



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Civil

Fernanda Beckhauser Mallon

**ELABORAÇÃO DE UM MODELO EXPLICATIVO DO VOLUME DE TRÁFEGO DE
PEDESTRES: ESTUDO DE CASO EM SÃO BENTO DO SUL**

17 de dezembro de 2020

Fernanda Beckhauser Mallon

**ELABORAÇÃO DE UM MODELO EXPLICATIVO DO VOLUME DE TRÁFEGO DE
PEDESTRES: ESTUDO DE CASO EM SÃO BENTO DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pela acadêmica Fernanda Beckhauser Mallon à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil.

Professor orientador: Alexandre Hering Coelho, Dr.

17 de dezembro de 2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Mallon, Fernanda Beckhauser

Elaboração de um modelo explicativo do volume de tráfego de pedestres : estudo de caso em São Bento do Sul / Fernanda Beckhauser Mallon ; orientador, Alexandre Hering Coelho, 2020.

132 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Pedestres. 3. Modelo de Regressão Linear Múltipla. 4. Geoprocessamento. 5. Planejamento Urbano. I. Coelho, Alexandre Hering. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Fernanda Beckhauser Mallon

**ELABORAÇÃO DE UM MODELO EXPLICATIVO DO VOLUME DE TRÁFEGO DE
PEDESTRES: ESTUDO DE CASO EM SÃO BENTO DO SUL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

Florianópolis, 17 de dezembro de 2020.

Prof. Luciane Rohde, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca examinadora:

Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.
Orientador

Prof. Lenise Grando Goldner, PhD.
Membro

Victor Marques Caldeira, Me.
Membro

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela diversidade vivenciada, pelo crescimento profissional e pessoal, pelas oportunidades oferecidas e por proporcionar minha formação.

Ao 23º Batalhão da Polícia Militar de São Bento do Sul pela permissão de acesso aos vídeos do Programa Bem-Te-Vi que permitiram a contagem de tráfego do trabalho.

À Prefeitura de São Bento do Sul, pela manutenção e permissão de uso do banco de dados georreferenciados sobre equipamentos urbanos.

Ao professor Alexandre, pela orientação atenciosa e criteriosa, e cujo método de trabalho admiro, e me serve de inspiração.

Ao LabTrans, em especial ao Rodolfo e ao Victor, que me deram a oportunidade de atuar na área de mobilidade urbana e transporte de passageiros e que me guiaram durante toda a minha formação nessa área. Seus ensinamentos e acolhimento possibilitaram a realização deste trabalho.

À minha família pelo amor, cuidado e estrutura que me permitiram ser a pessoa que sou hoje.

À minha mãe Annelize cuja integridade, carinho incondicional e conversas sinceras deixam eternas saudades e me dão forças para ser alguém melhor a cada dia.

Ao meu pai Fernando, pelos infinitos aprendizados, pelo amor incondicional e por todo o apoio na construção desse trabalho.

À minha irmã Luiza, meu porto seguro e ponto de referência, por todos os aprendizados, risadas, desabafos, conselhos, carinho e apoio emocional.

À minha madrinha Gabrielle, que sempre ofereceu o mais puro amor, atenção e cuidado que eu poderia imaginar.

Aos meus amigos Kaísa, Diogo, Leonardo, Gustavo e Victor por todos os rolês e videoconferências em que pude me distrair e pela amizade construída ao longo desses anos.

Ao meu parceiro de vida Henrique pelo carinho, compreensão e auxílio ao longo da construção desse trabalho, ombros pra chorar e bobeiras pra sorrir.

