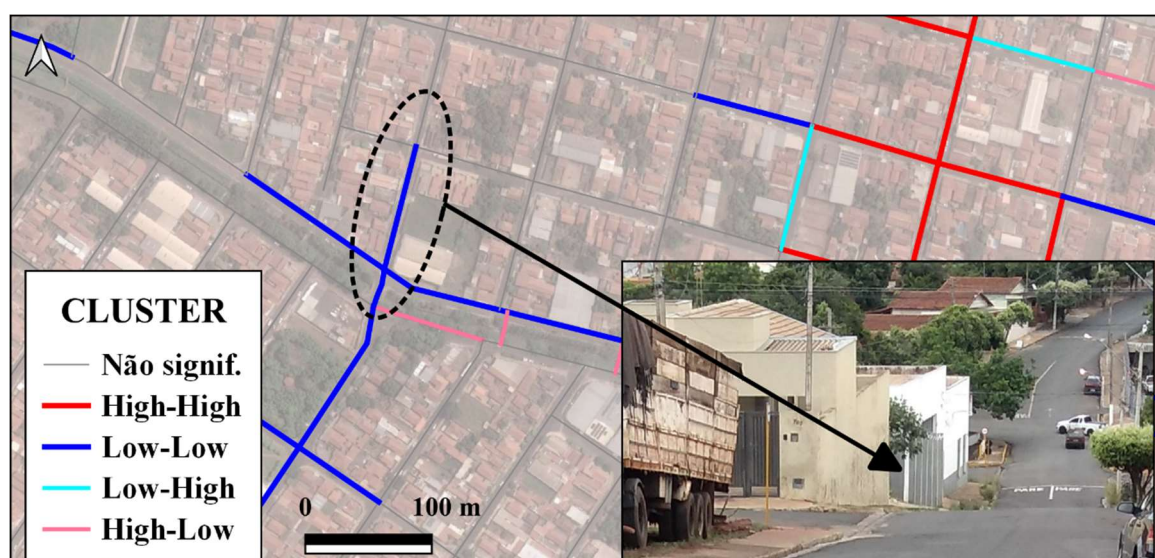


Fonte: O Autor (2022).

Ainda com relação à comparação entre as duas primeiras fases, 236 segmentos viários são agrupados como *Low-Low*, 10 deles de alto estresse (LTS 3 ou 4) e 34 com

rampas incompatíveis com o ciclismo (conforme exemplificado na Figura 4.18). Com relação aos *outliers*, 41 segmentos viários são agrupados como *Low-High*, 9 deles com rampas desestimulantes ao ciclismo, porém nenhum dotado de alto nível de estresse (LTS 3 ou 4); e 110 como *High-Low*, que apesar de majoritariamente cicláveis no tocante às condições topográficas (sendo apenas 9 segmentos viários caracterizados por comprimentos em aclive desestimulantes ao ciclismo em função de suas respectivas rampas) e ao nível de estresse ao ciclismo, 3 elementos possuem baixa qualidade operacional (LTS 3 ou 4), indicando aumento de centralidade a despeito desta condição.

Figura 4.18: Segmento viário de Ibitinga-SP agrupado como *Low-Low* devido à grande declividade.



Fonte: O Autor (2022).

No que diz respeito à comparação entre as duas últimas fases, o Índice de Moran Global ($I = 0,314$), assim como nas demais cidades estudadas, sugere uma autocorrelação espacial positiva de moderada a fraca das diferenças entre centralidades homólogas. Ao todo, 138 segmentos viários são agrupados como *High-High*, sendo apenas 6 deles caracterizados por altos níveis de estresse ao ciclismo (LTS 3 ou 4) e 11 por comprimentos em aclive superiores aos aceitáveis ao ciclismo em função de suas respectivas rampas. Somente para 7 segmentos deste *cluster* foram atribuídos ALTSs associados a obstáculos, todos eles caracterizados por altas taxas de ocupação da via por veículos estacionados. Com relação às rotatórias, a outros 7 segmentos *High-High*, distintos dos acima mencionados, foram atribuídos ALTSs. Em contrapartida, 150 segmentos viários são agrupados como *Low-Low*, sendo que para 55 deles foram atribuídos ALTSs em função de obstáculos na via, para 29 em função de rotatórias e para 1 em função de ambos, neste último caso,

equipado com ponto de parada de ônibus. De forma consoante com os resultados observados para Bariri-SP, muitos dos segmentos pertencentes a este *cluster* em Ibitinga-SP localizam-se na região central, estando sujeitos ao intenso estacionamento lateral paralelo de veículos. Mais ainda, 27 feições deste grupo possuem rampas incompatíveis com o ciclismo. No que diz respeito aos *outliers*, 67 e 24 segmentos viários são agrupados, respectivamente, como *Low-High* e *High-Low*. No primeiro caso, são considerados ALTSs em função de obstáculos e rotatórias, respectivamente, a 11 e a 3 elementos, não sendo observadas atribuições simultâneas. Já no segundo, ALTSs foram considerados a 7 segmentos viários devido a estacionamentos de veículos e a 4 devido a rotatórias, com apenas uma atribuição simultânea.

5 PROPOSTAS DE REDES CICLOVIÁRIAS

Neste Capítulo, para cada cidade estudada, é apresentada uma proposta de rede cicloviária com base nos respectivos segmentos viários de maior centralidade.

Tendo em vista que os resultados dos testes estatísticos apresentados no Capítulo 4 sinalizam para diferenças entre os índices homólogos de centralidade mensurados a partir do tempo de viagem de ciclistas e da classificação LTS, porém não entre os mensurados a partir das classificações LTS e ILTS, a definição de eixos cicláveis, inobstante ao local de estudo, teve por base critérios que incorporassem o nível de estresse de ciclistas. Desta forma, nas cidades de Bocaina-SP e Bariri-SP, caracterizadas por uma menor complexidade viária, procedeu-se com a definição de redes cicloviárias a partir das centralidades LTS. Na cidade de Ibitinga-SP, caracterizada por uma hierarquia viária evidente, contudo, a rede cicloviária foi proposta a partir das centralidades ILTS, estimadas considerando-se um maior número de variáveis de estresse.

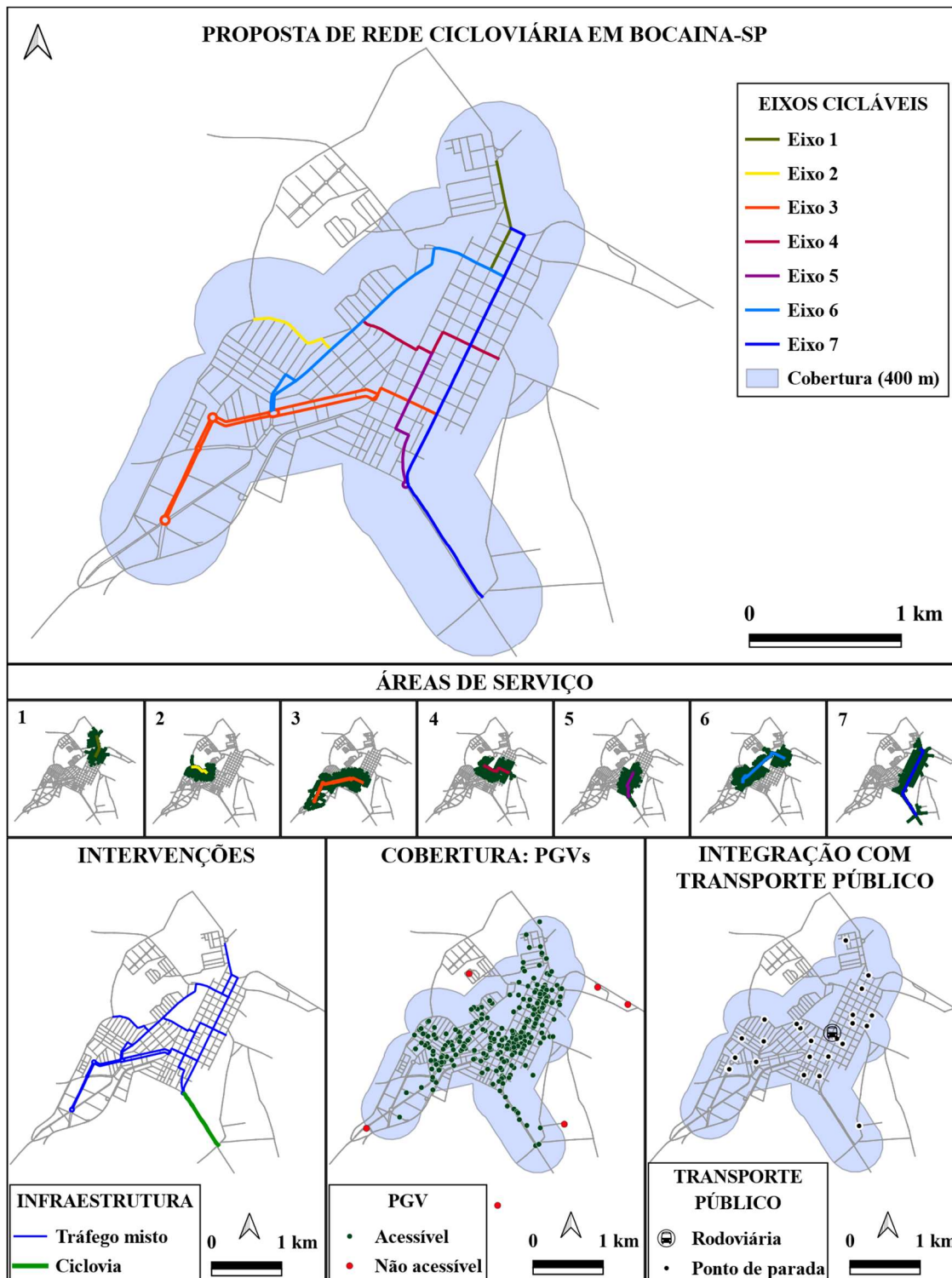
Em seguida, partindo-se do conceito de “rede cicloviária de baixo estresse”, cada um dos segmentos viários que compõem as redes propostas foi avaliado, dependendo-se do local de estudo, com relação à sua correspondente classificação LTS ou ILTS, e projetos cicloviários prioritários (intervenções no sistema viário) foram elencados em cada cidade de forma a garantir eixos cicláveis uniformemente caracterizados por níveis de estresse toleráveis à maioria da população adulta (LTS ou ILTS limitados a 2). Por último, a acessibilidade de ciclistas a PGVs por bicicleta, em cada unidade de análise, foi recalculada, simulando-se tais intervenções, e comparada com o respectivo valor atual (para Bocaina-SP e Bariri-SP, com os correspondentes valores de acessibilidade LTS; e para Ibitinga-SP, ILTS), objetivando-se verificar de forma pragmática os benefícios proporcionados pelas mesmas.

Vale mencionar ainda que, com relação à nomenclatura utilizada ao ser avaliada a autocorrelação espacial das diferenças entre acessibilidades homólogas depois e antes das intervenções hipotéticas, tendo em vista que melhorias de qualquer natureza no sistema viário não refletem em prejuízos à acessibilidade de ciclistas (deltas negativos), *clusters High-High* remetem agora a unidades de análise contíguas onde é esperado um aumento considerável de acessibilidade; e *clusters Low-Low*, a unidades de análise contíguas onde as intervenções no sistema viário não impactam na facilidade de alcance aos PGVs.

5.1 REDE CICLOVIÁRIA EM BOCAINA-SP

A Figura 5.1 apresenta a proposta de rede cicloviária, resultante da aplicação do método, para a cidade de Bocaina-SP.

Figura 5.1: Proposta de rede cicloviária em Bocaina-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Em síntese, são propostos 7 eixos cicláveis que somam 13,3 km de extensão, além de abrangerem 98% dos PGVs e 79,5% da demanda potencial por ciclismo da cidade em uma área delimitada por *buffers* de 400 metros a partir dos mesmos. No tocante à área de serviço acumulada, estima-se que mais de 65% da malha urbana e de 75% dos nós do grafo sejam atendidos à distância, em rede, de 400 metros dos eixos cicláveis. No que se refere à integração com o transporte público, o terminal rodoviário e 6 dos 24 pontos de parada de ônibus georreferenciados para Bocaina-SP são coincidentes com os eixos propostos, sendo todos os demais servidos à distância média de 83 metros da rede proposta.

Com relação ao nível de estresse dos segmentos viários que compõem a rede, praticamente todos eles são classificados como LTS 1, não demandando intervenções específicas além da sinalização adequada, com exceção de um trecho de aproximadamente 880 metros da Rodovia Prof. Benedito Montenegro (Figura 5.2), por intermédio do qual, inobstante ao pior nível de estresse (LTS 4), ciclistas acessam PGVs do extremo sudeste da região de estudo. Tendo em vista essa maior hierarquia viária do trecho em questão, onde são esperados grandes volumes e velocidades do tráfego motorizado, a separação total do tráfego de ciclistas é desejável, sendo proposta a construção de uma ciclovia.

Figura 5.2: Rodovia Prof. Benedito Montenegro em Bocaina-SP.



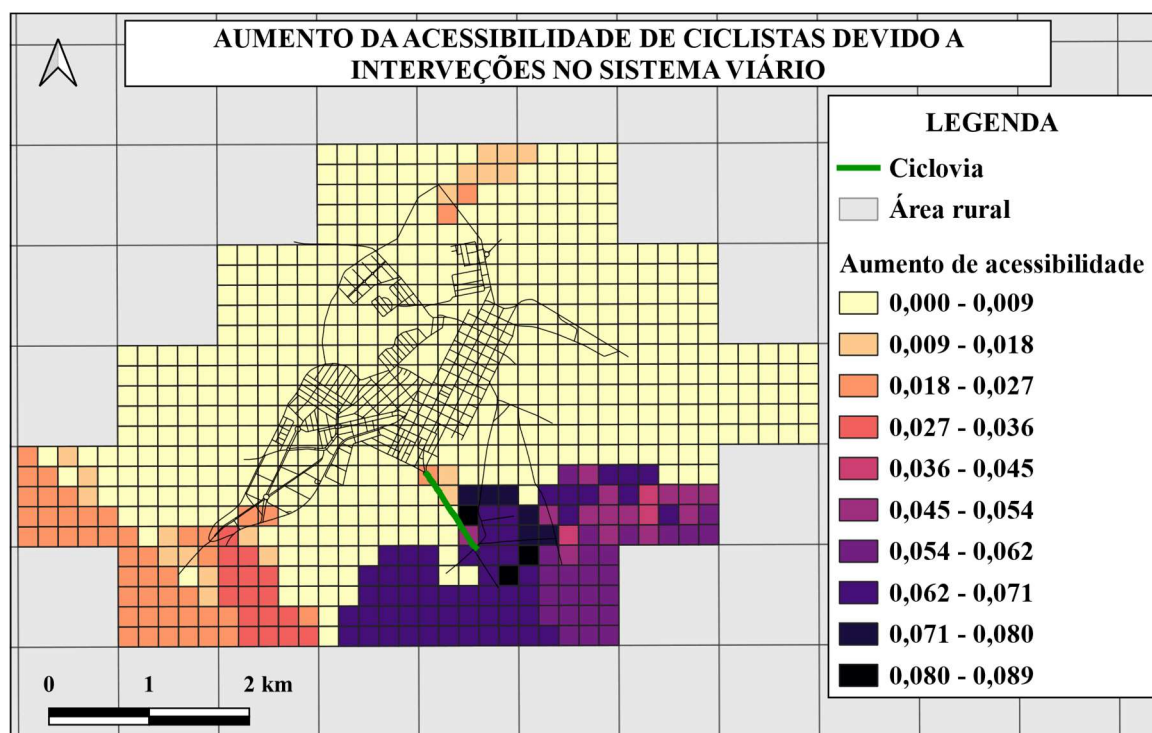
Fonte: O Autor (2022).

A Figura 5.2 foi documentada durante as visitas *in situ*. Por meio dela, é possível notar que, atualmente, já existe um caminho alternativo, isto é, uma espécie de “trilha” não mapeada nas feições OSM e adjacente à Rodovia Prof. Benedito Montenegro, em Bocaina-SP, que permite que os ciclistas locais alcancem estes PGVs mais afastados da região central sem a interação com o tráfego motorizado, sinalizando para resultados da aplicação do método fidedignos à realidade local. Este caminho pode se beneficiar do tratamento adequado (pavimentação, sinalização etc.) para, de fato, ser caracterizado como uma ciclovia bidirecional com largura mínima de 2,50 metros (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

5.1.1 Avaliação dos benefícios à acessibilidade de ciclistas de Bocaina-SP

A Figura 5.3 apresenta os potenciais benefícios da construção da ciclovia proposta (LTS 1) à acessibilidade de ciclistas em Bocaina-SP. Estima-se que, em média, tal intervenção no sistema viário aumentaria em 1,3% a acessibilidade de ciclistas aos 288 PGVs por bicicleta georreferenciados para local de estudo em questão, sendo observado um aumento máximo de 8,9% para uma determinada unidade de análise próxima à infraestrutura hipotética.

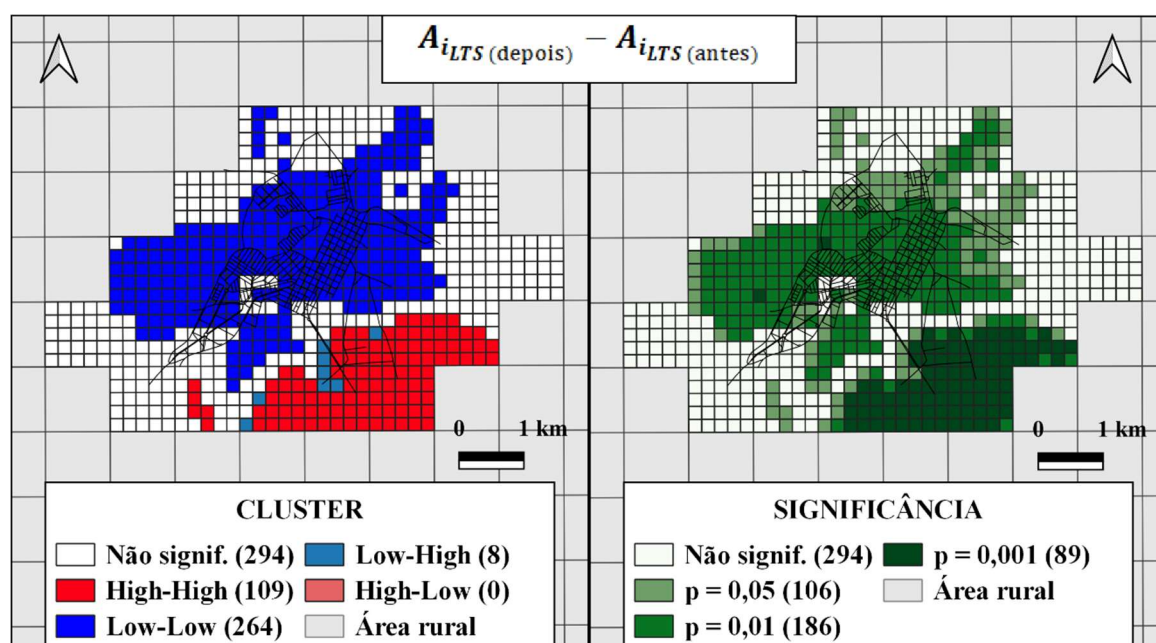
Figura 5.3: Potenciais benefícios das intervenções propostas à acessibilidade de ciclistas em Bocaina-SP.



Fonte: O Autor (2022).

A Figura 5.4 apresenta os mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Bocaina-SP. O Índice de Moran Global ($I = 0,833$) sugere uma forte autocorrelação espacial positiva dessas diferenças e os mapas de *clusters* e de significâncias LISA permitem observar 109 unidades de análise agrupadas como *High-High*, quase que exclusivamente localizadas no extremo sudeste da área de estudo, sinalizando para um aumento da acessibilidade de ciclistas desta região. *Clusters Low-Low* são observados em quase todas as demais regiões, em especial na região central, onde a acessibilidade de ciclistas aos PGVs é alta a despeito da ciclovias proposta.

Figura 5.4: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Bocaina-SP.

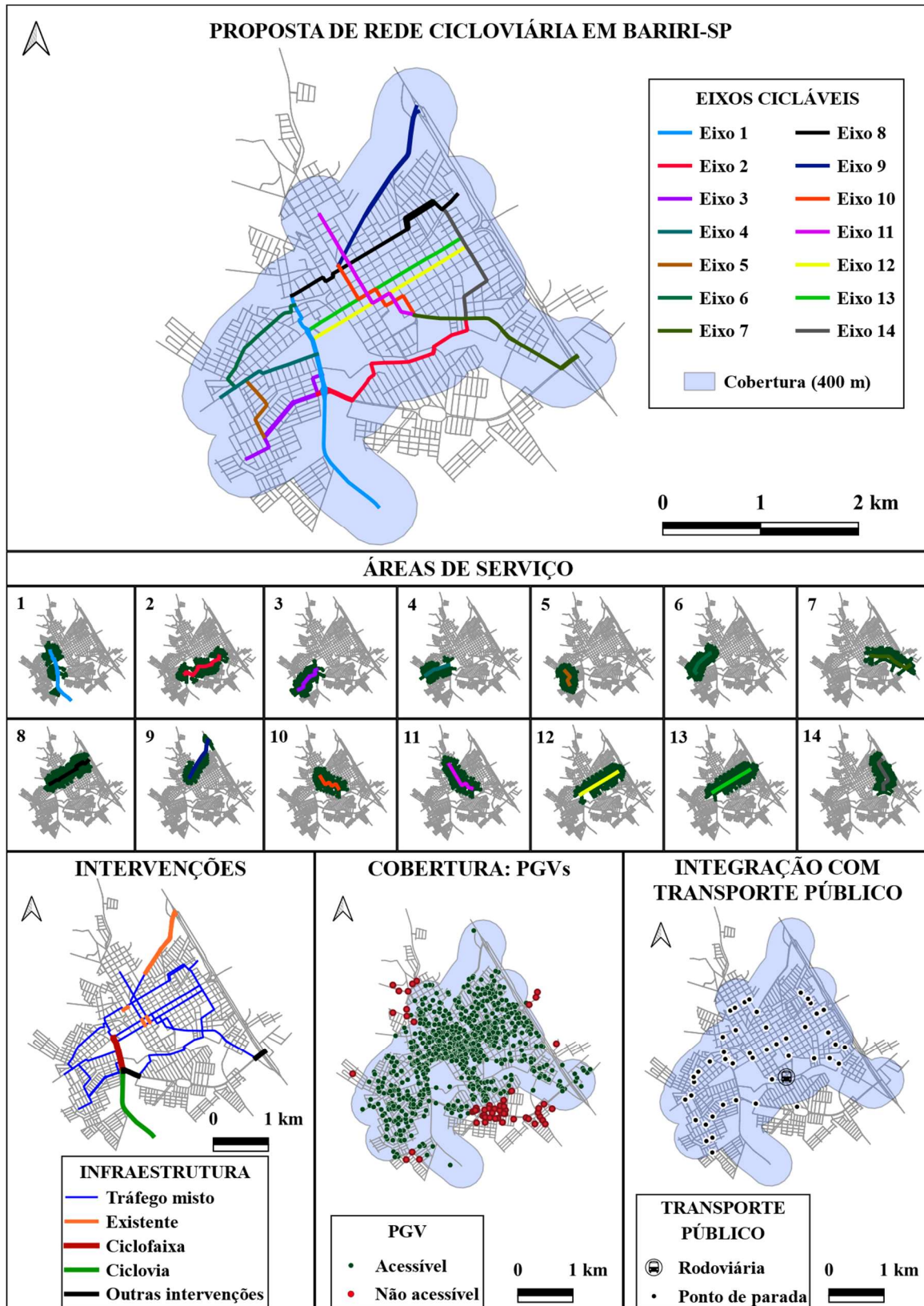


Fonte: O Autor (2022).

5.2 REDE CICLOVIÁRIA EM BARIRI-SP

A Figura 5.5 apresenta a proposta de rede cicloviária, resultante da aplicação do método, para a cidade de Bariri-SP. Ao todo, são propostos 14 eixos cicláveis, adequados à infraestrutura existente (ciclofaixas e passeios compartilhados), que somam 27,3 km de extensão, além de abrangerem 94% dos PGVs e 96% da demanda potencial por ciclismo da cidade em uma área delimitada por *buffers* de 400 metros a partir dos mesmos. No tocante à área de serviço acumulada, estima-se que mais de 63% da malha urbana e de 70% dos nós do grafo sejam atendidos à distância, em rede, de 400 metros dos eixos cicláveis.

Figura 5.5: Proposta de rede cicloviária em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

No que se refere à integração com o transporte público, 31 dos 47 pontos de parada de ônibus georreferenciados para Bariri-SP são coincidentes com os eixos propostos e, com exceção de 1, todos os demais (além do terminal rodoviário) são servidos à distância média de 139 metros da rede proposta.

Os segmentos viários que compõem a rede são predominantemente limitados ao nível de estresse tolerável à maioria da população adulta (LTS 2), porém algumas exceções são observadas em trechos extremos da Estrada Perimetral Pref. Domingos Antônio Fortunato (LTS 3), na Av. Vice-Pref. Sérgio Forcin (LTS 3) e em diferentes partes da Rodovia SP-261 (LTS 3 e 4), neste último caso, que promove o acesso de ciclistas a uma indústria do segmento de móveis. Assim, diferentes intervenções são propostas para cada situação.

A Figura 5.6, documentada durante as visitas *in situ*, apresenta diferentes trechos da Estrada Perimetral Pref. Domingos Antônio Fortunato, em Bariri-SP. Ao centro (b), são mostrados passeios compartilhados por ciclistas e pedestres dispostos ao longo do canteiro central de toda a via em questão, com exceção dos trechos que demandam intervenções, por sua vez, mostrados às margens, (a) e (c), da Figura 5.6. Este passeio compartilhado não foi vetorizado no grafo de Bariri-SP devido à ausência de sinalização indicando a situação de compartilhamento, conforme sugere o CTB (2010), possível razão pela qual constatou-se, por meio de inspeções no local, que os ciclistas optam majoritariamente pelo compartilhamento da via com veículos motorizados. Os demais passeios compartilhados vetorizados para o mesmo local de estudo, apesar de também não disporem de sinalização adequada, possuem um traçado independente da malha viária, sendo frequentemente utilizados por ciclistas.

Neste contexto, dentre possíveis intervenções que podem melhorar a qualidade operacional dos trechos extremos da Estrada Perimetral Pref. Domingos Antônio Fortunato, sugere-se a provisão de passeios compartilhados também ao longo do canteiro central dos mesmos, em conjunto com dispositivos que orientem ciclistas sobre a situação de compartilhamento, não só nestes trechos, mas ao longo de toda a perimetral. O extremo oeste da via em questão (a) é caracterizado por rampas superiores a 5%. Desta forma, as intervenções propostas podem garantir que os ciclistas tenham um espaço seguro para desmontar da bicicleta quando em aclave. Já no extremo leste (c), a perimetral intercepta vias de acesso à Rodovia SP-304. Portanto, a disposição de refúgios seguros no canteiro

central, aliada a outros elementos de *traffic calming*, pode contribuir com a segurança viária de ciclistas ao transporem o cruzamento em questão.

Figura 5.6: Estrada Perimetral Prof. Domingos Antônio Fortunato em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

A Figura 5.7 registra a condição atual da Av. Vice-Pref. Sérgio Forcin, em Bariri-SP. Para esta via, do mesmo modo que para aquela já equipada com infraestrutura cicloviária na cidade em questão (sugere-se ao leitor rever a Figura 3.6), é proposto que em cada lado seja acomodada uma ciclofaixa unidirecional adjacente ao canteiro central. Para uma melhor organização do fluxo de ciclistas, sugere-se ainda que o sentido de circulação permitido ao longo dessas facilidades seja o mesmo que o do tráfego motorizado.

A opção pela separação parcial do tráfego de ciclistas é justificada pelo fato de as aferições prévias da velocidade de veículos indicarem valores reais superiores ao limite regulamentado, de 30 km/h, para a via; pelas condições topográficas favoráveis, com rampas limitadas a 3%; e pela disponibilidade de espaço. Neste último caso, nota-se que é possível reconfigurar a via por meio do estreitamento/redução de faixas de tráfego ou da restrição de estacionamentos (TOOLE, 2010), garantindo a largura mínima de 1,20 metro requerida pelo tipo de facilidade em questão (GEIPOT, 2001). Assim, uma vez “reformada”, a despeito do número de faixas remanescentes (1 ou 2), qualquer velocidade de tráfego motorizado limitada a 60 km/h resultaria na classificação LTS 2 para a via

(sugere-se ao leitor rever a Tabela 3.5) (FURTH, 2017), compatível com a premissa da “rede cicloviária de baixo estresse”.

Figura 5.7: Av. Vice-Pref. Sérgio Forcin em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

A Figura 5.8 apresenta o início da Rodovia SP-261, em Bariri-SP, sentido Pederneiras-SP, para a qual, assim como na Rodovia Prof. Benedito Montenegro, em Bocaina-SP, são esperados grandes volumes e altas velocidades do tráfego motorizado (apesar da adequada sinalização vertical indicando o limite de 50 km/h), sendo desejável a separação total do tráfego de ciclistas pela construção de uma ciclovia bidirecional.

Velocidades em excesso são especialmente observadas no trecho de aproximadamente 550 metros que antecede as alças de acesso aos bairros Jardim Garotinho e Jardim Romero, como constatado via inspeções no local, visto que mais adiante costumava existir um radar fixo para fiscalização eletrônica da velocidade que, embora removido recentemente, possivelmente contribuiu com a adaptação comportamental dos condutores que por ali trafegam, fenômeno também observado em outras cidades paulistas (HIROSUE, 2016).

É imprescindível destacar que a construção da ciclovia proposta requer estudos de viabilidade técnica mais apurados, principalmente no tocante à disponibilidade de espaço. Contudo, em virtude da abordagem metodológica desta pesquisa, procedeu-se com a

simulação dos benefícios latentes também à sua eventual construção. Mais ainda, em julho de 2019, foi lançado um edital de concorrência internacional para concessão rodoviária no Estado de São Paulo, sendo estimados R\$ 14 bilhões em investimentos em obras durante um período de 30 anos de contrato e, dentre as rodovias incluídas, está a SP-261, para a qual, originalmente, era prevista apenas a inserção de faixas adicionais no trecho Bariri-Pederneiras. No entanto, a cada quatro anos podem ser realizadas revisões dos projetos, conforme novas demandas, para solicitação de investimentos, por exemplo, em acostamentos, acessos, passarelas e ciclovias (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019).

Figura 5.8: Rodovia SP-261 em Bariri-SP.

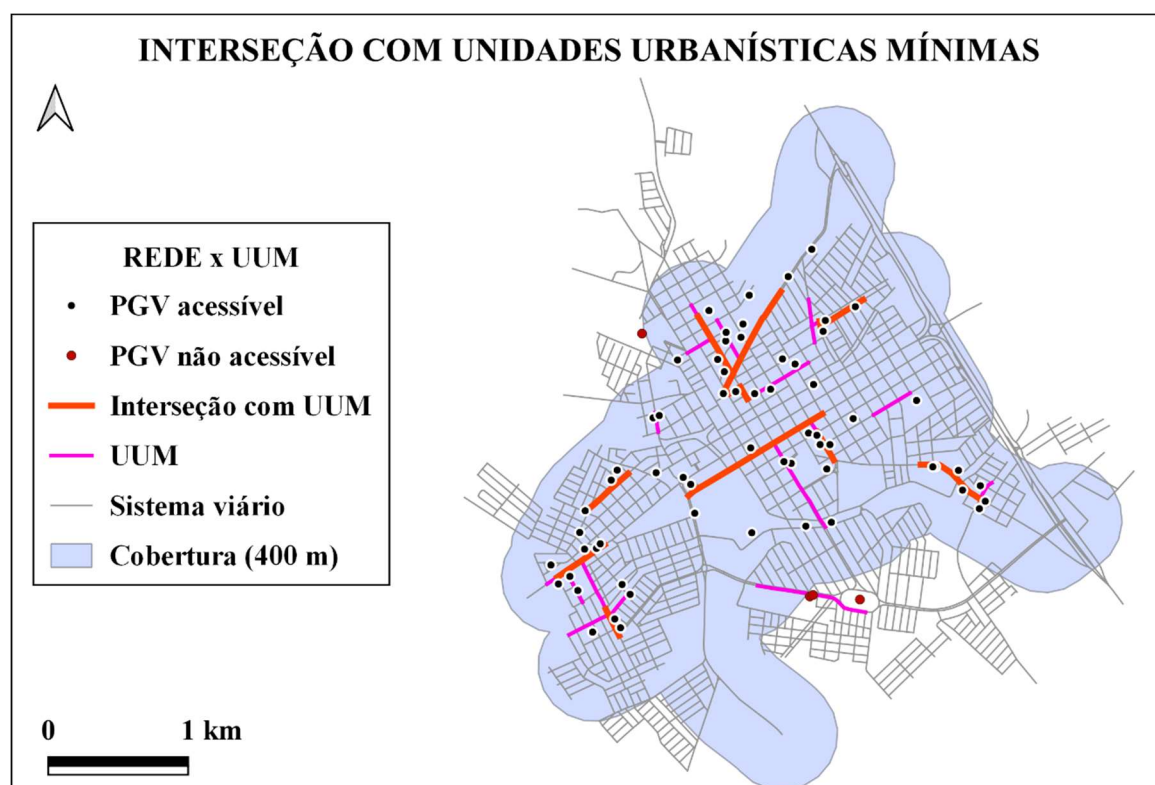


Fonte: O Autor (2022).

Um outro ponto que merece destaque é o fato de 3 das 4 intervenções propostas para o sistema viário de Bariri-SP se interceptarem em uma rotatória. Neste contexto, apesar de existirem estudos voltados ao *design* de rotatórias seguras para ciclistas (SAKSHAUG *et al.*, 2010; JENSEN, 2017), não são sugeridas ou simuladas neste trabalho intervenções pontuais para a interseção em específico. Contudo, é importante enfatizar a necessidade de eventualmente torná-la mais segura, com ou sem as infraestruturas cicloviárias propostas (em caso afirmativo, compatibilizando-as; do contrário, tornando os movimentos de ciclistas não só preferenciais, mas seguros).

A Figura 5.9 apresenta a interseção entre a rede cicloviária proposta e os projetos cicloviários em pauta em Bariri-SP (UUMs). Ao todo, apenas 4,8 km dos 9,8 km (49%) que compreendem as UUMs sobrepõem-se aos eixos cicláveis propostos, sinalizando para o fato de que a predileção por muitos dos segmentos viários a receberem investimentos em ciclismo, possivelmente, não se deu por critérios técnicos. Todavia, a rede cicloviária sugerida envolve 63 dos 67 (94%) PGVs por bicicleta elencados como prioritários pelas autoridades municipais.

Figura 5.9: Interseção entre a rede cicloviária proposta e as UUMs em Bariri-SP.

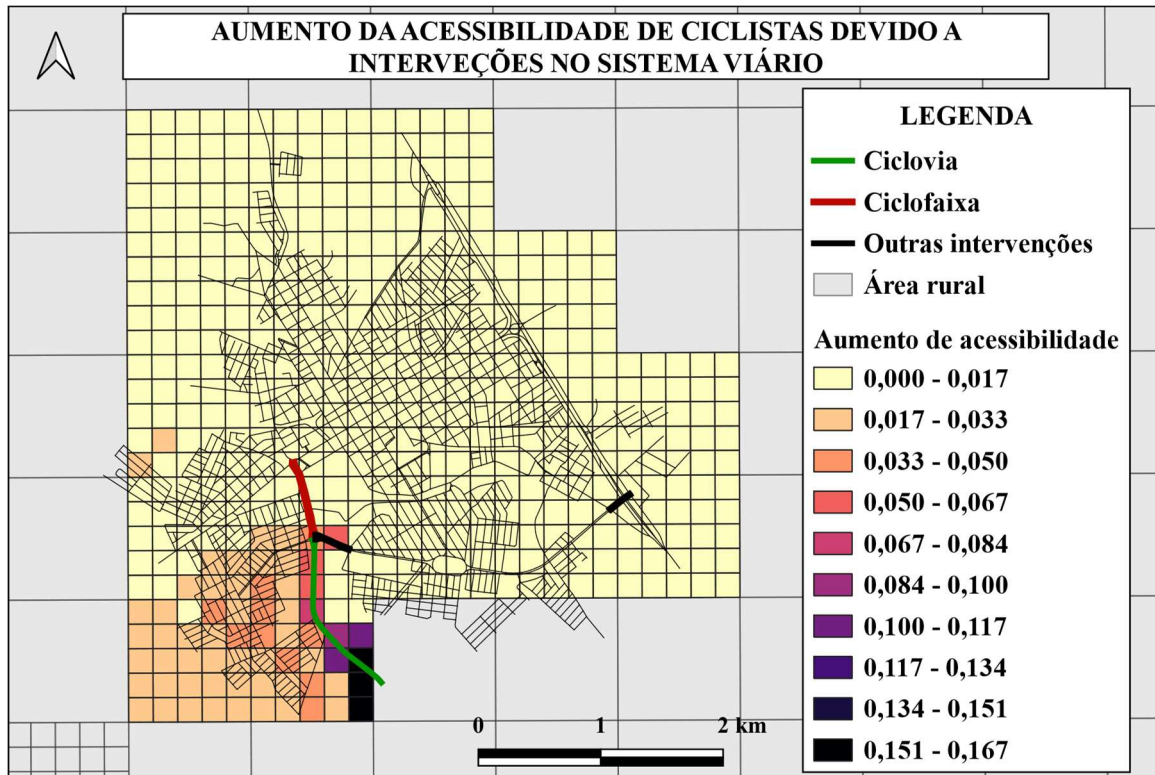


Fonte: O Autor (2022).

5.2.1 Avaliação dos benefícios à acessibilidade de ciclistas de Bariri-SP

A Figura 5.10 apresenta os benefícios latentes à acessibilidade de ciclistas, em Bariri-SP, decorrentes das intervenções propostas neste trabalho para o sistema viário do município. Estima-se que, em média, as infraestruturas e demais mudanças sugeridas aumentariam em apenas 0,8% a facilidade de alcance de ciclistas aos 977 PGVs locais georreferenciados, sendo observados, no entanto, aumentos significativos de até 16,7% para algumas unidades de análise próximas, sobretudo, à ciclovia proposta.

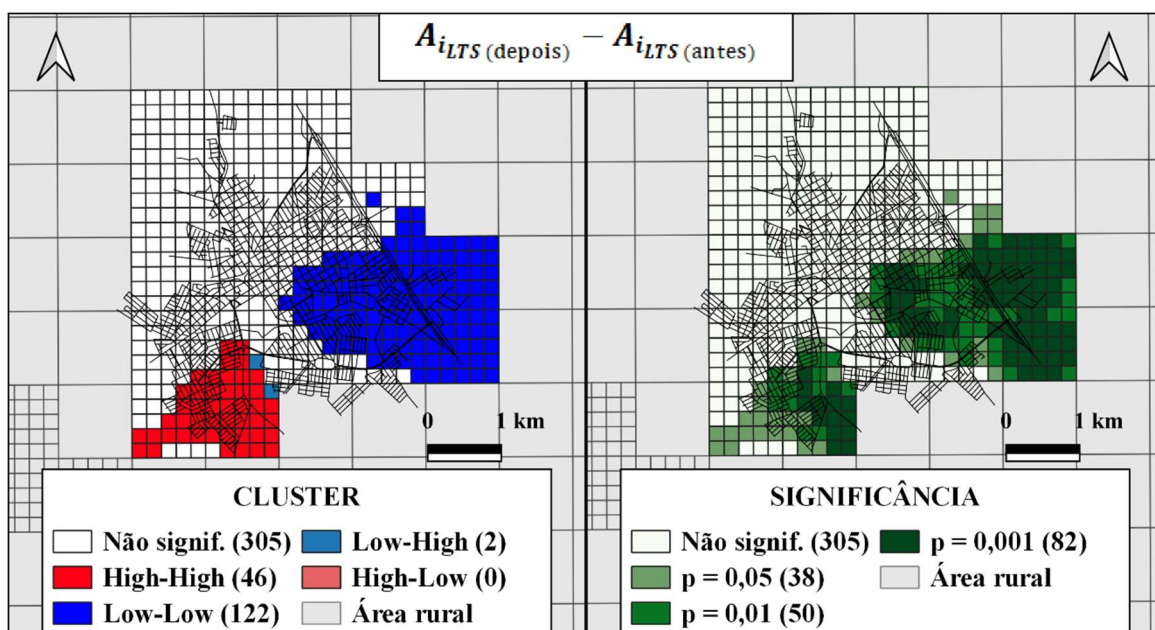
Figura 5.10: Potenciais benefícios das intervenções propostas à acessibilidade de ciclistas em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

A Figura 5.11 apresenta os mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Bariri-SP.

Figura 5.11: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

O Índice de Moran Global ($I = 0,658$) sugere uma autocorrelação espacial positiva de moderada a forte das diferenças entre os índices homólogos de acessibilidade. Os mapas de *clusters* e de significâncias LISA destas diferenças indicam 46 unidades de análise agrupadas como *High-High*, exclusivamente localizadas no extremo sudoeste da área de estudo, para a qual também são observados dois *outliers Low-High* da variável de análise. Em contrapartida, 122 unidades de análise localizadas na região sudeste de Bariri-SP são agrupadas como *Low-Low*, sinalizando para pouco ou nenhum benefício das intervenções propostas à acessibilidade de ciclistas desta região.

5.3 REDE CICLOVIÁRIA EM IBITINGA-SP

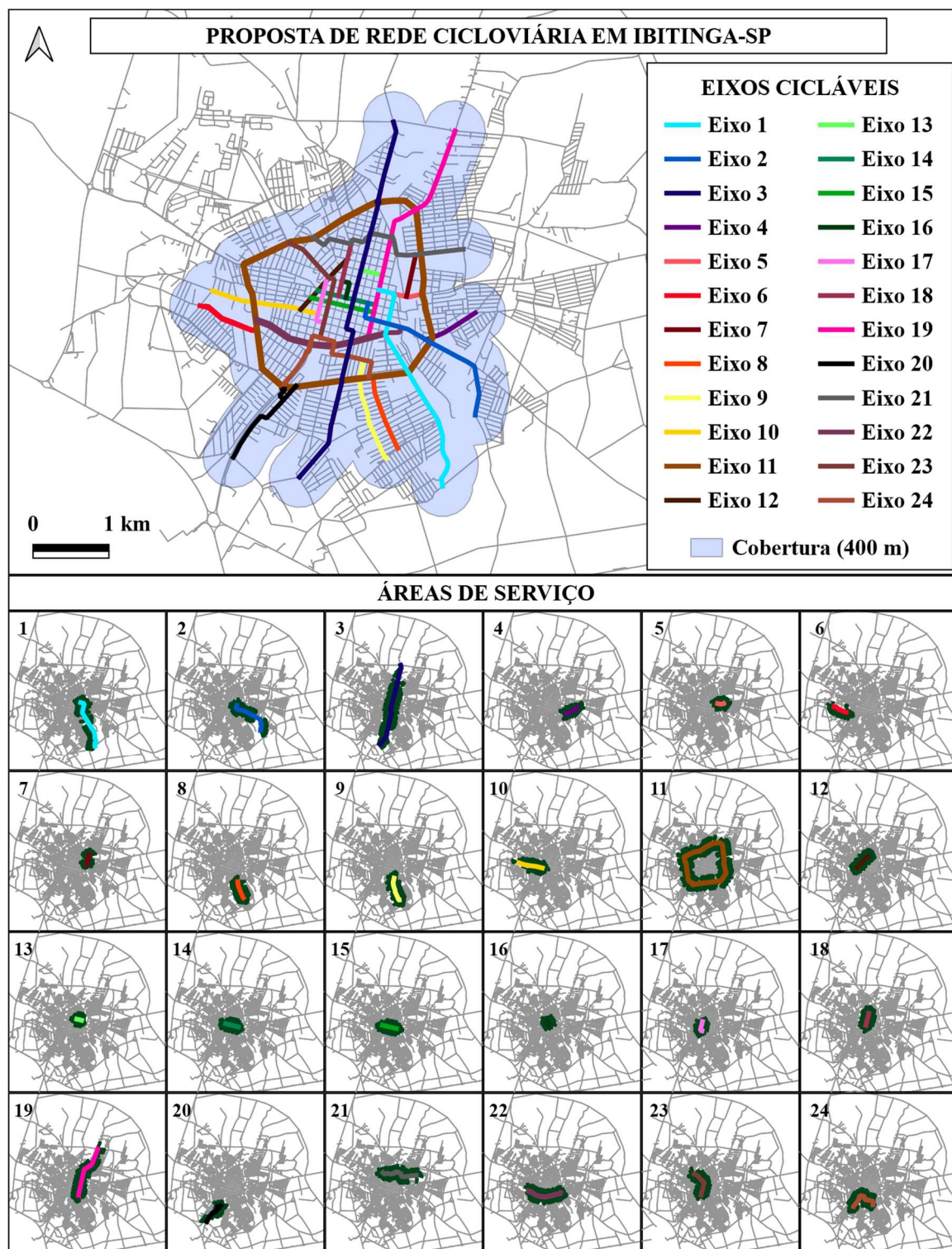
A Figura 5.12 apresenta a proposta de rede cicloviária, resultante da aplicação do método, para a cidade de Ibitinga-SP. A Figura 5.13, por sua vez, apresenta informações complementares, como a interseção dos eixos cicláveis com o sistema viário projetado para o município, as intervenções sugeridas, os PGVs acessíveis e o potencial de integração com o transporte público.