RESUMO

A compreensão sobre os fatores que influenciam os volumes de tráfego de pedestres possibilita o planejamento de infraestruturas que atendam aos critérios da população em suas viagens a pé. Assim, incentivam a priorização dos não-motorizados, conforme preconiza a Lei nº 12.587/2012. Contudo, ainda há muito a ser feito pelas prefeituras brasileiras neste sentido. A quantidade de dados e estudos relativos ao transporte pedonal são, muitas vezes, insuficientes para a elaboração de ferramentas que buscam compreender o comportamento de pedestres. Este trabalho visa elaborar um modelo explicativo do volume de tráfego de pedestres na região central de São Bento do Sul, um município de porte médio. Foi utilizado o método de regressão linear múltipla para relacionar o volume de tráfego de pedestres na hora de pico com características socioeconômicas dos habitantes e do ambiente construído da área de estudo. A área de estudo é composta pelo bairro Centro, onde os segmentos de calçadas entre duas interseções são considerados como unidade de análise. O volume de tráfego de pedestres nestes segmentos foi auferido em contagem volumétrica por meio de filmagens. As características socioeconômicas e do ambiente construído foram levantadas em documentos da administração pública, em dados georreferenciados e em campo. Os dados foram processados para obtenção das variáveis relativas aos segmentos utilizando linguagem de programação. As variáveis que compõem o modelo explicativo foram selecionadas de acordo com a análise estatística dos resultados do método “todas as regressões possíveis”. O modelo resultante apresenta alto coeficiente de determinação (R^2) e é composto pelas variáveis: quantidade de domicílios, soma da área construída de edificações de uso misto e quantidade de edificações de uso comercial que interceptam a área circular com raio de dez metros a partir dos segmentos analisados, a porcentagem de extensão de equipamentos de sombra e abrigo e a largura útil das calçadas, em metros. O procedimento desenvolvido requer poucos recursos, e pode ser replicado tanto na academia quanto no setor público, de forma a ampliar a quantidade de estudos sobre o comportamento de pedestres e a destacar a importância da manutenção de informações sobre o transporte pedonal dos municípios e deste modo de transporte, como um todo.

Palavras-chave: Planejamento Urbano, Pedestres, Sintaxe Espacial, Caminhabilidade, Modelo de Regressão Linear Múltipla, Geoprocessamento.

ABSTRACT

By understanding the factors that influence pedestrian traffic volumes, it is possible to plan infrastructures that meet the population's criteria when traveling on foot. Thus, they encourage the prioritization of non-motorized vehicles, as recommended by Law n°. 12.587/2012. However, there is still much to be done by Brazilian city halls in this regard. The amount of data and studies related to pedestrian transport is often insufficient to develop tools that seek to understand pedestrian behavior. This work aims to elaborate an explanatory model of the volume of pedestrian traffic in the central region of São Bento do Sul, a medium-sized city. The multiple linear regression method was used to relate the volume of pedestrian traffic during peak hours with the socioeconomic characteristics of the inhabitants and the built environment of the study area. The study area consists of the Centro neighborhood, where the sidewalk segments between two intersections are considered as the unit of analysis. The volume of pedestrian traffic in these segments was measured by volumetric counting through filming. The socioeconomic characteristics and the built environment were raised in public administration documents, in georeferenced data and in the field. The data were processed to obtain the variables related to the segments using programming language. The variables that make up the explanatory model were selected according to the statistical analysis of the results of the "all possible regressions" method. The resulting model has a high coefficient of determination (R^2) and is composed of the variables: number of households, sum of the built area of mixed-use buildings and the number of buildings for commercial use that intercept the circular area with a ten-meter radius from the analyzed segments, the percentage of extension of shade and shelter equipment and the useful width of the sidewalks, in meters. The developed procedure requires few resources, and can be replicated both in the academy and in the public sector, in order to expand the amount of studies on pedestrian behavior and to highlight the importance of maintaining information on pedestrian transport in municipalities and of this mode of transport as a whole.

Key-words: Urban Planning, Pedestrian, Spatial Syntax, Walkability, Multiple Linear Regression Model, Geoprocessing.