Em síntese, são propostos 24 eixos cicláveis que somam 45,2 km de extensão. Embora pouco menos de 44% da malha urbana e de 64% dos nós do grafo sejam atendidos à distância, em rede, de 400 metros desses eixos cicláveis (área de serviço acumulada), estima-se que pouco mais de 92% dos PGVs e de 93% da demanda potencial por ciclismo da cidade sejam abrangidos em uma área delimitada por *buffers* de 400 metros a partir dos mesmos. No que se refere à integração com o transporte público, 17 dos 31 pontos de parada de ônibus georreferenciados para Ibitinga-SP são coincidentes com os eixos propostos e, com exceção de 4, todos os demais (além do terminal rodoviário) são servidos à distância média de 218 metros da rede proposta.

Especificamente com relação ao eixo ciclável 11 (Av. Eng. Ivanil Francischini, em Ibitinga-SP), é importante ressaltar que nem todos os segmentos viários que o integram são caracterizados por grandes centralidades ILTS. Entretanto, visto que o Plano Diretor Participativo preparado para o município, até o momento do presente trabalho, prevê como única facilidade para ciclistas uma ciclovia bidirecional com 8 km de extensão ao longo de todo o anel viário (sugere-se ao leitor rever a Figura 3.9), procurou-se adequar a rede proposta com o projeto cicloviário já em pauta. Nota-se que em diversos trechos da atual via arterial em questão são observados altos níveis de estresse (ILTS 3) em função de

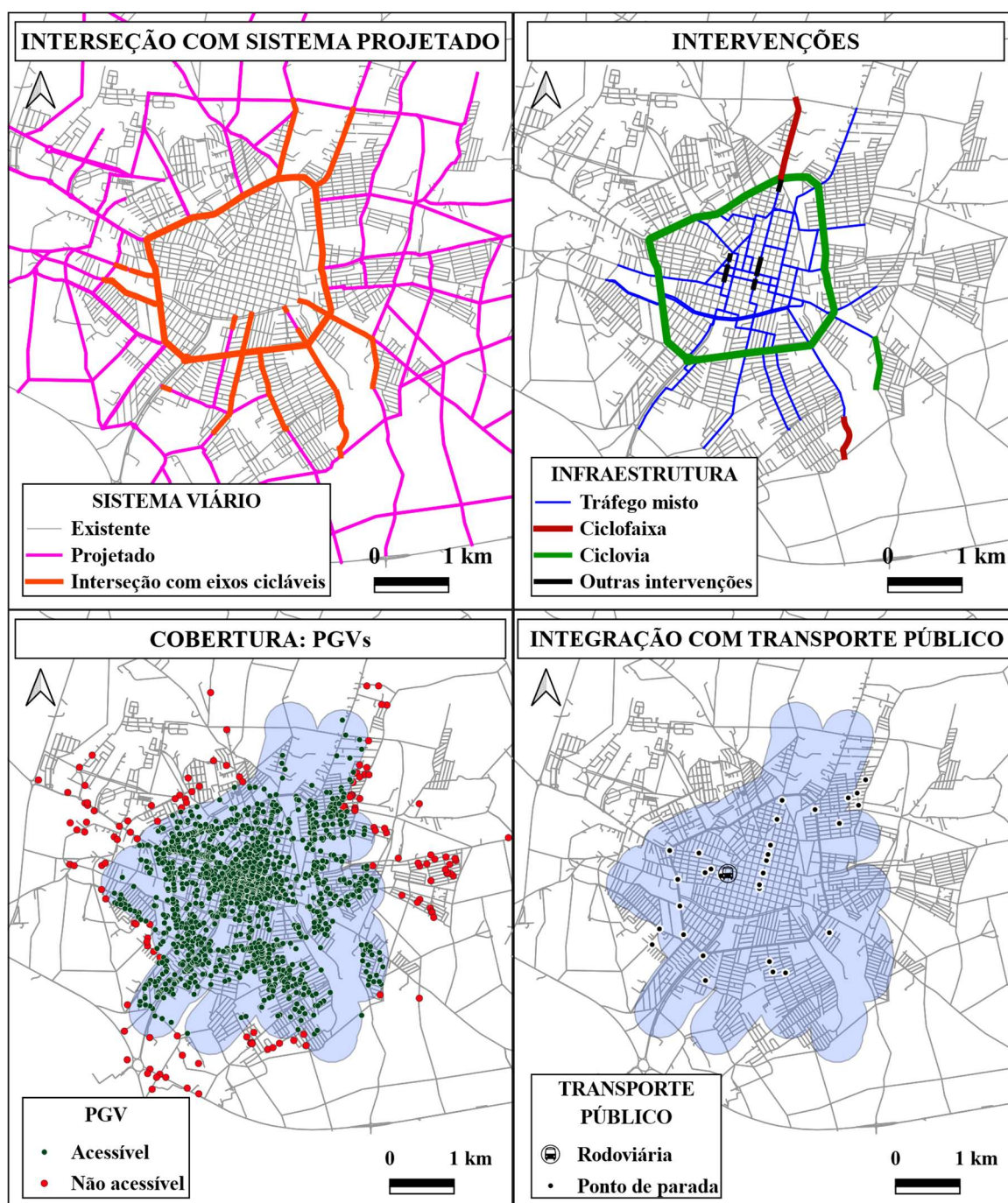
rotatórias. Desta forma, a separação total do tráfego de ciclistas, por meio desta ciclovia, pode contribuir de maneira a atenuar o estresse, além de articular os demais eixos cicláveis.

Figura 5.12: Proposta de rede cicloviária em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 5.13: Informações complementares da rede ciclovária proposta para Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Os segmentos viários que integram os demais eixos cicláveis, por sua vez, são caracterizados por grandes centralidades e, majoritariamente, por baixos níveis de estresse (ILTS 1 ou 2), sendo, para o último caso, algumas exceções observadas em trechos das Avenidas Sete de Setembro e Dom Pedro II (ILTS 3), todos eles previamente classificados como LTS 2, porém penalizados por ALTSs em função de obstáculos. Dos 7 segmentos viários em questão, 4 possuem altas taxas de estacionamento de veículos, 1 é equipado com

ponto de parada de ônibus e em 2 são observados ambos os obstáculos. Desta forma, diferentes intervenções são propostas para cada situação.

Na Av. Sete de Setembro, em Ibitinga-SP, entre as interseções com as Ruas Cap. Felício Racy e Prudente de Moraes (Figura 5.14), sugere-se a proibição do estacionamento de veículos em pelo menos um dos lados da via. A gestão de estacionamentos é uma ferramenta fundamental para a promoção da mobilidade urbana e, sobretudo, para o incentivo ao uso de modos alternativos de transporte (KIRSCHNER; LANZENDORF, 2020). Neste contexto, decisões voltadas à melhoria das condições dos transportes público e ciclovitário, quando tomadas de forma orientada pela demanda, podem ter uma melhor aceitação pública do que políticas simplesmente restritivas, especialmente aquelas associadas a custos monetários, que tendem a predispor de maneira mais enfática residentes e comerciantes do entorno (SCHADE; SCHLAG, 2003; STEG, 2003; KIM; SCHMÖCKER; NOLAND, 2013).

Figura 5.14: Av. Sete de Setembro em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Na Av. Dom Pedro II, em Ibitinga-SP, entre as interseções com a Av. Ferroviária e com a Rua Pedro Manchini, sugere-se a transferência do ponto de parada de ônibus (Figura 5.15), a exemplo de outros na cidade, para o local viável mais próximo na Av. Eng. Ivanil Francischini, visto que o itinerário dos veículos que percorrem as das Linhas 1 e 2 contempla trechos deste anel viário próximos do segmento a ser melhorado (sugere-se ao

leitor rever as Linhas 1 e 2, na Figura 3.16, em conjunto com as informações apresentadas na Figura 5.13).

Figura 5.15: Ponto de ônibus da Av. Dom Pedro II em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Ainda na Av. Dom Pedro II, em Ibitinga-SP, entre as interseções com a Rua Pereira Landim e com a Av. Dr. Victor Maida (região cujo uso do solo é predominantemente comercial), sugere-se a remoção da *centerline* (Figura 5.16). Por se tratar de uma via coletora, esta sinalização horizontal remete a uma classificação LTS 2 para o trecho em questão, que em conjunto com as variáveis adicionais de estresse anteriormente mencionadas resulta em uma classificação ILTS 3. Todavia, caso não fosse disposta a faixa separadora dos sentidos de fluxo, as classificações LTS e ILTS seriam, respectivamente, 1 e 2, ambas compatíveis com o limite tolerável pela maioria dos ciclistas. Vale destacar que vias que não dispõem de *centerlines* apresentam-se como menos estressantes aos ciclistas, pois compelem os motoristas a posicionarem-se ao centro da via, reservando as margens ao uso da bicicleta (MEKURIA; FURTH; NIXON, 2012).

Figura 5.16: *Centerline* na Av. Dom Pedro II em Ibitinga-SP.

Fonte: O Autor (2022).

Por último, também na Av. Dom Pedro II, em Ibitinga-SP, entre as interseções com as Ruas José Custódio e Prudente de Moraes, visto a existência simultânea de um estacionamento 45° e de um ponto de parada de ônibus, são esperadas grandes interações entre o tráfego motorizado e o de ciclistas, sendo a separação desejável. Coincidentemente, trata-se de um segmento viário adjacente a um relevante PGV por motivo de lazer (praça pública), podendo ser previsto um passeio compartilhado entre ciclistas e pedestres (Figura 5.17), desde que receba o tratamento e a sinalização adequada para tal.

Figura 5.17: Passeio compartilhado adjacente à Av. Dom Pedro II em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

No que se refere à interseção entre a rede cicloviária proposta e o sistema viário projetado para Ibitinga-SP, estima-se que 21,8 km de eixos cicláveis seriam sobrepostos às infraestruturas futuras, sendo 16,4 km sobrepostos a acessos, 4,1 km a arteriais e 1,3 km à nova perimetral. Para os dois últimos casos, partindo-se do princípio de que o planejamento prévio de facilidades para ciclistas é tecnicamente mais simples do que a readequação de vias já existentes, buscou-se sugerir tipologias cicloviárias condizentes com a classe funcional das feições sobrepostas, com o intuito de premeditar o nível de estresse destas novas vias e simular também os eventuais benefícios das mesmas uma vez equipadas de infraestruturas cicloviárias.

Para os casos de interseções com as novas arteriais (prolongamento da Rua Dois e reclassificação da Av. Luís Fracischini, em Ibitinga-SP, cujas condições atuais são apresentadas, nesta ordem, à direita e à esquerda da Figura 5.18), são sugeridas ciclofaixas. Para a interseção com a nova perimetral (reclassificação da Estrada Municipal IBG-654, cuja condição atual é apresentada na Figura 5.19), contudo, é sugerida uma ciclovia. É inevitável destacar, no entanto, que essas sugestões seriam mais rigorosas de posse de detalhes a respeito do sistema viário projetado, como número de faixas, existência ou não de canteiro central etc.

Figura 5.18: Condições atuais da Rua Dois e da Av. Luís Francischini em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 5.19: Condição atual da Estrada Municipal IBG-654 em Ibitinga-SP.



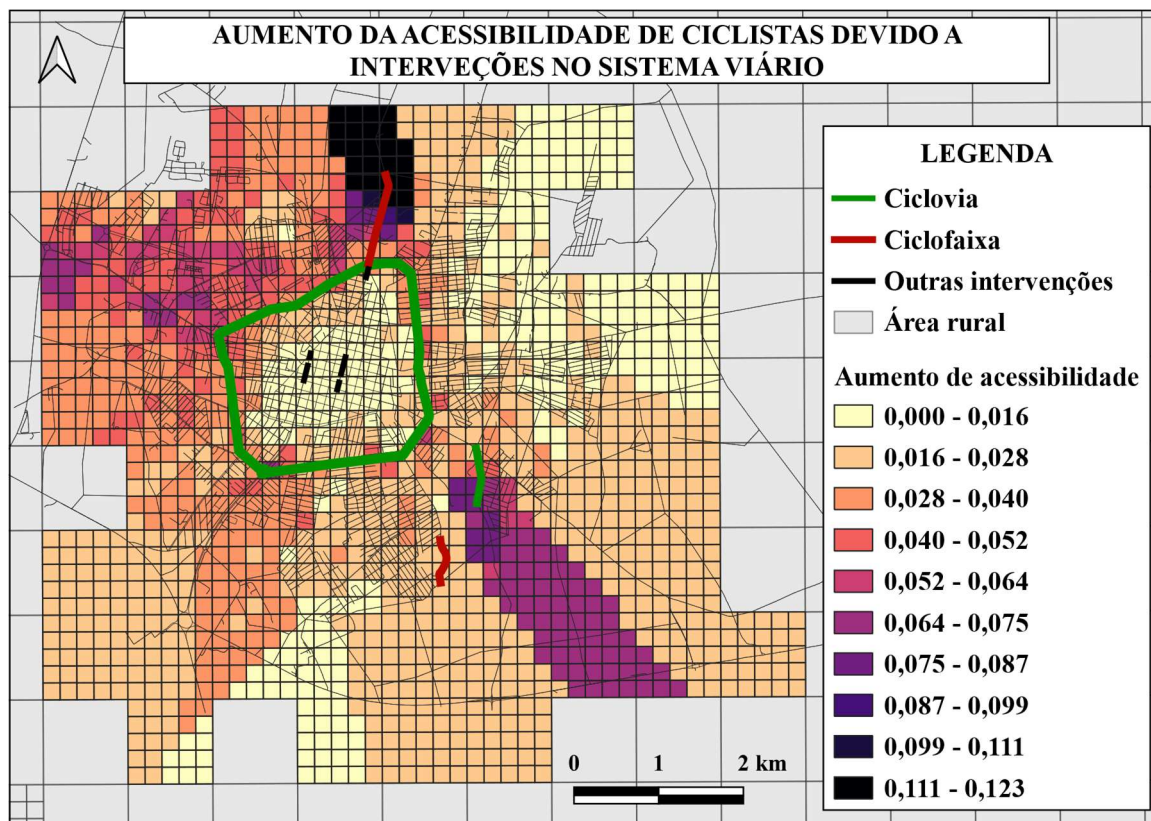
Fonte: O Autor (2022).

5.3.1 Avaliação dos benefícios à acessibilidade de ciclistas de Ibitinga-SP

A Figura 5.20 apresenta os benefícios latentes à acessibilidade de ciclistas, em Ibitinga-SP, decorrentes das intervenções propostas neste trabalho para o sistema viário do município. Estima-se que, em média, as infraestruturas e demais mudanças sugeridas aumentariam em 3% a acessibilidade de ciclistas aos 1.766 PGVs locais georreferenciados, sendo observado um aumento crítico de 12,3% para unidades de análise próximas à ciclofaixa proposta na Av. Luís Fracischini, além aumentos significativos para células da grade estatística próximas às outras facilidades sugeridas.

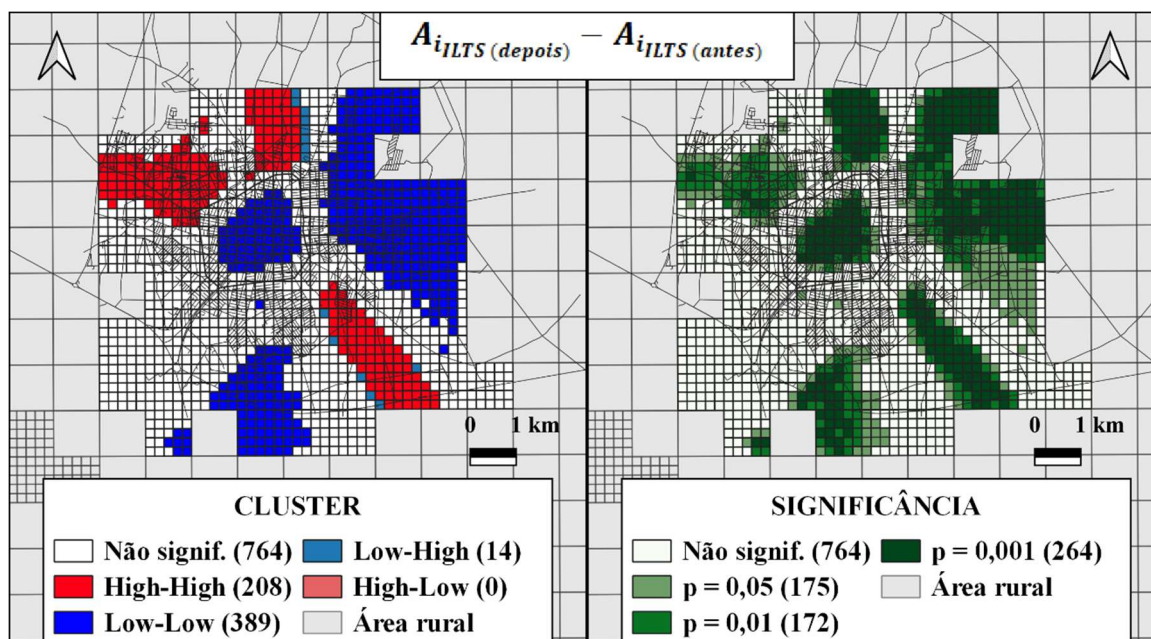
A Figura 5.21 apresenta os mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Ibitinga-SP. O Índice de Moran Global ($I = 0,807$) sugere uma forte autocorrelação espacial positiva das diferenças entre índices homólogos de acessibilidade. Os mapas de *clusters* e de significâncias LISA destas diferenças indicam 208 unidades de análise agrupadas como *High-High*, distribuídas ao sudeste, norte e noroeste da área de estudo. No entanto, em praticamente toda a região nordeste de Ibitinga-SP, além de parte do sul e da região central, são observados *clusters Low-Low*, totalizando 389 unidades de análise para as quais pouco ou nenhum benefício das intervenções e infraestruturas propostas é observado em termos da acessibilidade de ciclistas.

Figura 5.20: Potenciais benefícios das intervenções propostas à acessibilidade de ciclistas em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura 5.21: Mapas de *clusters* e significâncias LISA das diferenças entre acessibilidades homólogas, depois e antes das intervenções hipotéticas, em Ibitinga-SP.



Fonte: O Autor (2022).

6 CONCLUSÕES

Neste Capítulo, são apresentadas as principais conclusões e discutidas as limitações da pesquisa.

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento e a proposta de um método para definição de redes cicloviárias de baixo estresse em cidades brasileiras de pequeno porte (cidades de até 100 mil habitantes), visando auxiliar, por meio de uma abordagem simples, objetiva e que requer apenas dados abertos e softwares gratuitos, na elaboração de Planos de Mobilidade Urbana e demais projetos com ênfase no ciclismo. Estudos de caso conduzidos em três cidades do interior paulista, Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP, permitiram a aplicação do método proposto para efeito de validação do mesmo, sendo que em todas elas foram definidos eixos cicláveis contínuos, interconectados, acessíveis à maioria da demanda potencial por ciclismo e, sobretudo, caso acatadas as sugestões de intervenções pontuais em cada sistema viário, uniformemente caracterizados por baixos níveis de estresse ao ciclismo (LTS ou ILTS limitados a 2). Tais intervenções (que variam desde a provisão de infraestruturas cicloviárias até simples medidas como restrições do estacionamento de veículos), visto as limitações orçamentárias da grande maioria dos pequenos municípios nacionais, são entendidas como prioritárias na alocação de recursos para a promoção da mobilidade urbana, e os impactos da eventual decisão pelas mesmas, em cada local de estudo, foram simulados no tocante ao aumento da acessibilidade de ciclistas aos PGVs por bicicleta.

Ao longo do trabalho (especialmente no Capítulo 3), buscou-se discorrer sobre várias fontes de dados abertos de grande utilidade aos planejadores nacionais dos transportes, como os repositórios digitais do IBGE e do INPE, que disponibilizam, respectivamente, dados censitários e altimétricos para todo o território brasileiro, além de plataformas de mapeamento colaborativo (OSM) para representação de sistemas viários. Mais ainda, procurou-se indicar diversos softwares livres como o *Google Earth Pro*, o *GeoDa* e, para o geoprocessamento e compatibilização dos dados espaciais, o QGIS, que revelou ser uma ferramenta poderosa e versátil no tocante ao planejamento territorial dos transportes, garantindo autonomia a todos aqueles que queiram eventualmente reproduzir o método proposto e não dispõem de SIGs comerciais.

Para se estimar os índices de acessibilidade em unidades de análise e de centralidade de segmentos viários, ambos decorrentes da identificação de rotas cicláveis, a abordagem proposta foi incrementalmente desenvolvida em três fases, isto é, incorporando-se gradualmente as variáveis de estresse elencadas para a pesquisa. Em outras palavras, inicialmente, não foi considerado o nível de estresse de ciclistas para a atribuição de impedâncias a segmentos viários, sendo a identificação de rotas cicláveis baseada na minimização do tempo de viagem. Já na segunda fase, cada segmento da rede foi avaliado de acordo com sua classificação *Level of Traffic Stress* (LTS) original (ou atualizada de 2017, para o caso de ciclofaixas) e fatores de equivalência foram atribuídos para os diferentes níveis de estresse de ciclistas, com base em TMSs. Um processo análogo a este último também foi conduzido na terceira e última fase da abordagem proposta, porém variáveis adicionais de estresse (existência de obstáculos na via e presença de rotatórias) foram incorporadas à classificação original para que fosse proposta uma nova métrica, intitulada *Improved Level of Traffic Stress* (ILTS). Para as duas últimas fases, que consideram a percepção do estresse de ciclistas, ressalta-se ainda que foram considerados também fatores de declividade e “penalizações” para interseções (equivalentes em comprimento) na atribuição de impedâncias a segmentos viários.

Com relação à comparação entre as rotas cicláveis homólogas, confrontando-se aquelas identificadas nas duas primeiras fases da abordagem proposta, uma maior porcentagem de trajetos coincidentes foi observada para Bariri-SP, devido ao seu terreno mais plano quando comparado com os das demais cidades estudadas. Na cidade de Bocaina-SP, observa-se que as rotas LTS são substancialmente mais extensas que aquelas que minimizam o tempo de viagem de ciclistas, sendo esses “desvios” de menor magnitude em Bariri-SP ou Ibitinga-SP. Confrontando-se as rotas cicláveis homólogas identificadas nas duas últimas fases, no entanto, nota-se que mais de 70% das mesmas, inobstante à cidade estudada, são idênticas. Na cidade de Bocaina-SP, inclusive, a incorporação de variáveis adicionais de estresse à classificação LTS reflete em rotas, em média, menos extensas que seus pares identificados com base no modelo original.

No tocante à comparação entre os índices homólogos de acessibilidade, ao serem confrontados aqueles estimados nas duas primeiras fases da abordagem proposta, nota-se que a inclusão do nível estresse de ciclistas reflete em decréscimos médios da facilidade de alcance aos PGVs com mesma ordem de grandeza em todos os locais de estudo. A

comparação das amostras pareadas por testes estatísticos também sugere diferenças, a despeito do local, entre as acessibilidades homólogas mensuradas nessas duas primeiras fases. Comparando-se as acessibilidades LTS e ILTS, no entanto, nota-se que a incorporação de ALTSs não reflete em decréscimos relevantes da facilidade de alcance aos PGVs por bicicleta em Bariri-SP ou Ibitinga-SP e, em Bocaina-SP, ao contrário, observa-se um ligeiro aumento desta facilidade. Testes estatísticos, contudo, sugerem diferenças entre tais índices homólogos em todas as cidades estudadas.

As autocorrelações espaciais das diferenças entre acessibilidades homólogas mensuradas nas duas primeiras e nas duas últimas fases da abordagem proposta foram avaliadas. No primeiro caso, o Índice de Moran Global sugere fortes autocorrelações espaciais positivas em todos os locais de estudo. Já no segundo, embora as autocorrelações espaciais das diferenças entre acessibilidades homólogas, em todas as cidades estudadas, também sejam positivas, nota-se que aquela verificada para Bocaina-SP é forte; para Bariri-SP, moderada; e para Ibitinga-SP, moderada a fraca. Em ambas as análises, indicadores locais de associação espacial foram identificados e mapeados (*LISA clusters* e significâncias). Na primeira análise, confrontando-se as acessibilidades homólogas estimadas nas duas fases iniciais, são observados *clusters High-High* majoritariamente nas regiões nordeste de Bocaina-SP e centrais de Bariri-SP ou Ibitinga-SP, e *clusters Low-Low* nas demais regiões periféricas de cada cidade de estudo. Já na segunda análise, confrontando-se as acessibilidades homólogas estimadas nas duas fases finais, são observados *clusters High-High* primordialmente nas regiões sudoeste de Bocaina-SP, norte de Bariri-SP e periféricas de Ibitinga-SP; e *clusters Low-Low* nas demais regiões periféricas de Bocaina-SP, ao sudeste de Bariri-SP e ao centro, sudeste e sudoeste de Ibitinga-SP.

No que se refere à comparação entre os índices homólogos de centralidade de segmentos viários, confrontando-se aqueles estimados nas duas primeiras fases da abordagem proposta, em todas as cidades estudadas, nota-se uma diminuição média incipiente desta importância relativa dos elementos da rede ao ser considerado o nível de estresse de ciclistas. Acréscimos de centralidade (e colaterais decréscimos) com grande magnitude são observados apenas para Bocaina-SP, sendo essas variações limitadas a 5% nas cidades de Bariri-SP ou Bocaina-SP. Testes estatísticos sugerem diferenças entre as amostras pareadas de centralidades associadas às duas primeiras fases. Confrontando-se as centralidades LTS e ILTS, no entanto, nota-se que a inclusão de ALTSs pouco altera a

importância relativa dos segmentos viários da rede, o que é corroborado por testes estatísticos, em todas as cidades avaliadas, que sugerem semelhanças entre as amostras pareadas.

As autocorrelações espaciais das diferenças entre centralidades homólogas mensuradas nas duas primeiras e nas duas últimas fases da abordagem proposta, assim como conduzido para os índices de acessibilidade, também foram avaliadas. Em ambos os casos, o Índice de Moran Global sugere autocorrelações espaciais positivas de moderadas a fracas das diferenças entre centralidades homólogas, inobstante ao local estudado. Indicadores locais de associação espacial foram identificados e mapeados (*LISA clusters* e significâncias). Na primeira análise, confrontando-se as centralidades homólogas estimadas nas duas fases iniciais, observa-se que *clusters High-High* remetem a segmentos viários caracterizados exclusivamente por baixos níveis de estresse, em todas as cidades avaliadas, e que *clusters Low-Low* remetem, em grande parte, a trechos de alto estresse ou incompatíveis com o ciclismo em função de suas rampas. Já na segunda análise, confrontando-se as centralidades homólogas estimadas nas duas fases finais, observa-se que, a despeito do local, *clusters High-High* são associados quase que exclusivamente a segmentos viários de baixo estresse e *clusters Low-Low* a segmentos viários para os quais procedeu-se com a atribuição de pelo menos um ALTS.

No que se refere às propostas de redes cicloviárias, devido ao fato de os testes estatísticos sinalizarem para diferenças entre os índices homólogos de centralidade mensurados nas duas primeiras fases da abordagem proposta, mas não entre aqueles mensurados nas duas últimas, procedeu-se com a definição de eixos cicláveis, em todos os locais de estudo, apenas com base em critérios que incorporam o nível de estresse de ciclistas. Para as cidades de Bocaina-SP e Bariri-SP, respectivamente, 7 e 14 eixos cicláveis foram definidos com base nas centralidades LTS de segmentos viários. Para a cidade de Ibitinga-SP, contudo, 24 eixos cicláveis foram definidos com base nas centralidades ILTS. É importante, no entanto, alertar àqueles que eventualmente desejem reproduzir o método da possibilidade de serem conduzidos, nesta etapa, levantamentos de campo complementares, com o intuito de que sejam gerados resultados ainda mais fidedignos à realidade do local de estudo.

Para que fosse obedecida a premissa da “rede cicloviária de baixo estresse”, em Bocaina-SP, a única intervenção proposta para o sistema viário foi a construção de uma

ciclovias próximas a um trecho da Rodovia Prof. Benedito Montenegro, sendo estimado um decorrente aumento de quase 9% da acessibilidade de alguns ciclistas do extremo sudeste da área de estudo. Em Bariri-SP, três tipos de intervenção foram propostas: adequação de passeios compartilhados nos extremos da Estrada Perimetral Prof. Domingos Antônio Fortunato, acomodação de ciclofaixas na Av. Vice-Pref. Sérgio Forcin e construção de uma ciclovia próxima de um trecho inicial da Rodovia SP-261, sendo estimado um benefício latente de mais de 16% à acessibilidade de alguns ciclistas do extremo sudoeste da área de estudo. Por último, em Ibitinga-SP, além da ciclovia prevista para todo o anel viário da cidade (Av. Ivanil Fracischini), as seguintes intervenções foram propostas: restrição do estacionamento de veículos em trechos da Av. Sete de Setembro; realocação de ponto de parada de ônibus, remoção de *centerline* e adequação de passeio compartilhado ao longo de diferentes segmentos da Av. Dom Pedro II; e provisão de facilidades para ciclistas em locais de sobreposição entre a rede proposta e o sistema viário projetado para o município (ciclofaixas em trechos da Rua Dois e da Av. Luís Fracischini, e ciclovia em trecho da Estrada Municipal IBG-654). Estima-se um benefício latente de mais de 12% à acessibilidade de alguns ciclistas ao norte da área de estudo, além de impactos relevantes também às regiões noroeste e sudeste da mesma.

6.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

No tocante às limitações da pesquisa, para que fosse estimado o tempo de viagem na primeira estratégia de atribuição de impedâncias a segmentos viários, necessitou-se considerar a velocidade de ciclistas que, de forma arbitrária, foi associada exclusivamente a intervalos de rampas. Autores como Parkin e Rotheram (2010), no entanto, advogam que os planejadores de redes necessitam compreender como esta velocidade relaciona-se, além dos atributos geométricos da via, com as características e com o nível de experiência dos próprios ciclistas, objetivando estimar de maneira mais rigorosa os tempos de viagem e a escolha das rotas. Mais ainda, tanto essas velocidades esperadas para ciclistas quanto os fatores de declividade considerados na segunda estratégia de atribuição de impedâncias foram estimados em função da declividade média de cada segmento viário, por sua vez, calculadas por intermédio de altitudes TOPODATA que, embora familiar a muitos pesquisadores brasileiros, não se trata do MDE mais recente nem mesmo entre as derivações do SRTM, a exemplo do NASADEM de 2020, caracterizado por uma melhor

precisão altimétrica e isento de *gaps* de elevações quando comparado com modelos prévios (NASA JPL, 2020; SILVA; RANGEL; CAMPOS, 2020).

No que se refere aos demais dados abertos utilizados neste trabalho, os mesmos também são passíveis de inconsistências. Mapeamentos colaborativos, como os da plataforma OSM, podem estar sujeitos à incompletude, além de previsões da classificação LTS com base em atributos OSM, muitas vezes, serem incertas (WASSERMAN *et al.*, 2019). A qualidade do georreferenciamento dos PGVs por bicicleta está condicionada à completude e à atualização destas instalações na plataforma *Google Maps* e, com relação aos dados censitários, atenta-se mais uma vez para a possível obsolescência destas informações, datadas de 2010.

Ressalta-se ainda que os critérios adotados para ponderação de diferentes grupos populacionais, visando-se estimar a demanda potencial por ciclismo, embora baseados em estudos robustos acerca do perfil de ciclistas de cidades de pequeno porte (SOARES; GUTH, 2018), não substituem modelos de previsão da demanda. Por último, as restrições de tempo, recursos e impostas pela pandemia do COVID-19 (como situações anormais de baixo tráfego) para o levantamento, durante o desenvolvimento do trabalho, dos fluxos veiculares em larga escala nas cidades de estudo, estimularam a seleção da classificação LTS original para situações de tráfego misto, em detrimento da versão mais recente.

REFERÊNCIAS

AASHTO. **Guide for the Development of Bicycle Facilities**. 3 ed. Washington D. C: Association of State Highway and Transportation Officials, 1999.

AASHTO. **Guide for the Development of Bicycle Facilities**. 4 ed. Washington D. C: Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.

ABRACICLO. **Motocicletas e bicicletas de qualidade global atraem público em Manaus**. Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicycletas e Similares, 2020. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br/site/press-releases-2020/2020/motocicletas-e-bicicletas-de-qualidade-global-atraem-publico-em-manaus/>. Acesso em: 31 mar. 2021.

AFFONSO, N. S.; BADINI, C.; GOUVEA, F. (Coordenadores). **Mobilidade e cidadania**. São Paulo: ANTP, 2003. 256 p.

ALDRED, R.; JUNGnickel, K. Why culture matters for transport policy: the case of cycling in the UK. **Journal of Transport Geography**, v. 34, p. 78-87, 2014. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2013.11.004.

ALIANÇA BIKE. **Bicicletas continuam em alta no Brasil: Primeiro semestre de 2021 teve aumento de 34% nas vendas em comparação a 2020**. Associação Brasileira do Setor de Bicycletas, 2021. Disponível em: <https://aliancabike.org.br/aumento-nas-vendas-em-2021/>. Acesso em: 22 dez. 2021.

ALMEIDA, R. L. F.; BEZERRA FILHO, J. G.; BRAGA, J. U.; MAGALHÃES, F. B.; MACEDO, C. M.; SILVA, K. A. Via, Homem e Veículo: Fatores de Risco Associados à Gravidade dos Acidentes de Trânsito. **Revista Saúde Pública**, v. 47, n. 4, p. 718-731, 2013. DOI: 10.1590/S0034-8910.2013047003657.

ANDRADE, V.; RODRIGUES, J.; MARINO, F.; LOBO, Z. **Mobilidade por Bicicleta no Brasil. Prefácio**. 1 ed. Rio de Janeiro: PROURB/UFRJ, 2016. 290 p.

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association - LISA. **Geographical Analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.

ANTP. **Relatório Geral 2017**. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana: Associação Nacional de Transportes Públicos, 2020. 125 p. Disponível em: <http://files.antp.org.br/simob/sistema-de-informacao-de-mobilidade-urbana-da-antp--2017.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2020.

ARELLANA, J.; SALTARÍN, M.; LARRANAGA, A. M.; GONZÁLEZ, V. I.; HENAO, C. A. Developing an urban bikeability index for different types of cyclists as a tool to prioritize bicycle infrastructure investments. **Transportation Research Part A**, v. 139, p. 310-334, 2020. DOI: 10.1016/j.tra.2020.07.010.

AULTMAN-HALL, L.; HALL, F. L.; BAETZ, B. B. Analysis of Bicycle Commuter Routes Using Geographic Information Systems: Implications for Bicycle Planning. **Transportation Research Record**, n. 1578, p. 102-110, 1997. DOI: 10.3141/1578-13.

AUSTROADS. **Cycling Aspects of Austroads Guides**. 2. ed. Sydney: Austroads Ltd., 2014. 177 p. Disponível em: <https://roads-waterways.transport.nsw.gov.au/documents/business-industry/partners-and-suppliers/lgr/cycling-aspects-of-austroads-guides.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

AYALA FILHO, G. G. M.; LOPES, S. B. Uso de Plataformas Livres de Sistemas de Informação Geográfica na Engenharia de Transportes. *In: XXXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte*, 2018, Gramado. **Anais [...]**. ANPET, p. 2573-2585. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Modelos%20e%20Tecnicas%20de%20Planejamento%20de%20Transportes/Modelos%20de%20Otimizacao%20em%20Transportes/3_24_AC.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

BAVOSO, N. C. **O Sistema Nacional de Trânsito e os municípios de pequeno porte**. 2014. 102 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

BEARN, C.; MINGUS, C.; WATKINS, K. An adaption of the level of traffic stress based on evidence from the literature and widely available data. **Research in Transportation Business & Management**, v. 29, p. 50-62, 2018. DOI: 10.1016/j.rtbm.2018.12.002.

BEURA, S. K.; MANUSHA, V. L.; CHELLAPILLA, H.; BHUYAN, P. K. Defining Bicycle Levels of Service Criteria Using Levenberg–Marquardt and Self-organizing Map Algorithm. **Transportation in Developing Economies**, v. 4, n. 11, 2018. DOI: 10.1007/s40890-018-0066-0.

BLACK, W. R. Network autocorrelation in transport network and flow systems. **Geographical Analysis**, v. 24, n. 3, p. 207-222, 1992.

BOARETO, R. A política de mobilidade urbana e a construção de cidades sustentáveis. **Revista dos Transportes Públicos**. Associação Nacional de Transportes Públicos, Ano 30, 3º trimestre, p. 143-160, 2008.

BRANDES, U. On Variants of Shortest-Path Betweenness Centrality and Their Generic Computation. **Social Networks**, v. 30, n. 2, p. 136-145, 2008. DOI: 10.1016/j.socnet.2007.11.001.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília (DF): Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 4 jan. 2012. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 14.000, de 19 de maio de 2020. Altera a Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, para dispor sobre a elaboração do Plano de Mobilidade Urbana pelos Municípios. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 mai. 2020. Seção 1, p. 1.

BROACH, J.; DILL, J.; GLIEBE, J. Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. **Transportation Research Part A**, n. 46, p. 1730-1740, 2012. DOI: 10.1016/j.tra.2012.07.005.

BUEHLER, R.; DILL, J. Networks: A Review of Effects on Cycling. **Transport Reviews**, v. 36, n. 1, p. 9-27, 2016. DOI: 10.1080/01441647.2015.1069908.

CABRAL, L.; KIM, A. M. An empirical reappraisal of the level of traffic stress framework for segments. **Travel Behaviour and Society**, v. 26, p. 143-158, 2022. DOI: 10.1016/j.tbs.2021.09.007.

CALLISTER, D.; LOWRY, M. Tools and Strategies for Wide-Scale Bicycle Level-of-Service Analysis. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 139, n. 4, p. 250-257, 2013. DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000159.

CARDOSO, P. B.; CAMPOS, V. B. G. Metodologia para o planejamento de um sistema cicloviário. **TRANSPORTES**, v. 24, n. 4, p. 39-48, 2016. DOI: 10.14295/transportes.v24i4.1158.

CASELLO, J. M.; NOUR, A.; REWA, K.; HILL, J. An analysis of stated preference and GPS data for bicycle travel forecasting. *In: Proceedings of the 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D. C., 2011.

CAULFIELD, B.; BRICK, E.; MCCARTHY, O. T. Determining bicycle infrastructure preferences - A case study of Dublin. **Transportation Research Part D**, v. 17, n. 5, p. 413-417, 2012. DOI: 10.1016/j.trd.2012.04.001.

CAVIEDES, A.; FIGLIOZZI, M. Modeling the impact of traffic conditions and bicycle facilities on cyclists' on-road stress levels. **Transportation Research Part F**, v. 58, p. 488-499, 2018. DOI: 10.1016/j.trf.2018.06.032.

CAVILL, N.; KAHLMEIER, S.; RUTTER, H.; RACIOPPI, F.; OJA, P. Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: a systematic review. **Transport Policy**, v. 15, p. 291-304, 2008. DOI: 10.1016/j.tranpol.2008.11.001.

CERVERO, R.; DENMAN, S.; JIN, Y. Network design, built and natural environments, and bicycle commuting: Evidence from British cities and towns. **Transport Policy**, n.74, p. 153-164, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.09.007.

CET-SP. **Polos geradores de tráfego**. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, Boletim Técnico 32. São Paulo, 1983.

CHEN, C.; ANDERSON, J.; WANG, H.; WANG, Y.; VOGT, R.; HERNANDEZ, S. How bicycle level of traffic stress correlate with reported cyclist accidents injury severities: a geospatial and mixed logit analysis. **Accident Analysis & Prevention**, v. 108, p. 234-244, 2017. DOI: 10.1016/j.aap.2017.09.001.

CHEN, P.; LIU, Q.; SUN, F. Bicycle parking security and built environments. **Transportation Research Part D**, v. 62, p. 169-178, 2018. DOI: 10.1016/j.trd.2018.02.020.

CICLOCIDADE. **Gênero**. Associação dos Ciclistas Urbanos de São Paulo. São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.ciclocidade.org.br/genero>. Acesso em: 19 mai. 2021.

CNM. **Consulta pública do Denatran aborda a integração ao SNT por meio de consórcios**. Confederação Nacional de Municípios, Brasília (DF), 2020. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/consulta-publica-do-denatran-aborda-a-integracao-ao-snt-por-meio-de-consorcios>. Acesso em: 19 out. 2021.

COBB, D. P.; JASHAMI, H.; HURWITZ, D. S. Bicyclists' behavioral and physiological responses to varying roadway conditions and bicycle infrastructure. **Transportation Research Part F**, v. 80, p. 172-188, 2021. DOI: 10.1016/j.trf.2021.04.004.

CONTRAN. **Sinalização Cicloviária / CONTRAN - DENATLAN**. 1 ed. Conselho Nacional de Trânsito. Brasília: CONTRAN, 2021. 405 p.: il. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, v. 8).

CROW. **Design Manual for Bicycle Traffic**. Ede: CROW, 2007.

CTB. **Código de Trânsito Brasileiro**. 4. ed. Brasília: Ed. Câmara, 2010. 296 p. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/>. Acesso em: 15 nov. 2017.

DIJKSTRA, E. W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. **Numerische Mathematik**, v. 1, p. 269-271, 1959.

DIXON, L. B. Bicycle and Pedestrian Level of Service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems. **Transportation Research Record**, n. 1538, p. 1-9, 1996.

DSG. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**. 2 ed. Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro. Ministério da Defesa: Brasília (DF), 2011.

DUTHIE, J.; UNNIKRISHNAN, A. Optimization framework for bicycle network design. **Journal of Transportation Engineering**, v. 140, n. 7, 2014. DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000690.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**, n. 10. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EPPERSON, B. Evaluating Suitability of Roadways for Bicycle Use: Toward a Cycling Level of Service Standard. **Transportation Research Record**, n. 1438, p. 9-16, 1994.

FERENCHAK, N. N.; MARSHALL, W. E. Validation of bicycle level of traffic stress and perceived safety for children. **Transportation Research Record**, n. 2674, p. 397-406, 2020. DOI: 10.1177/0361198120909833.

FHWA. **A bikeway criteria digest: The ABCD's of bikeways**. Offices of Research and Development: Federal Highway Administration - US Department of Transportation. Washington D. C., 1977. 99 p. (Publicação FHWA-TS-77-201).

FHWA. **University Course on Bicycle & Pedestrian Transportation**. Offices of Research and Development: Federal Highway Administration - US Department of Transportation. Research, Development and Technology Turn-Fairbank Highway Research Center. McLean, 2006. 282 p. (Publicação FHWA-HRT-05-133).

FIELD, A. **Descobrimdo a Estatística Usando o SPSS**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FITCH, D. T.; THIGPEN, C. G.; HANDY, S. L. Traffic stress and bicycling to elementary and junior high school: Evidence from Davis, California. **Journal of Transport & Health**, v. 3, p. 457-466, 2016. DOI: 10.1016/j.jth.2016.01.007.

FITCH, D. T.; SHARPNACK, J.; HANDY, S. L. Psychological stress of bicycling with traffic: examining heart rate variability of bicyclists in natural urban environments. **Transportation Research Part F**, v. 70, p. 81-97, 2020. DOI: 10.1016/j.trf.2020.02.015.

FONSECA, N. F. S.; MANSANO, D. S. D. M.; SOUZA, P. H.; MAGAGNIN, R. C.; MANZATO, G. G. Análise comparativa do nível de serviço para bicicleta em vias de acesso ao campus da UNESP de Bauru-SP. *In*: XXXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2018, Gramado. **Anais [...]**. ANPET, p. 2349-2359. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Modelos%20e%20Tecnicas%20de%20Planejamento%20de%20Transportes/Mobilidade%20em%20Ambientes%20de%20Ensino%20-%20II/1_106_AC.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

FURTH, P. G.; MEKURIA, M. C.; NIXON, H. Network Connectivity for Low-Stress Bicycling. **Transportation Research Record**, n. 2587, p. 41-49, 2016. DOI: 10.3141/2587-06.

FURTH, P. G. **Level of Traffic Stress Criteria for Road Segments Version 2.0**. 2017. Disponível em: <http://www.northeastern.edu/peter.furth/criteria-for-level-of-traffic-stress>. Acesso: 14 jun. 2020.

GAMMAN, L.; THORPE, A.; WILLCOCKS, M. Bike off! Tracking the design terrains of cycle parking: reviewing use, misuse and abuse. **Crime Prevention and Community Safety: An International Journal**, v. 6, n. 4, p. 19-36, 2004.

GEHRKE, S. R.; AKHAVAN, A.; FURTH, P. G.; WANG, Q.; REARDON, T. G. A cycling-focused accessibility tool to support regional bike network connectivity. **Transportation Research Part D**, v. 85, 2020. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102388.

GEIPOT. **Manual de Planejamento Cicloviário**. Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes. Ministério dos Transportes: Brasília, 2001. 116 p.

GELLER, R. **Four Types of Cyclists**. City of Portland Office of Transportation. Portland, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Governo de SP lança maior concessão rodoviária do país**. Portal do Governo do Estado de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/governo-de-sp-lanca-maior-concessao-rodoviaria-do-pais/>. Acesso em: 08 jun. 2022.

GRIGORE, E.; GARRICK, N.; FUHRER, R.; AXHAUSEN, I. K. W. Bikeability in Basel. **Transportation Research Record**, v. 2673, n. 6, p. 607-617, 2019. DOI: 10.1177/0361198119839982.

GU, P.; HAN, Z.; CAO, Z.; CHEN, Y.; JIANG, Y. Using Open-Source Data to Measure Street Walkability and Bikeability in China: A Case of Four Cities. **Transportation Research Record**, v. 2672, n. 3, p. 63-75, 2018. DOI: 10.1177/0361198118758652.

GUERREIRO, T. C. M. **Mineração de dados, SIG e análise multicritério combinados para o planejamento de redes cicloviárias urbanas**. 2016. 153 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

GUERREIRO, T. C. M.; PROVIDELO, J. K.; PITOMBO, C. S.; RAMOS, R. A. R.; SILVA, A. N. R. Data-mining, GIS and multicriteria analysis in a comprehensive method for bicycle network planning and design. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 12, n. 3, p. 179-191, 2018. DOI: 10.1080/15568318.2017.1342156.

HAMIDI, Z.; CAMPOREALE, R.; CAGGIANI, L. Inequalities in access to bike-and-ride opportunities: Findings for the city of Malmö. **Transportation Research Part A**, v. 130, p. 673-688, 2019. DOI: 10.1016/j.tra.2019.09.062.

HANSEN, W. How accessibility shapes land use. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 25, n. 1, p. 73-76, 1959.

HARKEY, D. L.; REINFURT, D. W.; KNUIMAN, M.; STEWART, J. R.; SORTON, A. **Development of a Bicycle Compatibility Index: A Level of Service Concept**. Highway Safety Research Center. University of North Carolina. Chapel Hill, 1998. 116 p. DOI: 10.3141/1636-03.

HIROSUE, F. H. **Acidentalidade em Algumas Cidades do Estado de São Paulo: Análise da Evolução e Ações Associadas**. 2016. 224 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

HIRSCH, J. A.; MOORE, K. A.; EVENSON, K. R.; RODRIGUEZ, D. A.; ROUX, A. V. D. Walk Score® and Transit Score® and Walking in the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 45, n. 2, p. 158-166, 2013. DOI: 10.1016/j.amepre.2013.03.018.

HOOD, J.; SALL, E.; CHARLTON, B. A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. **Transportation Letters**, n. 3, p. 63-75, 2011. DOI: 10.3328/TL.2011.03.01.63-75.

HUERTAS, J.; PALACIO, A.; BOTERO, M.; CARVAJAL, G.; VAN LAAKE, T.; HIGUERA-MENDIETA, D.; CABRALES, S.; GUZMAN, L.; SARMIENTO, O.; MEDAGLIA, A. Level of Traffic Stress-Based Classification: A Clustering Approach for Bogotá. Colombia. **Transportation Research Part D**, v. 85, 2020. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102420.

HULL, A.; O'HOLLERAN, C. Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling? **Urban, Planning and Transport Research**, v. 2, n. 1, p. 369-406, 2014. DOI: 10.1080/21650020.2014.955210.

HUNT, J. D.; ABRAHAM, J. E. Influences on bicycle use. **Transportation**, v. 34, n. 4, p. 453-470, 2007.

HYODO, T.; SUZUKI, N.; TAKAHASHI, K. Modeling of bicycle route and destination choice behavior for bicycle road network plan. **Transportation Research Record**, n. 1705, p. 70-76, 2000.

IACONO, M.; KRIZEK, K. J.; EL-GENEIDY, A. Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution. **Journal of Transport Geography**, n. 18, p. 133-140, 2010. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2009.02.002.

IBGE. **Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil**. 2 ed. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro, 2016. 167 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99700.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2020.

IBGE. **Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Cartografia, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101152>. Acesso: 13 set. 2021.

IBGE. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais - Perfil dos Municípios Brasileiros 2017**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2018. 106 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101595.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2020.

IBGE. **Base de Faces de Logradouros do Brasil [Data set]**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Estruturas Territoriais da Diretoria de Geociências, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/28971-base-de-faces-de-logradouros-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 09 ago. 2022.

IBGE. **Estimativas da População**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2021.

IMANI, A. F.; MILLER, E. J.; SAXE, S. Cycle accessibility and level of traffic stress: A case study of Toronto. **Journal of Transport Geography**, v. 80, 2019. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102496.

INGRAM, D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form. **Regional Studies**, v. 5, p. 101-107, 1971.

INPE. **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil [Data set]**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso: 09 ago. 2022.

IPEA. **Cidades cicláveis: avanços e desafios das políticas cicloviárias no Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: IPEA, 2017. 54 p. (Texto para Discussão 2276).

JENSEN, S. U. Pedestrian and Bicyclist Level of Service on Roadway Segments. **Transportation Research Record**, n. 2031, p. 43-51, 2007. DOI: 10.3141/2031-06.

JENSEN, P.; ROUQUIER, J.; OVTRACHT, N.; ROBARDET, C. Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon. **Transportation Research Part D**, n.15, p. 522-524, 2010. DOI: 10.1016/j.trd.2010.07.002.

JENSEN, S. U. Safe roundabouts for cyclists. **Accident Analysis and Prevention**, v. 105, p. 30-37, 2017. DOI: 10.1016/j.aap.2016.09.005.

JONES, T; AZEVEDO, L. N. Economic, social and cultural transformation and the role of the bicycle in Brazil. **Journal of Transport Geography**, v. 30, p. 208-219, 2013. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2013.02.005.

KANG, L.; FRICKER, J. D. A bicycle route choice model that incorporates distance and perceived risk. *In: Proceedings of the 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington D. C., 2013.

KAWAMOTO, E. **Análise de Sistemas de Transporte**. 2 ed. São Carlos: EESC/USP, 2010. 229 p.

KIM, K.; SCHMÖCKER, J.; NOLAND, R. B. Attitudes towards road pricing and environmental taxation among US and UK students. **Transportation Research Part A**, v. 48, p. 50-62, 2013. DOI: 10.1016/j.tra.2012.10.005.

KIRNER, J. **Proposta de um Método para a Definição de Rotas Cicláveis em Áreas Urbanas**. 2006. 229 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

KIRSCHNER, F.; LANZENDORF, M. Support for innovative on-street parking policies: empirical evidence from an urban neighborhood. **Journal of Transport Geography**, v. 85, 2020. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102726.

KLOBUCAR, M. S.; FRICKER, J. D. Network Evaluation Tool to Improve Real and Perceived Bicycle Safety. **Transportation Research Record**, n. 2031, p. 25-33, 2007. DOI: 10.3141/2031-04.

KNEIB, E. C. **Caracterização de empreendimentos geradores de viagens: contribuição conceitual à análise de seus impactos no uso, ocupação e valorização do solo urbano**. 2004. 182 p. Dissertação (Mestrado em Transportes). Universidade de Brasília, Brasília (DF), 2004.

KNEIB, E. C.; TACO, P. W. G.; SILVA, P. C. M. Identificação e Avaliação de Impactos na Mobilidade: Análise Aplicada a Polos Geradores de Viagem. *In: 2^o Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 2006, Braga. Anais [...]*. PLURIS. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Silva-22/publication/242528392_IDENTIFICACAO_E_AVALIACAO_DE_IMPACTOS_NA_MOBILIDADE_ANALISE_APLICADA_A_POLOS_GERADORES_DE_VIAGENS/links/5a80a6660f7e9be137c901b1/IDENTIFICACAO-E-AVALIACAO-DE-IMPACTOS-NA-MOBILIDADE-ANALISE-APLICADA-A-POLOS-GERADORES-DE-VIAGENS.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

KOH, P. P.; WONG, Y. D. Influence of infrastructural compatibility factors on walking and cycling route choices. **Journal of Environmental Psychology**, v. 36, p. 202-213, 2013. DOI: 10.1016/j.jenvp.2013.08.001.

KRECL, P.; CIPOLI, Y. A.; TARGINO, A. C.; TOLOTO, M. O.; SEGERSSON, D.; PARRA, A.; POLEZER, G.; GODOI, R. H. M.; GIDHAGEN, L. Modelling urban cyclists' exposure to black carbon particles using high spatiotemporal data: A statistical approach. **Science of the Total Environment**, v. 679, p. 115-125, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.043.

KRENN, P. J.; OJA, P.; TITZE, S. Route choices of transport bicyclists: a comparison of actually used and shortest routes. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, v. 11, n. 1, 2014. DOI: 10.1186/1479-5868-11-31.

KRENN, P. J.; OJA, P.; TITZE, S. Development of a Bikeability Index to Assess the Bicycle-Friendliness of Urban Environments. **Open Journal of Civil Engineering**, v. 5, p. 451-459, 2015. DOI: 10.4236/ojce.2015.54045.

KYRIAKOU, K.; RESCH, B.; SAGL, G.; PETUTSCHNIG, A.; WERNER, C.; NIEDERSEER, D.; LIEDLGRUBER, M.; WILHELM, F.; OSBORNE, T.; PYKETT, J. Detecting moments of stress from measurements of wearable physiological sensors. **Sensors**, v. 19, n. 17, 2019. DOI: 10.3390/s19173805.

LAMONDIA, J. J.; MOORE, N. Comparing Bicycle Level of Service Measures, Roadway Characteristics, and Perceived Bike Route Suitability. *In: Proceedings of the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington D. C., 2015.

LANDIS, B. W. Bicycle System Performance Measures. **ITE Journal**, v. 66, n. 2, p. 18-26, 1996.

LANDIS, B. W.; VATTIKUTI, V. R.; BRANNICK, M. T. Real Time Human Perceptions: Toward a Bicycle Level of Service. **Transportation Research Record**, n. 1578, p. 119-126, 1997.

LANZENDORF, M.; BUSCH-GEERTSEMA, A. The cycling boom in large German cities - Empirical evidence for successful cycling campaigns. **Transport Policy**, v. 36, p. 26-33, 2014. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.07.003.

LARSEN, J.; EL-GENEIDY, A. A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montreal, Canada. **Transportation Research Part D**, n. 16, p. 172-177, 2011. DOI: 10.1016/j.trd.2010.07.011.

LARSEN, J.; PATTERSON, Z.; EL-GENEIDY, A. Build it. But where? The use of Geographic Information Systems in identifying locations for new cycling infrastructure. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 7, p. 299-317, 2013. DOI: 10.1080/15568318.2011.631098.

LEE, B. H. Y.; JENNINGS, L.; EL-GENEIDY, A. M. How Does Land Use Influence Cyclist Route Choice? Geospatial Analysis of Commuter Routes and Cycling Facilities. *In: Proceedings of the 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D. C., 2011.

LI, Z.; WANG, W.; LIU, P.; RAGLAND, D. R. Physical environments influencing bicyclists' perception of comfort on separated and on-street bicycle facilities. **Transportation Research Part D**, v. 17, n. 3, p. 256-261, 2012. DOI: 10.1016/j.trd.2011.12.001.

LIN, J. J.; WEI, Y. H. Assessing area-wide bikeability: A grey analytic network process. **Transportation Research Part A**, v. 113, p. 381-396, 2018. DOI: 10.1016/j.tra.2018.04.022.

LITMAN, T. **Evaluating Active Transport Benefits and Costs: Guide to Valuing Walking and Cycling Improvements and Encouragement Programs**. Victoria Transport Policy Institute. Victoria, 2015. 89 p.

LIU, H.; SZETO, W. Y.; LONG, J. Bike network design problem with a path-size logit-based equilibrium constraint: Formulation, global optimization, and matheuristic. **Transportation Research Part E**, v. 127, p. 284-307, 2019. DOI: 10.1016/j.tre.2019.05.010.

LOBO, Z.; ANDRADE, V.; RODRIGUES, J. (Coordenadores). **Pesquisa Perfil do Ciclista 2018**. Laboratório de Mobilidade Urbana Sustentável da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LABMOB/UFRJ) & Associação Transporte Ativo. Rio de Janeiro, 2020. 90p. Disponível em: <http://ta.org.br/perfil/ciclista18.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2022.

LOURENÇO, G. H.; BOSCO JÚNIOR, A. D.; BERNARDINIS, M. A. P. Respostas à política nacional de mobilidade urbana: comparativo entre capitais dos incentivos ao transporte público e à bicicleta. **TRANSPORTES**, v. 27, n. 2, 2019. DOI: 10.14295/transportes.v27i2.1413.

LOWRY, M.; CALLISTER, D.; GRESHAM, M.; MOORE, B. Assessment of communitywide bikeability with bicycle level of service. **Transportation Research Record**, n. 2314, p. 41-48, 2012. DOI: 10.3141/2314-06.

LOWRY, M.; FURTH, P.; HADDEN-LOH, T. Prioritizing new bicycle facilities to improve low-stress network connectivity. **Transportation research Part A**, v. 86, p. 124-140, 2016. DOI: 10.1016/j.tra.2016.02.003.

LOWRY, M.; LOH, T. H. Quantifying bicycle network connectivity. **Preventive Medicine**, v. 95, p. 134-140, 2017. DOI: 10.1016/j.ypmed.2016.12.007.

MA, L.; DILL, J. Do people's perceptions of neighborhood bikeability match "reality"? **The Journal of Transport and Land Use**, v. 10, n. 1, p. 291-308, 2017. DOI: 10.5198/jtlu.2015.796.

MAGALHÃES, J. R. L.; CAMPOS, V. B. G.; BANDEIRA, R. A. M. Metodologia para identificação de redes de rotas cicláveis em áreas urbanas. **The Journal of Transport Literature**, v. 9, n. 3, p. 35-39, 2015. DOI: 10.1590/2238-1031.jtl.v9n3a7.

MAJUMDAR, B. B.; MITRA, S. Development of Level of Service Criteria for Evaluation of Bicycle Suitability. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 144, n. 2, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000432.

MASRI, O. E.; BIGAZZI, A. Y. Road Grade Estimate for Bicycle Travel Analysis on a Street Network. **Transportation Research Part C**, v. 104, p. 158-171, 2019. DOI: 10.1016/j.trc.2019.05.004.

MAUTTONE, A.; MERCADANTE, G.; RABAZA, M.; TOLEDO, F. Bicycle network design: Model and solution algorithm. **Transportation Research Procedia**, v. 27, p. 969-976, 2017. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.12.119.

MCDANIEL, S.; LOWRY, M. B.; DIXON, M. Using Origin-Destination Centrality to Estimate Directional Bicycle Volumes. *In: Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington D. C., 2014.

MCLEOD, S.; BABB, C.; BARLOW, S. How to 'do' a bike plan: Collating best practices to synthesize a Maturity Model of planning for cycling. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, v. 5, 2020. DOI: 10.1016/j.trip.2020.100130.

MCNEIL, N. Bikeability and the 20-min Neighborhood: How Infrastructure and Destinations Influence Bicycle Accessibility. *Transportation Research Record*, n. 2247, p. 53-63, 2011. DOI: 10.3141/2247-07.

MEKURIA, M. C.; FURTH, P. G.; NIXON, H. **Low-Stress Bicycling and Network Connectivity**. Mineta Transportation Institute, Report 11-19. Mineta, 2012. 84 p.

MELLO, A.; PORTUGAL, L. Um procedimento baseado na acessibilidade para a concepção de Planos Estratégicos de Mobilidade Urbana: o caso do Brasil. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales (EURE)*, v. 43, n. 128, p. 99-125, 2017. DOI: 10.4067/S0250-71612017000100005.

MENGHINI, G.; CARRASCO, N.; SCHÜSSLER, N.; AXHAUSEN, K. W. Route choice of cyclists in Zurich. *Transportation Research Part A*, v. 44, n. 9, p. 754-765, 2010. DOI: 10.1016/j.tra.2010.07.008.

MILAKIS, D.; ATHANASOPOULOS, K.; VAFEIADIS, E.; VASILEIADIS, K.; VLASTOS, T. Planning of the Athens metropolitan cycle network using participative multicriteria GIS analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 48, p. 816-826, 2012. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1059.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Coleção Bicicleta Brasil: Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta**. Ministério das Cidades: Brasília (DF), 2007. 232 p.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Pesquisa Nacional de Mobilidade Urbana 2018**. Ministério do Desenvolvimento Regional: Brasília (DF), 2019. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/SEMOB/Relatorio_Pemob_2018.pdf. Acesso em: 22 dez. 2021.

MIRANDA, H. F.; TEIXEIRA, I. P.; MANZATO, G. G.; SILVA, A. N. R. Estratégias de planejamento cicloviário: uma revisão sistemática da literatura. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 8, n. 3, p. 161-169, 2017. DOI: 10.20396/parc.v8i3.8650239.

MONARI, M. **Método para definição de rede de rotas cicláveis em áreas urbanas de cidades de pequeno porte: um estudo de caso para a cidade de Bariri-SP**. 2018. 206 p. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura de Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

MONARI, M.; MORAES, F. R.; SEGANTINE, P. C. L.; SILVA, I. Análise comparativa entre modelos de avaliação do nível de estresse relacionado aos ciclistas no processo de identificação de rotas cicláveis: um estudo de caso para a cidade de Bariri-SP. *In: XXXII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte*, 2018, Gramado. **Anais [...]**. ANPET, p. 3022-3032. Disponível em:

http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Planejamento%20Territorial%20do%20Transporte/Mobilidade%20Sustentavel/3_202_AC.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

MONARI, M.; SEGANTINE, P. C. L. Método para definição de rede de rotas cicláveis em áreas urbanas de cidades de pequeno porte: um estudo de caso para a cidade de Bariri-SP. **TRANSPORTES**, v. 27, n. 2, p. 149-164, 2019. DOI: 10.14295/transportes.v27i2.1648.

MONARI, M.; SEGANTINE, P. C. L.; SILVA, I. Avaliação do Modelo Digital De Elevação Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) como Ferramenta no Processo de Identificação de Rotas Cicláveis: Um Estudo de Caso para a Cidade de Bariri-SP. *In: XXXIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2019, Balneário Camboriú. Anais [...]. ANPET. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Planejamento%20Territorial%20do%20Transporte/Mobilidade%20Urbana%20Sustent%20C3%A1vel:%20Transporte%20Ativo%20I/2_119_AC.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.*

MONARI, M.; SEGANTINE, P. C. L. Aplicabilidade dos modelos de nível de serviço para bicicletas existentes na literatura à identificação de rotas cicláveis em cidades brasileiras de pequeno porte. *In: XXXIV ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2020, Evento 100% Digital. Anais [...]. ANPET, p. 2345-2356. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Planejamento%20Territorial%20do%20Transporte/Transporte%20N%C3%A3o%20Motorizado%20-%20Bicicletas/2_105_AC.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.*

MONARI, M.; SEGANTINE, P. C. L.; SILVA, A. N. R. Identificação de locais potencialmente vantajosos à instalação de lockers para *e-commerce* na cidade de Bariri-SP: uma abordagem com enfoque no transporte cicloviário. *In: XXXV ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2021, Evento 100% Digital. Anais [...]. ANPET, p. 1934-1945. Disponível em: https://www.anpet.org.br/anais35/documentos/2021/Planejamento%20Territorial%20do%20Transporte/Transporte%20Ciclovi%C3%A1rio/6_106_AC.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.*

MONARI, M.; SEGANTINE, P. C. L. Cycling Planning in Small-Sized Brazilian Cities Based on Open Data Geoprocessing. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 2, p. 418-436, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n2-63475.

MORA, R.; TRUFFELLO, R.; OYARZÚN, G. Equity and accessibility of cycling infrastructure: An analysis of Santiago de Chile. **Journal of Transport Geography**, v. 91, 2021. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.102964.

MORAIS, A. C. M.; SANTOS, E. M. Avaliação das estruturas organizacionais dos organismos gestores da mobilidade diante da Política Nacional de Mobilidade Urbana. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, n. 12, 2020. DOI: 10.1590/2175-3369.012.e20190232.

MORAN, P. A. P. The interpretation of statistical maps. *In: Proceedings of the Cambridge Philosophy Society*, v. 44, p. 342-344, 1947.

MORAN, S. K.; TSAY, W.; LAWRENCE, S.; KRYKEWYCZ, G. R. Lowering Bicycle Stress One Link at a Time: Where Should We Invest in Infrastructure? **Transportation Research Record**, n. 2672, p. 33-41, 2018. DOI: 10.1177/0361198118783109.

NASA JPL. **NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001** [*Data set*]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC, 2020. DOI:10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001.

NERI, T. B. **Proposta Metodológica para definição de Rede Cicloviária: um estudo de caso de Maringá**. 2012. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

OMS. **Global Status Report on Road Safety 2018**. Genebra: Organização Mundial da Saúde, 2018.

OMS. **Road Traffic Injuries**. Organização Mundial da Saúde, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/roadtraffic-injuries>. Acesso em: 21 jul. 2021.

OSPINA, J. P.; DUQUE, J. C.; BOTERO-GERNÁNDEZ, V.; MONTOYA, A. The maximal covering bicycle network design problem. **Transportation Research Part A**, v. 159, p. 222-236, 2022. DOI: 10.1016/j.tra.2022.02.004.

PARKIN, J.; WARDMAN, M.; PAGE, M. Models of Perceived Cycling Risk and Route Acceptability. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, n. 2. p. 364-371, 2007. DOI: 10.1016/j.aap.2006.08.007.

PARKIN, J.; ROTHERAN, J. Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal. **Transport Policy**, v. 17, p. 335-341, 2010. DOI: 10.1016/j.tranpol.2010.03.001.

PETRITSCH, T. A.; LANDIS, B. W.; HUANG, H. F.; MCLEOD, P. S.; LAMB, D.; FARAH, W.; GUTTENPLAN, M. Bicycle Level of Service for Arterials. **Transportation Research Record**, n. 2031, p. 34-42, 2007. DOI: 10.3141/2031-05.

PETTINGA, A. *et al.* **Cycling-Inclusive Policy Development: A Handbook**. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development. Utrecht, 2009. 256 p.

PITILIN, T. R. **Identificação dos principais fatores a serem considerados para o projeto de uma rede cicloviária**. 2016. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

PORTUGAL, L. S.; GOLDNER, L. G. **Estudo de Polos Geradores de Tráfego e de seus Impactos nos Sistemas Viários e de Transportes**. 1 ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2003. 322 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BARIRI. **Plano Diretor de Mobilidade**. Bariri, 2016. 70 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAINA. **Bocaina recebe o título de município de interesse turístico**. Bocaina, 2019. Disponível em:

https://bocaina.sp.gov.br/noticiasView/3934_BOCAINA-RECEBE-O-TITULO-DE-MUNICIPIO-DE-INTERESSE-TURISTICO.html. Acesso: 02 out. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IBITINGA. **Lei Complementar Nº 213, de 06 de maio de 2021**. Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo do Município da Estância Turística de Ibitinga, estabelece diretrizes gerais da política de desenvolvimento urbano e dá outras providências. Câmara Municipal de Ibitinga, Ibitinga, 2021.

PRITCHARD, R.; FROYEN, Y.; SNIZEK, B. Bicycle Level of Service for Route Choice: A GIS Evaluation of Four Existing Indicators with Empirical Data. **International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 214, 2019. DOI: 10.3390/ijgi8050214.

PROVIDELO, J. K. **Nível de Serviço para Bicicletas: um estudo de caso nas cidades de São Carlos e Rio Claro**. 2011. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

PUCHER, J.; BUEHLER, R. International Overview: Cycling Trends in Western Europe, North America, and Australia. **City Cycling**, p. 9-29, 2012.

RANA, V. K.; SURYANARAYANA, T. M. V. Visual and Statistical Comparison of ASTER, SRTM, and Cartosat Digital Elevation Models for Watershed. **Journal of Geovisualization and Spatial Analysis**, v. 3, n. 12, 2019. DOI: 10.1007/s41651-019-0036-z.

RIETVELD, P.; DANIEL, V. Determinants of bicycle use: do municipal policies matter? **Transportation Research Part A**, v. 38, n. 7, p. 531-550, 2004. DOI: 10.1016/j.tra.2004.05.003.

RODRIGUES, M. R.; SILVA, A. N. R.; TEIXEIRA, I. P. Assessing the applicability of the cyclists' Level of Traffic Stress (LTS) classification to a medium-sized city in a developing country. **Journal of Transport & Health**, v. 24, 2022. DOI: 10.1016/j.jth.2021.101321.

RODRIGUEZ-VALENCIA, A.; ROSAS-SATIZÁBAL, D.; GORDO, D.; OCHOA, A. Impact of household proximity to the cycling network on bicycle ridership: The case of Bogotá. **Journal of Transport Geography**, v. 79, 2019. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2019.102480.

ROSAS-SATIZÁBAL, D.; RODRIGUEZ-VALENCIA, A. Factors and policies explaining the emergence of the bicycle commuter in Bogotá. **Case Studies on Transport Policy**, v. 7, p. 138-149, 2019. DOI: 10.1016/j.cstp.2018.12.007.

RUBIM, B.; LEITÃO, S. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. **Estudos avançados**, v. 27, n. 79, p. 55-66, 2013. DOI: 10.1590/S0103-40142013000300005.

RYBARCZYK, G.; WU, C. Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis. **Applied Geography**, n. 30, p. 282-293, 2010. DOI: 10.1016/j.apgeog.2009.08.005.

RYBARCZYK, G.; OZBIL, A.; ANDRESEN, E.; HAYES, Z. Physiological responses to urban design during bicycling: a naturalistic investigation. **Transportation Research Part F**, v. 68, p. 79-93, 2020. DOI: 10.1016/j.trf.2019.12.001.

SAGHAPOUR, T.; MORIDPOUR, S.; THOMPSON, R. G. Measuring cycling accessibility in metropolitan areas. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 11, n. 5, p. 381-394, 2017. DOI: 10.1080/15568318.2016.1262927.

SAKSHAUG, L.; LAURESHYN, A.; SVENSSON, A.; HYDÉN, C. Cyclists in roundabouts - Different design solutions. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, p. 1338-1351, 2010. DOI: 10.1016/j.aap.2010.02.015.

SALVATORE, D. **Microeconomia**. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1984.

SCHADE, J.; SCHLAG, B. Acceptability of urban transport pricing strategies. **Transportation Research Part F**, v. 6, p. 45-61, 2003. DOI: 10.1016/S1369-8478(02)00046-3.

SCHONER, J. E.; LEVINSON, D. M. The missing link: Bicycle infrastructure networks and ridership in 74 US cities. **Transportation**, v. 41, n. 6, p. 1187-1204, 2014. DOI: 10.1007/s11116-014-9538-1.

SEGADILHA, A. B. P. **Identificação dos fatores que influenciam na escolha da rota pelos ciclistas: estudo de caso da cidade de São Carlos**. 2014. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

SEGANTINE, P. C. L. **Estudo do Sinergismo entre os Sistemas de informação Geográfica e o Posicionamento Global**. 2001. 237 p. Tese (Livre Docência). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SEMLER, C.; SANDERS, M.; BUCK, D.; GRAHAM, J.; POCHOWSKI, A.; DOCK, S. Low-Stress Bicycle Network Mapping. **Transportation Research Record**, n. 2662, p. 31-40, 2017. DOI: 10.3141/2662-04.

SEMOB. **Bate-Papo com a CNM orienta os gestores na implementação de planos de mobilidade urbana**. Secretaria Nacional de Mobilidade e Serviços Urbanos, 2021. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/bate-papo-com-a-cnm-orienta-os-gestores-na-implementacao-de-planos-de-mobilidade-urbana>. Acesso em: 22 dez. 2021.

SENER, I. N.; ELURU, N.; BHAT, C. R. An Analysis of Bicycle Route Choice Preferences in Texas, US. **Transportation**, v. 36, n. 5, p. 511-539, 2009. DOI: 10.1007/s11116-009-9201-4.

SILVA, E. J. R.; RANGEL, M. P.; CAMPOS, P. C. O. Análise altimétrica de baixo custo para projeto básico em levantamento geométrico de rodovia existente. *In: XXXIV ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, 2020, Evento 100% Digital. Anais [...]. ANPET, p. 2684-2691. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Tr%C3%A1fego%20Urbano%20e%20Rodovi%C3%A1rio/Tr%C3%A1fego%20Rodovi%C3%A1rio/5_474_CT.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.*

SILVEIRA, M. O.; MAIA, M. L. A. Variáveis que influenciam no uso da bicicleta e as crenças da teoria do comportamento planejado. **TRANSPORTES**, v. 23, n. 1, p. 24-36, 2015. DOI: 10.4237/transportes.v23i1.848.

SIMONATO, S. 40% das ciclovias e ciclofaixas de SP têm problemas, diz levantamento. **G1**. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/12/10/40-das-ciclovias-e-ciclofaixas-de-sp-temproblemas-diz-levantamento.ghtml>. Acesso em: 17 mai. 2019.

SNIZEK, B.; NIELSEN, T. A. S.; SKOV-PETERSEN, H. Mapping bicyclists' experiences in Copenhagen. **Journal of Transport Geography**, v. 30, p. 227-233, 2013. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2013.02.001.

SOARES, A; GUTH, D. **O Brasil que pedala: a cultura da bicicleta nas cidades pequenas**. 1 ed. Rio de Janeiro: Ed. Jaguaririca, 2018. 258 p.

SORTON, A.; WALSH, T. Bicycle Stress Level as a Tool to Evaluate Urban and Suburban Bicycle Compatibility. **Transportation Research Record**, n. 1438, p. 17-24, 1994.

SOUSA, C. A. M.; BAHIA, C. A.; CONSTANTINO, P. Análise dos fatores associados aos acidentes de trânsito envolvendo ciclistas atendidos nas capitais brasileiras. **Ciência & Saúde coletiva**, v. 21, n. 12, p. 3683-3690, 2016. DOI: 10.1590/1413-812320152112.24152016.

SOUSA, I. C. N.; SANCHES, S. P. Fatores influentes na escolha de rotas de ciclistas. **EURE (Santiago) - Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales**, v. 45, n. 134, p. 31-52, 2019. DOI: 10.4067/S0250-71612019000100031.

STEG, L. Factors influencing the acceptability and effectiveness of transport pricing. Em: **Acceptability of transport pricing strategies**. Emerald Group Publishing Limited, 2003.

STINSON, M. A.; BHAT, C. R. An Analysis of Commuter Bicyclist Route Choice Using a Stated Preference Survey. **Transportation Research Record**, n. 1828, p. 107-115, 2003.

TILAHUN, N. Y.; LEVINSON, D. M.; KRIZEK, K. J. Trails, lanes, or traffic: Valuing bicycle facilities with an adaptive stated preference survey. **Transportation Research Part A**, v. 41, p. 287-301, 2007. DOI: 10.1016/j.tra.2006.09.007.

TOOLE, J. **Revising the AASHTO Guide for the Development of Bicycle Facilities**. The National Cooperative Highway Research Program. Hyattsville, 2010. 248 p. Disponível em: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/nchrp_15-37_fr.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

TRAFIKVERKET. **GC-kalk Manual Och Backomliggande Formler 1.4**. Borlänge: Trafikverket, 2016.

TRANSPORT SCOTLAND. **Cycling by Design 2010**. Transport Scotland - Standards, Traffic and Economics Branch. Glasgow, 2010. Disponível em: https://www.transport.gov.scot/media/14173/cycling_by_design_2010__rev_1__june_20_11_.pdf. Acesso em: 22 ago. 2022.

TRB. **Highway Capacity Manual**. Transportation Research Board. National Research Council, Washington D. C., 2010.

TUCKER, B.; MANAUGH, K. Bicycle equity in Brazil: Access to safe cycling routes across neighborhoods in Rio de Janeiro and Curitiba. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 12, n. 1, p. 29-38, 2018. DOI: 10.1080/15568318.2017.1324585.

VALE, D. S.; PEREIRA, M. The influence of the impedance function on gravity-based pedestrian accessibility measures: A comparative analysis. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 44, n. 4, p. 740-763, 2017. DOI: 10.1177/0265813516641685.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. TOPODATA: Brazilian Full Coverage Refinement of SRTM Data. **Applied Geography**, v. 32, p. 300-309, 2012. DOI: 10.1016/j.apgeog.2011.05.004.

VAN ACKER, V.; DERUDDER, B.; WITLOX, F. 2013. Why people use their cars while the built environment imposes cycling. **Journal of Transport and Land Use**, v. 6, n. 1, p. 53-62, 2013. DOI: 10.5198/jtlu.v6i1.288 .

VAN DYCK, D.; CERIN, E.; CONWAY, T. L.; BOURDEAUDHUIJ, I. D.; OWEN, N.; KERR, J.; CARDON, G.; FRANK, L. D.; SAELENS, B. E.; SALLIS, J. F. Perceived neighborhood environmental attributes associated with adults' transport-related walking and cycling: Findings from the USA, Australia, and Belgium. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2012. DOI: 10.1186/1479-5868-9-70.

WANG, H.; PALM, M.; CHEN, C.; VOGT, R.; WANG, Y. Does bicycle network level of traffic stress (LTS) explain bicycle travel behavior? Mixed results from an Oregon case study. **Journal of Transport Geography**, v. 57, p. 8-18, 2016. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.08.016.

WASSERMAN, D.; RIXEY, A.; ZHOU, X.; LEVITT, D.; BENJAMIN, M. Evaluating OpenStreetMap's Performance Potential for Level of Traffic Stress Analysis. **Transportation Research Record**, v. 2673, n. 4, p. 284-294, 2019. DOI: 10.1177/0361198119836772.

WINTERS, M.; TESCHKE, K.; GRANT, M.; SETTON, E. M.; BRAUER, M. How far out the way will we travel? Built environmental influences on route selection for bicycle and car travel. **Transportation Research Record**, n. 2190, p. 1-10, 2010. DOI: 10.3141/2190-01.

WINTERS, M.; DAVIDSON, G.; KAO, D.; TESCHKE, K. Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride. **Transportation**, v. 38, p. 153-168, 2011. DOI: 10.1007/s11116-010-9284-y.

WINTERS, M.; BRAUER, M.; SETOON, E. M.; TESCHKE, K. Mapping bikeability: a spatial tool to support sustainable travel. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 40, p. 865-883, 2013. DOI: 10.1068/b38185.

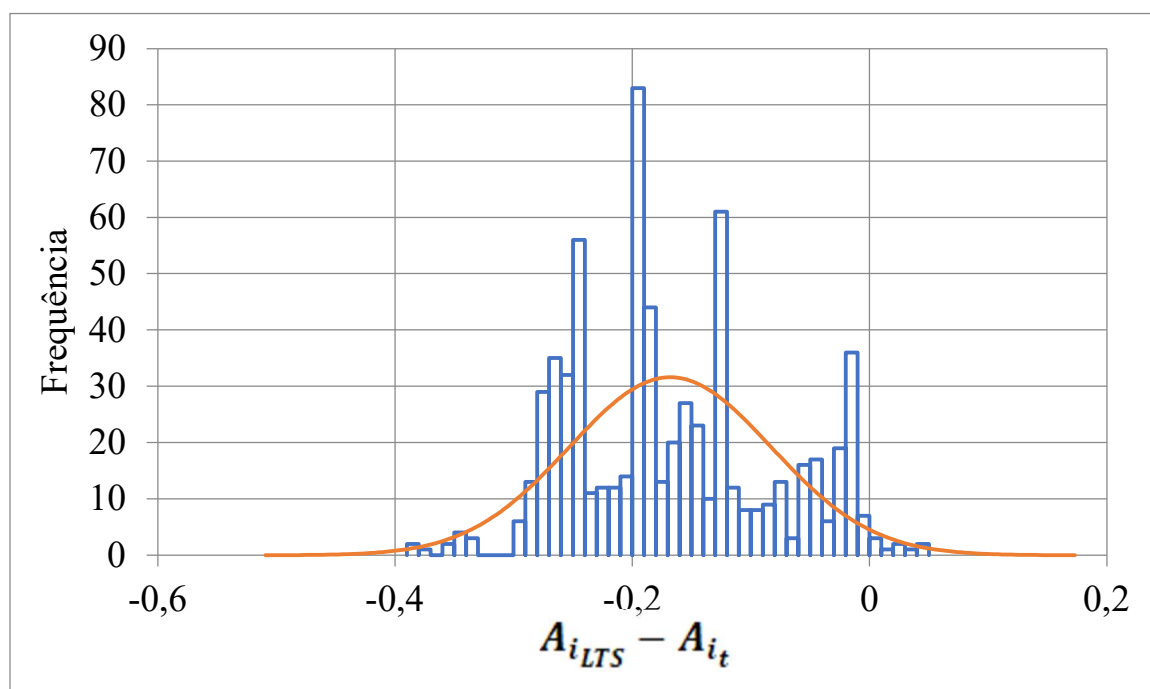
ZEILE, P.; RESCH, B.; LOIDL, M.; PETUTSCHNIG, A.; DORRZAPF, L. Urban emotions and cycling experience - enriching traffic planning for cyclists with human sensor data. **GI Forum 2016**, p. 204-216, 2016, DOI: 10.1553/giscience2016_01_s204.

ZIEMKE, D.; METZLER, S.; NAGEL, K. Modeling Bicycle Traffic in an Agent-Based Transport Simulation. **Procedia Computer Science**, v. 109, p. 923-928. 2017. DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.424.

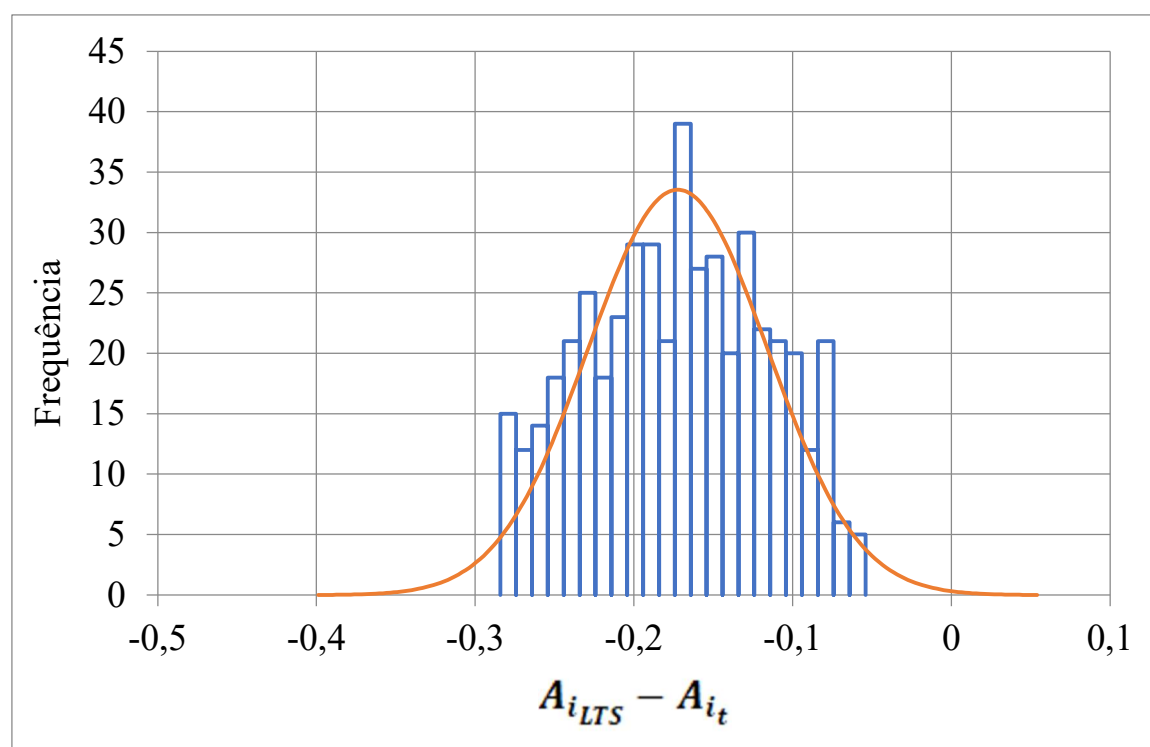
ZUO, T.; WEI, H. Bikeway prioritization to increase bicycle network connectivity and bicycle-transit connection: A multi-criteria decision analysis approach. **Transportation Research Part A**, v. 129, p. 52-71, 2019. DOI: 10.1016/j.tr.2019.08.003.

APÊNDICE A

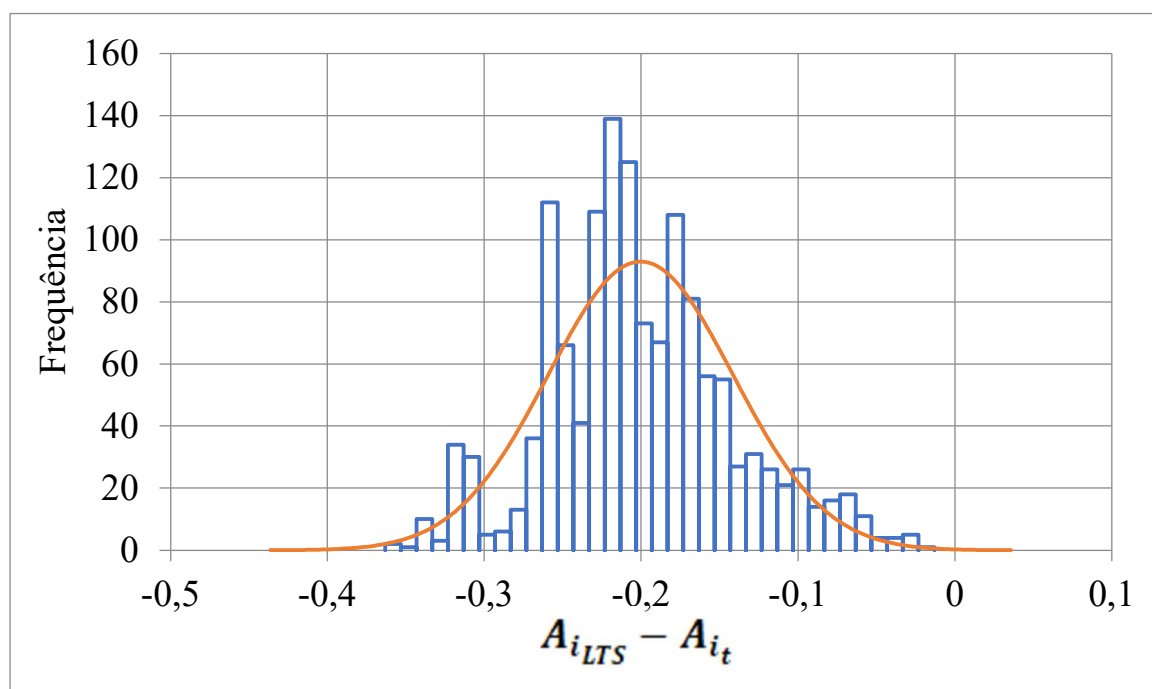
Neste Apêndice, são apresentadas, para cada local de estudo, as distribuições de frequências (histogramas) das diferenças entre índices homólogos de acessibilidade associados às duas primeiras e às duas últimas fases da abordagem proposta neste trabalho.

Figura A.1: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ em Bocaina-SP.

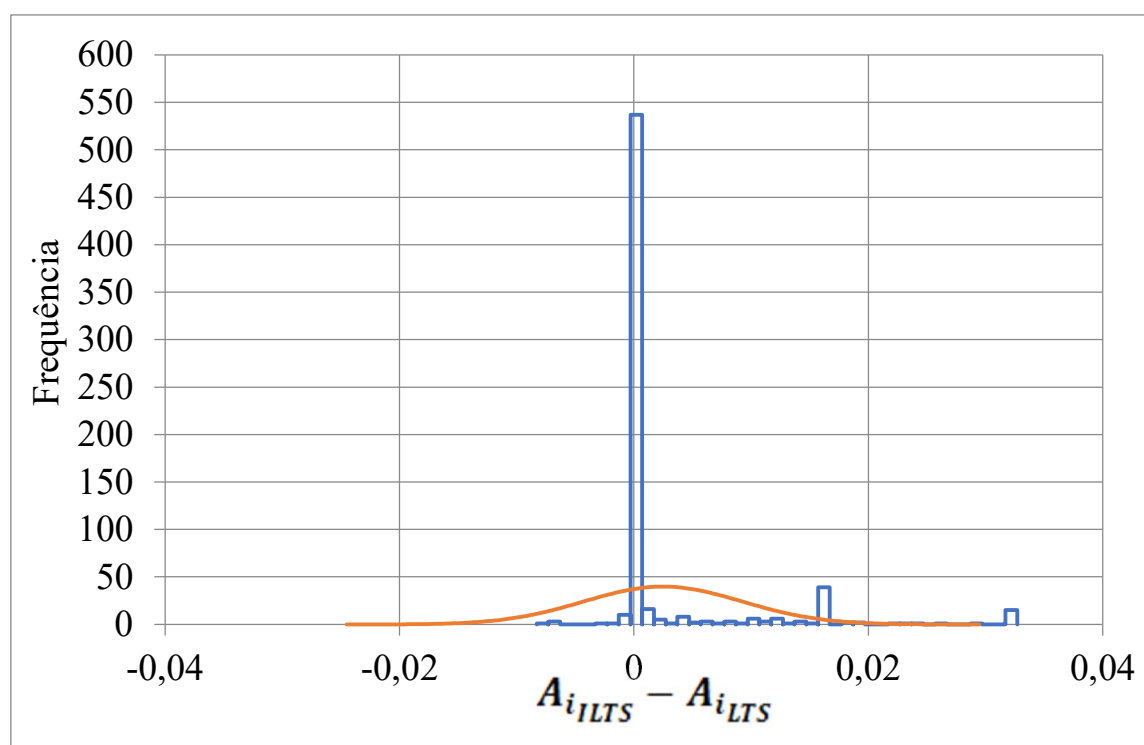
Fonte: O Autor (2022).

Figura A.2: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ em Bariri-SP.

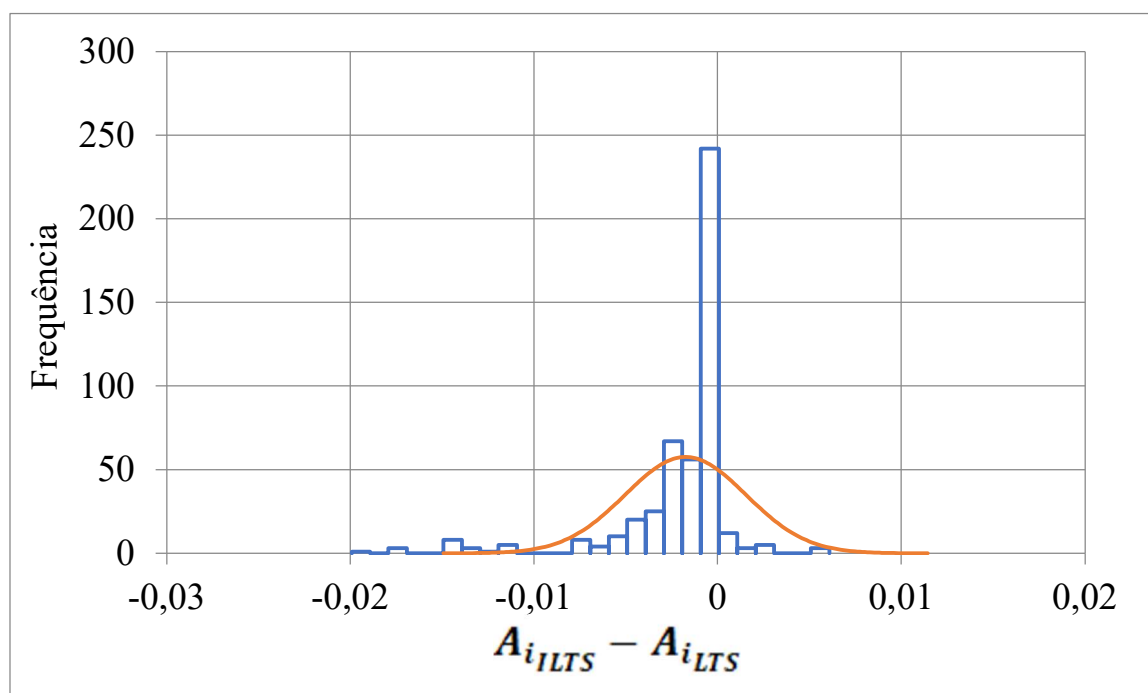
Fonte: O Autor (2022).

Figura A.3: Histograma para $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ em Ibitinga-SP.

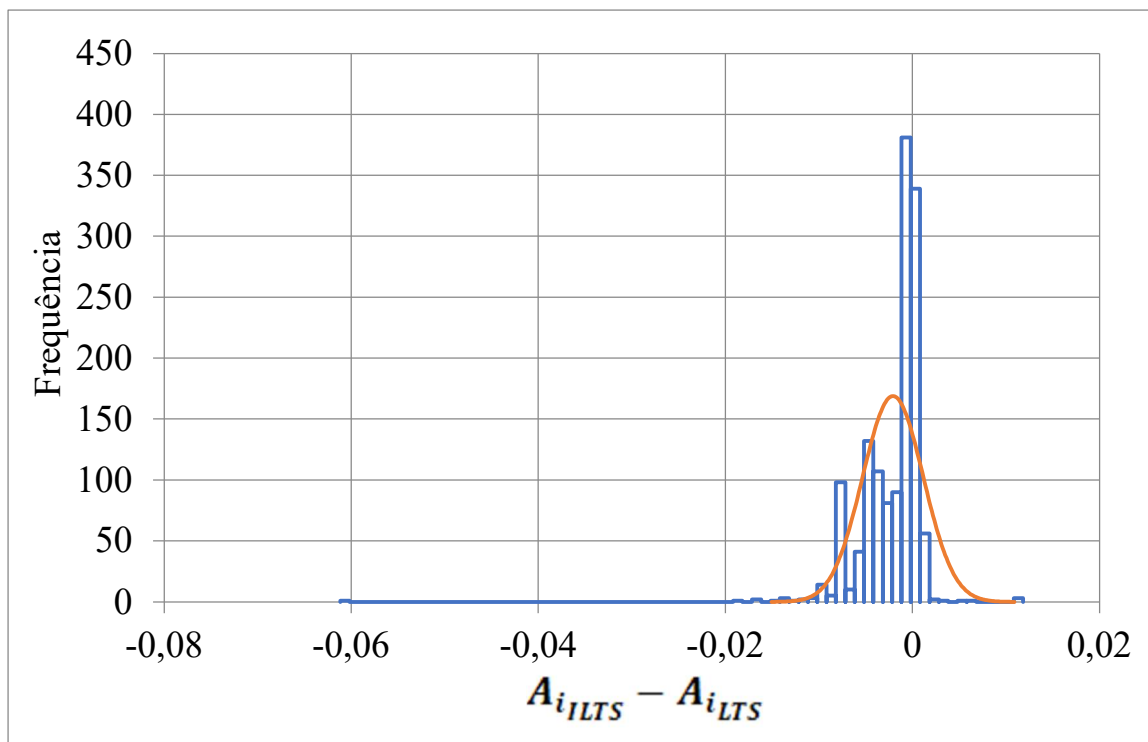
Fonte: O Autor (2022).

Figura A.4: Histograma para $(A_{i_{ILTS}} - A_{i_{LTS}})$ em Bocaina-SP.

Fonte: O Autor (2022).

Figura A.5: Histograma para $(A_{i_{ILTS}} - A_{i_{LTS}})$ em Bariri-SP.

Fonte: O Autor (2022).

Figura A.6: Histograma para $(A_{i_{ILTS}} - A_{i_{LTS}})$ em Ibitinga-SP.

Fonte: O Autor (2022).

APÊNDICE B

Neste Apêndice, são apresentados e discutidos os resultados da avaliação da equidade de acesso aos PGVs por bicicleta entre diferentes grupos populacionais nas cidades de estudo, em cada fase da abordagem proposta.

A Tabela B.1 apresenta, para cada local de estudo, a acessibilidade geral de diferentes grupos populacionais¹⁰ aos PGVs por bicicleta.

Tabela B.1: Acessibilidade geral de diferentes grupos populacionais aos PGVs por bicicleta.

Faixa de renda (s) ou etária (k)	Bocaina-SP						Bariri-SP						Ibitinga-SP					
	$A1_{gk}$ ou $A1_{gs}$		$A2_{gk}$ (LTS) ou $A2_{gs}$ (LTS)		$A2_{gk}$ (ILTS) ou $A2_{gs}$ (ILTS)		$A1_{gk}$ ou $A1_{gs}$		$A2_{gk}$ (LTS) ou $A2_{gs}$ (LTS)		$A2_{gk}$ (ILTS) ou $A2_{gs}$ (ILTS)		$A1_{gk}$ ou $A1_{gs}$		$A2_{gk}$ (LTS) ou $A2_{gs}$ (LTS)		$A2_{gk}$ (ILTS) ou $A2_{gs}$ (ILTS)	
	Gênero (g)		Gênero (g)		Gênero (g)		Gênero (g)		Gênero (g)		Gênero (g)		Gênero (g)		Gênero (g)		Gênero (g)	
	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)	Hom. ($g = 1$)	Mul. ($g = 2$)
≤ 2 SM ($s = 1$)	0,951	0,955	0,889	0,888	0,889	0,888	0,848	0,854	0,710	0,719	0,709	0,717	0,757	0,762	0,621	0,627	0,619	0,625
2 - 5 SM ($s = 2$)	0,907	0,908	0,772	0,777	0,773	0,778	0,855	0,854	0,722	0,722	0,720	0,720	0,776	0,798	0,644	0,672	0,641	0,670
> 5 SM ($s = 3$)	0,917	0,934	0,794	0,849	0,794	0,850	0,846	0,846	0,708	0,707	0,707	0,706	0,812	0,830	0,687	0,702	0,685	0,701
10 a 29 anos ($k = 1$)	0,938	0,935	0,803	0,799	0,804	0,799	0,846	0,846	0,705	0,707	0,704	0,705	0,758	0,757	0,624	0,623	0,622	0,640
30 a 49 anos ($k = 2$)	0,913	0,913	0,777	0,780	0,777	0,780	0,848	0,850	0,710	0,713	0,709	0,711	0,760	0,763	0,624	0,628	0,622	0,626
50 a 69 anos ($k = 3$)	0,914	0,914	0,783	0,784	0,783	0,785	0,852	0,854	0,716	0,720	0,714	0,718	0,779	0,785	0,647	0,654	0,644	0,652
70+ anos ($k = 4$)	0,921	0,907	0,796	0,791	0,796	0,792	0,847	0,854	0,710	0,721	0,708	0,720	0,796	0,801	0,668	0,678	0,667	0,676

Fonte: O Autor (2022).

¹⁰ Sugere-se ao leitor rever as Equações 3.16 a 3.19. Pede-se também notar que, na Tabela B.1, g : {Homens = 1; Mulheres = 2} e SM: salários mínimos.

Na cidade de Bocaina-SP, segundo a Tabela B.1, quando utilizada a estratégia de minimização do tempo de viagem de ciclistas, a despeito do grupo populacional avaliado, são observadas acessibilidades gerais a PGVs por bicicleta superiores a 90%. Quando da minimização de impedâncias associadas à classificação LTS, no entanto, nota-se uma diminuição considerável na acessibilidade geral de determinados grupos: entre as diferentes faixas de renda mensal, o decréscimo crítico é observado para homens com remuneração entre 2 e 5 salários mínimos (13,5%); e entre as diferentes faixas etárias, com igual magnitude para mulheres de 10 a 29 anos e para homens de 30 a 49 anos (13,6%). A incorporação de ALTSs à classificação LTS original, por sua vez, não reflete, pragmaticamente, em diferenças relevantes na acessibilidade geral de ciclistas.

Em Bariri-SP, segundo a Tabela B.1, quando utilizada a estratégia de minimização do tempo de viagem de ciclistas, são estimadas acessibilidades gerais superiores a 80% inobstante ao grupo populacional avaliado. Em contrapartida, a avaliação com base no nível de estresse de ciclistas (LTS) reflete em uma diminuição considerável na acessibilidade geral de vários grupos populacionais: entre as diferentes faixas de renda mensal, o decréscimo crítico é observado para mulheres com remuneração superior a 5 salários mínimos (13,9%); e entre as diferentes faixas etárias, para homens de 10 a 29 anos (14,1%). A incorporação de ALTSs à classificação LTS original, assim como para Bocaina-SP, resulta em pequenas diferenças na acessibilidade geral de ciclistas.

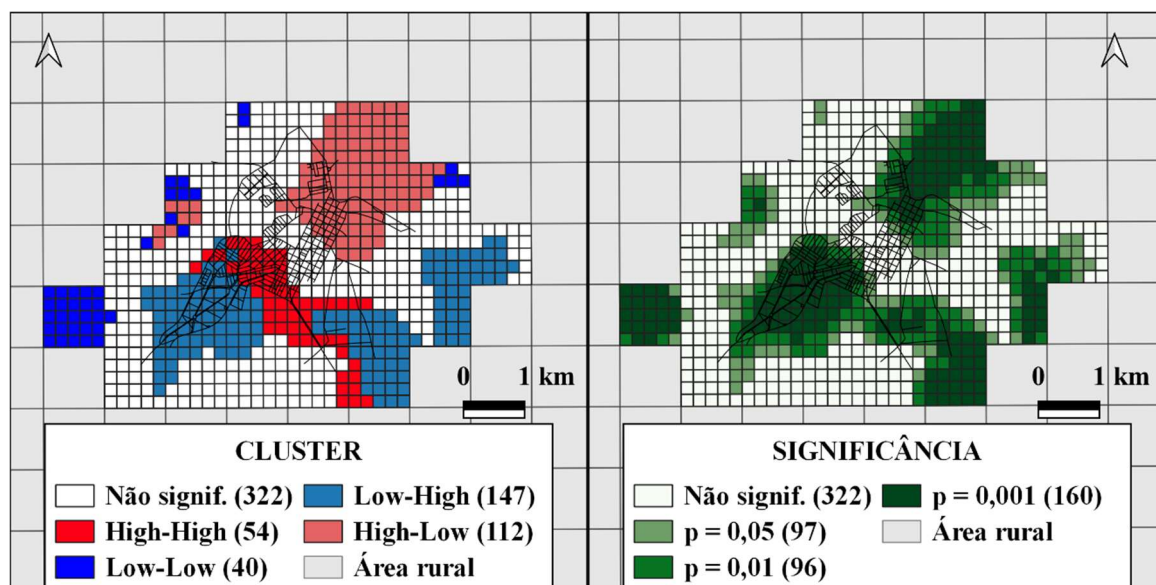
Com relação à Ibitinga-SP, segundo a Tabela B.1, ao ser aplicada a estratégia de minimização do tempo de viagem de ciclistas, estima-se que todos os grupos populacionais possuam acessibilidades gerais superiores a 70%. Já a opção pelo critério do nível de estresse de ciclistas (LTS) remete a um decréscimo de acessibilidade crítico, entre as diferentes faixas de renda mensal, para homens com remuneração de até 2 salários mínimos (13,6%) e, entre as diferentes faixas etárias, para homens entre 30 e 49 anos (13,6%). A incorporação de ALTSs à classificação LTS original, novamente, resulta em pequenas diminuições da acessibilidade geral de ciclistas, com exceção daquela associada a mulheres com idade entre 10 e 29 anos, para a qual é esperado um aumento de 1,7%. Uma possível explicação para este aumento reside no fato de que nas 73 unidades de análise de Ibitinga-SP para as quais a acessibilidade ILTS supera a LTS, são observadas grandes proporções de mulheres entre 10 e 29 na população residente total, com valores médio e máximo de, nesta ordem, 10,7% e 20%.

APÊNDICE C

Neste Apêndice, são apresentados os resultados de avaliação da associação espacial entre a diferença de acessibilidades homólogas, mensuradas nas duas primeiras fases da abordagem proposta, e as altitudes TOPODATA, cujo valor médio, em cada célula da grade estatística, foi estimado utilizando-se o complemento *RasterStats* do QGIS.

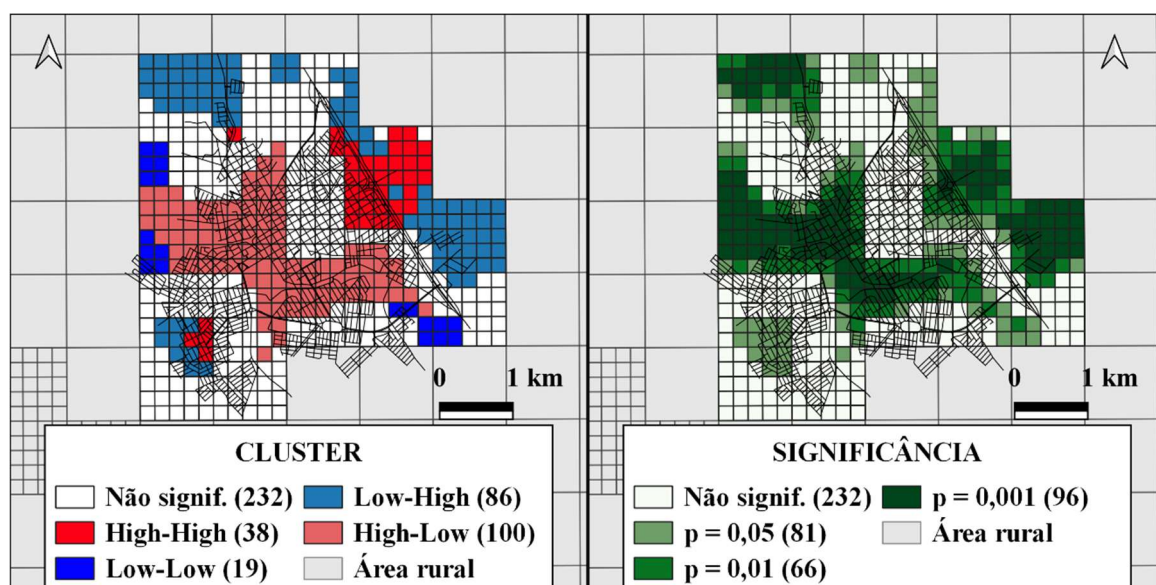
As Figuras C.1 a C.3 apresentam os mapas de *clusters* e significâncias LISA da análise bivariada em questão, respectivamente, para as cidades de Bocaina-SP, Bariri-SP e Ibitinga-SP. Os resultados sugerem, para todos os locais estudados, associações espaciais de moderadas a fracas entre as variáveis de análise, contudo, negativas: $I = -0,371$, para Bocaina-SP; $I = -0,568$, para Bariri-SP; e $I = -0,449$, para Ibitinga-SP.

Figura C.1: Associação espacial entre $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ e as altitudes médias TOPODATA em Bocaina-SP.



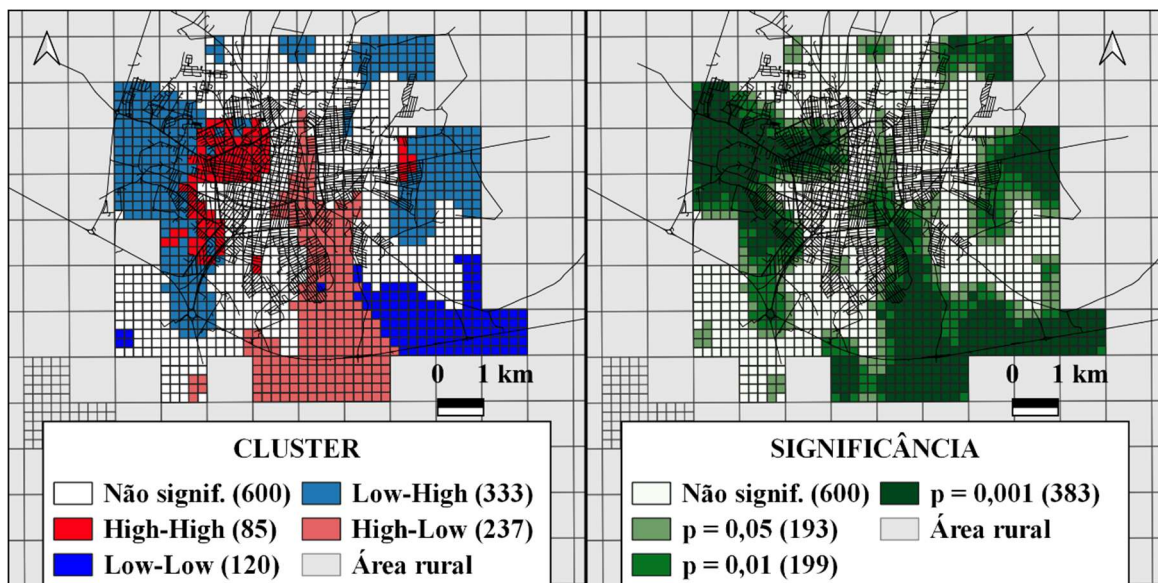
Fonte: O Autor (2022).

Figura C.2: Associação espacial entre $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ e as altitudes médias TOPODATA em Bariri-SP.



Fonte: O Autor (2022).

Figura C.3: Associação espacial entre $(A_{i_{LTS}} - A_{i_t})$ e as altitudes médias TOPODATA em Ibitinga-SP.

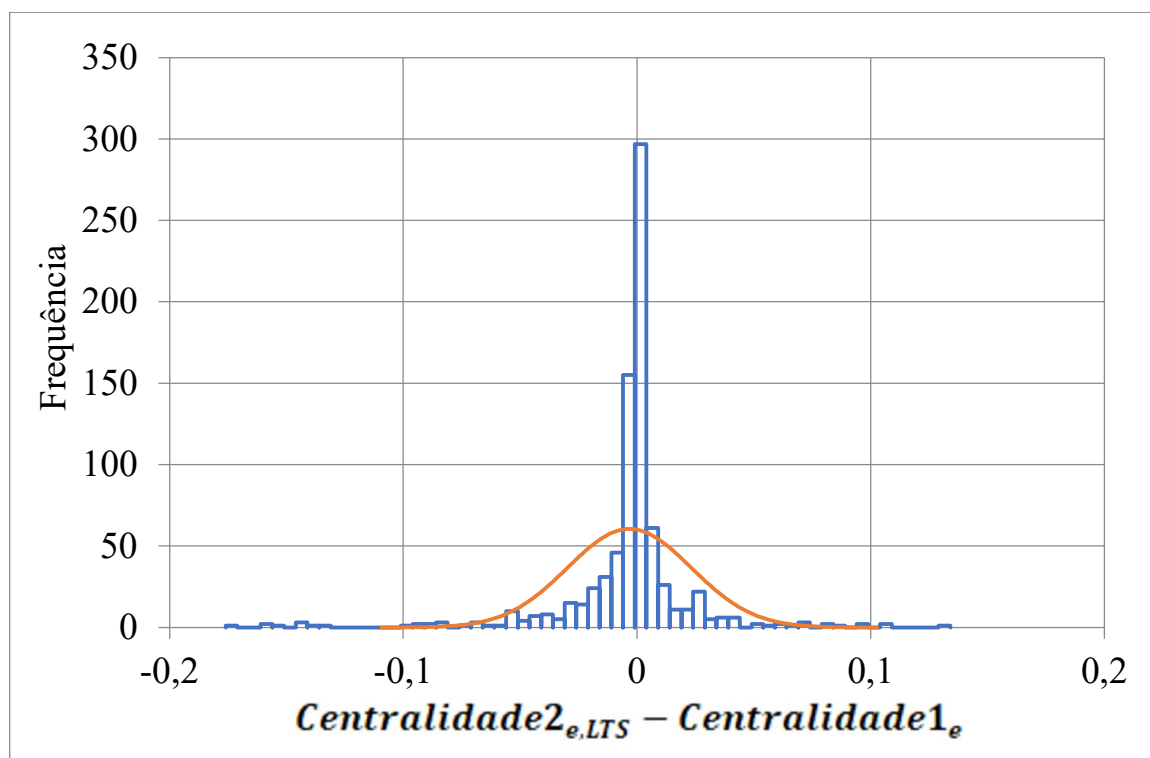


Fonte: O Autor (2022).

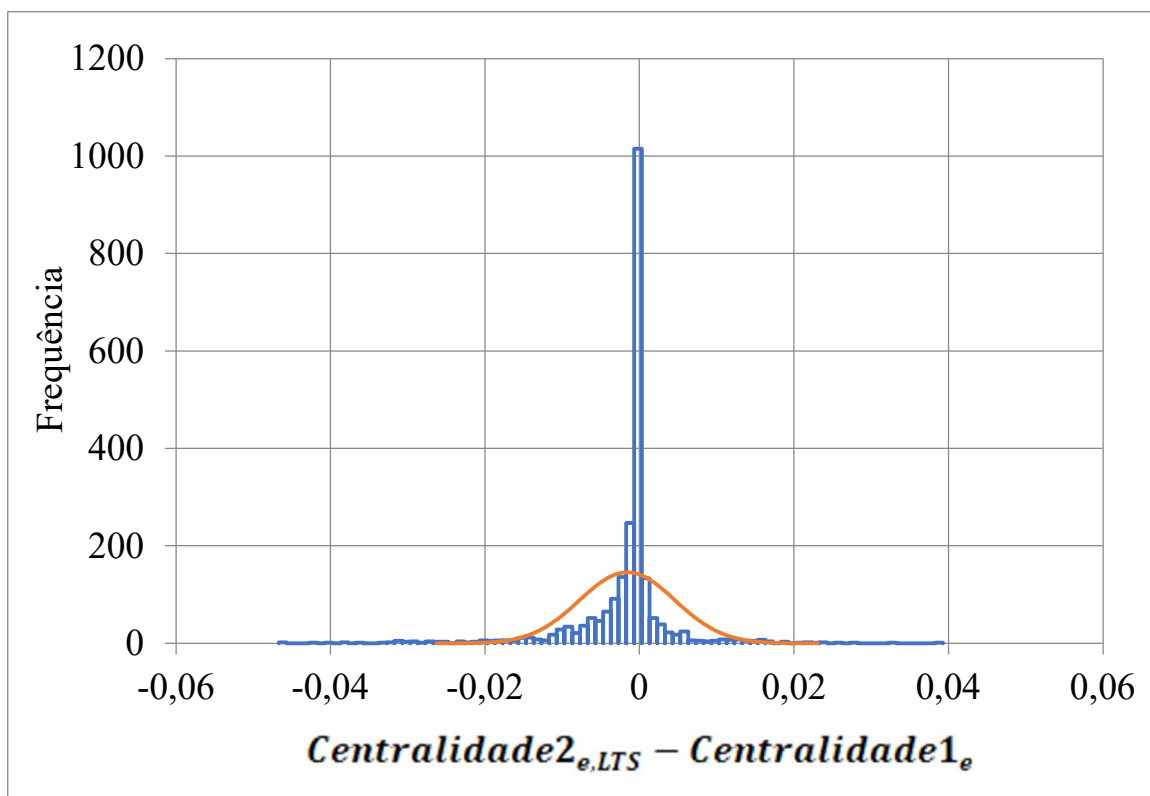
Agrupamentos *High-Low*, ou seja, células concentradas em regiões menos elevadas e cuja acessibilidade LTS supera aquela baseada na minimização do tempo de viagem de ciclistas, são majoritariamente observados nas regiões nordeste de Bocaina-SP, central de Bariri-SP e centro-sul de Ibitinga-SP. Já agrupamentos *Low-High*, ou seja, células localizadas em regiões com maiores altitudes TOPODATA e cuja acessibilidade LTS é subestimada com relação ao seu valor homólogo, são observados nas regiões sudeste e sudoeste de Bocaina-SP, além de em diversas regiões periféricas de Bariri-SP e Ibitinga-SP, por exemplo, estendendo-se por toda a faixa oeste deste última.

APÊNDICE D

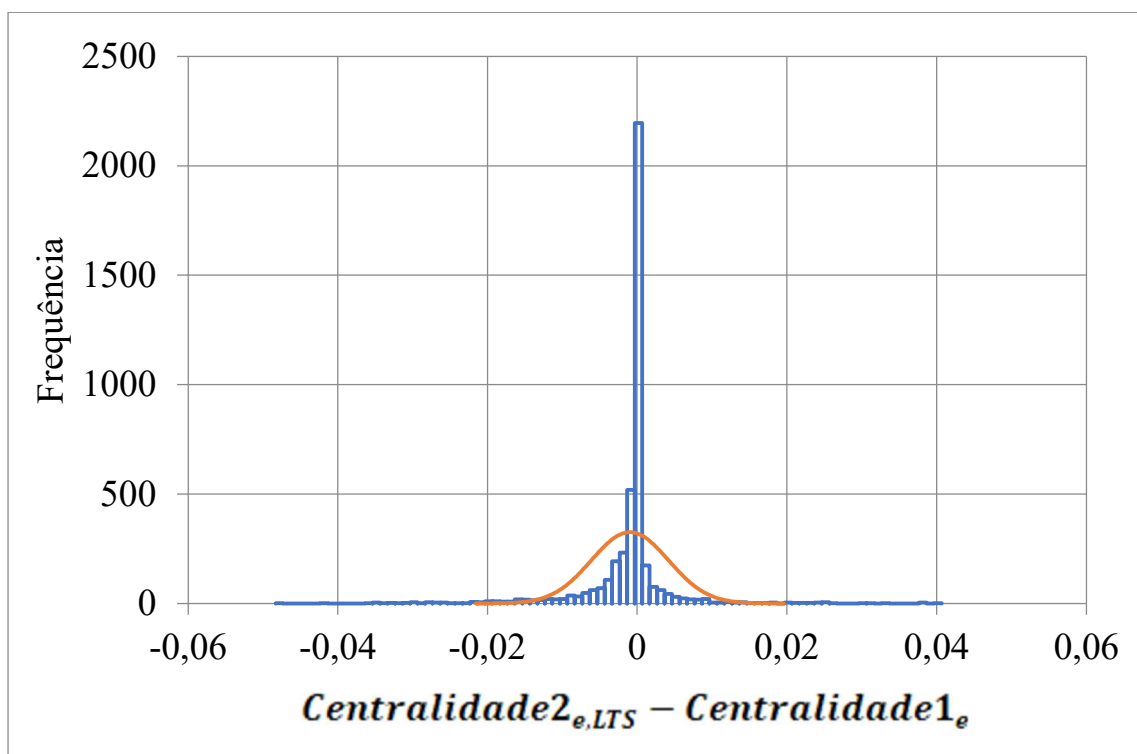
Neste Apêndice, são apresentadas, para cada local de estudo, as distribuições de frequências (histogramas) das diferenças entre índices homólogos de centralidade associados às duas primeiras e às duas últimas fases da abordagem proposta neste trabalho.

Figura D.1: Histograma para $(Centralidade2_{e,LTS} - Centralidade1_e)$ em Bocaina-SP.

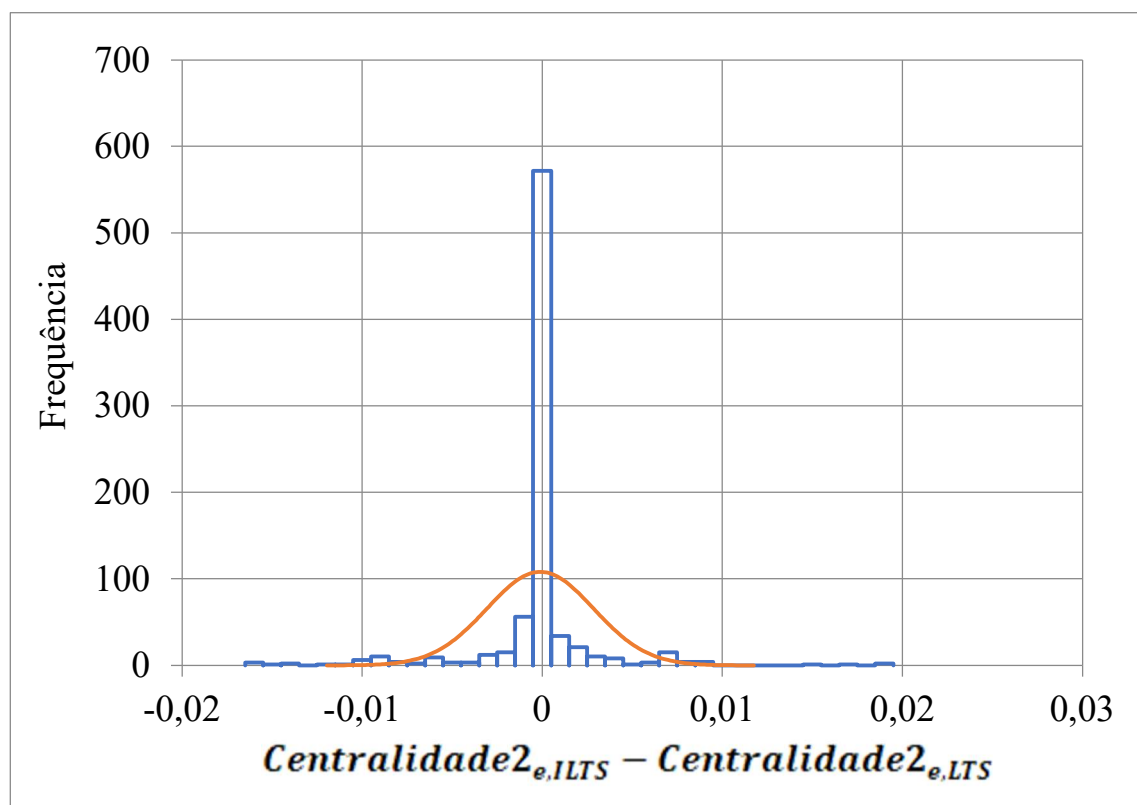
Fonte: O Autor (2022).

Figura D.2: Histograma para $(Centralidade2_{e,LTS} - Centralidade1_e)$ em Bariri-SP.

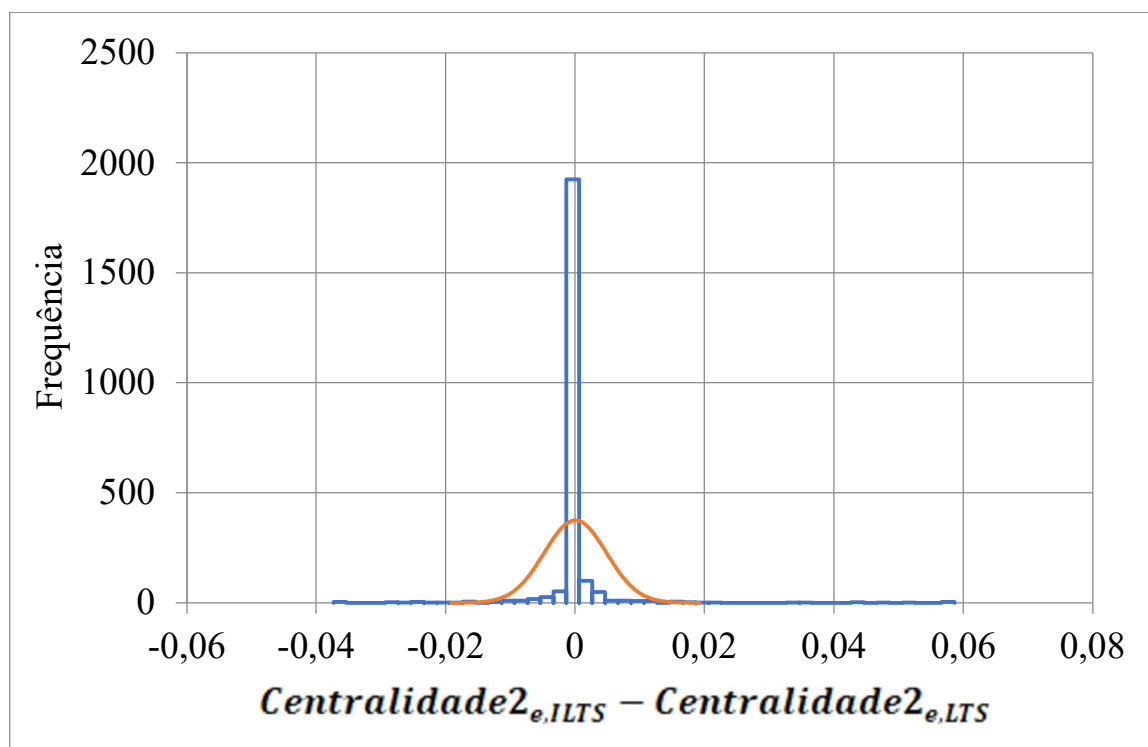
Fonte: O Autor (2022).

Figura D.3: Histograma para $(Centralidade2_{e,LTS} - Centralidade1_e)$ em Ibitinga-SP.

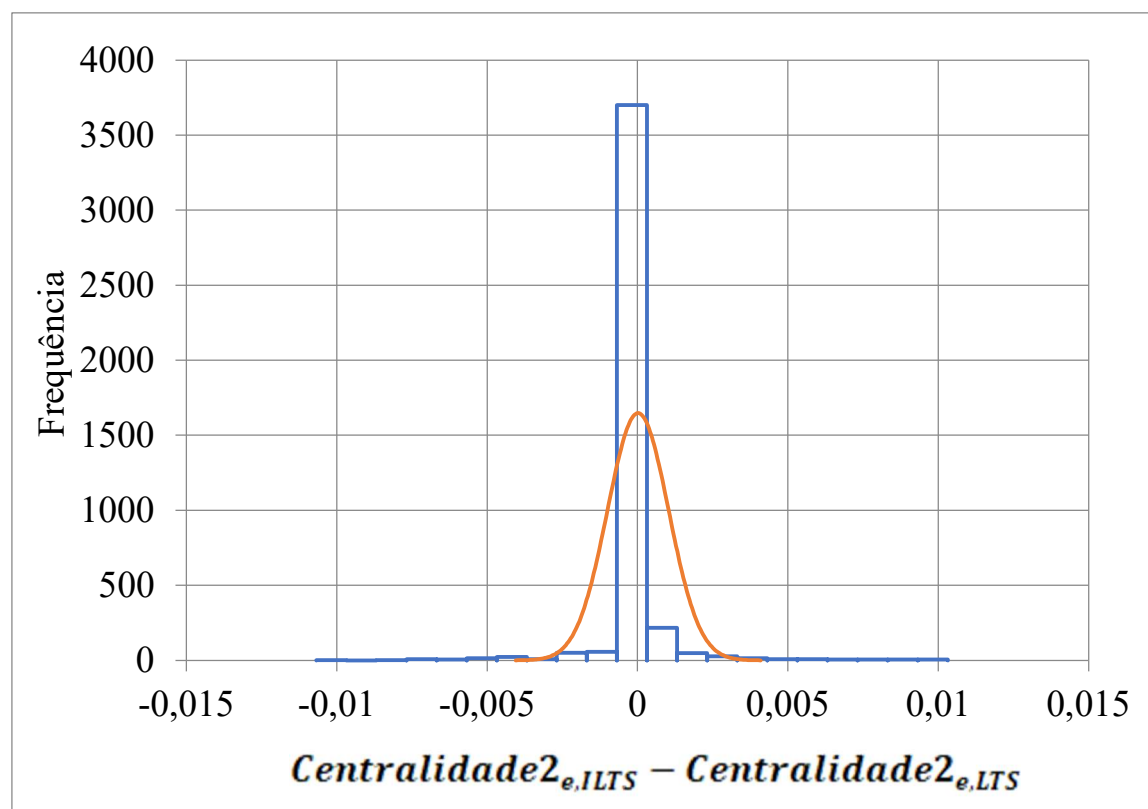
Fonte: O Autor (2022).

Figura D.4: Histograma para $(Centralidade2_{e,ILTS} - Centralidade2_{e,LTS})$ em Bocaina-SP.

Fonte: O Autor (2022).

Figura D.5: Histograma para $(Centralidade2_{e,ILTS} - Centralidade2_{e,LTS})$ em Bariri-SP.

Fonte: O Autor (2022).

Figura D.6: Histograma para $(Centralidade2_{e,ILTS} - Centralidade2_{e,LTS})$ em Ibitinga-SP.

Fonte: O Autor (2022).