Lista de Figuras

1	Linhas de regressão real e estimada (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011)	32
2	Método do trabalho	42
3	Fluxograma do método de elaboração do modelo de regressão linear múltipla	52
4	Localização de São Bento do Sul	54
5	Residentes por setor censitário	56
6	Densidade demográfica por setor censitário	56
7	Evolução da frota de São Bento do Sul	57
8	Zonas do bairro Centro	61
9	Localização dos segmentos	63
10	Representação fotográfica dos segmentos analisados	64
11	Quantidade de residentes nos setores censitários do bairro Centro	66
12	Densidade populacional nos setores censitários do bairro Centro	67
13	Renda mensal média por residente nos setores censitários do bairro Centro	67
14	Dados de uso do solo disponibilizados pela prefeitura de São Bento do Sul	70
15	Localização das câmeras	71
16	Campo de visão das câmeras ao vivo da empresa WBT	72
17	Campo de visão das câmeras do programa BTV	72
18	Visão das câmeras de transmissão ao vivo da WBT	73
19	Visão da câmera 1 para os segmentos 14, 17 e 19	74
20	Volume horário por posto de contagem	76
21	Volume horário de pico nos segmentos	77
22	Residentes nos segmentos	83
23	Renda por residente nos segmentos	83
24	Edificações atualizadas de acordo com nova categorização do uso de solo	84
25	Integração dos segmentos	85
26	Inteligibilidade dos segmentos	85
27	Notas atribuídas à pavimentação dos segmentos	86
28	Notas atribuídas às larguras dos segmentos	87
29	Notas atribuídas às travessias que partem dos segmentos	87

30	Notas atribuídas à sombra e abrigo nos segmentos	88
31	Notas atribuídas às tipologias das ruas	88
32	Declividade longitudinal dos segmentos	89
33	Trabalho despendido para percorrer os segmentos	89
34	Conectividade angular dos segmentos	90
35	Conectividade dos segmentos	90
36	Escolha dos segmentos	91
37	Gráficos de resíduos das variáveis independentes	96

Lista de Tabelas

1	Variáveis socioeconômicas (NEVES, 2019)	11
2	Resumo das variáveis relativas à densidade (NEVES, 2019) e (CAMPOS, 2005)	14
3	Resumo das variáveis relativas à diversidade (NEVES, 2019)	14
4	Variáveis de disponibilidade de destinos (NEVES, 2019)	15
5	Resumo das variáveis relativas ao <i>design</i> (NEVES, 2019)	18
6	Resumo das variáveis relativas aos fatores de influência local (KLARQVIST, 1993), (TURNER, 2007), (CAMPOS, 2005), (ITDP, 2018) e (NEVES, 2019)	23
7	Critério de pontuação da pavimentação das calçadas (ITDP, 2018)	23
8	Critério de pontuação da largura das calçadas (ITDP, 2018)	23
9	Critério de pontuação da tipologia das ruas (ITDP, 2018)	24
10	Critério de pontuação das travessias que partem dos segmentos das calçadas (ITDP, 2018)	24
11	Critério de pontuação da sombra e abrigo disponível nas calçadas (ITDP, 2018)	24
12	Índices urbanísticos e usos em cada zona	62
13	Localização dos segmentos	63
14	Duração dos ciclos de rotação das câmeras do programa BTV	73
15	Volume horário médio e por posto de contagem	75
16	Descrição das variáveis	78
17	Influência individual dos fatores influentes	92
18	Dez modelos de regressão linear múltipla com maior R ² ajustado	95
19	Resultados estatísticos gerais do modelo explicativo	95
20	Resumo dos resultados estatísticos específicos do modelo explicativo	95
21	Influência individual dos fatores influentes	116

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
1.2	Limitações do trabalho	3
2	Revisão bibliográfica	4
2.1	O pedestre em áreas urbanas	4
2.1.1	As políticas públicas para pedestres no Brasil	4
2.1.2	O comportamento dos pedestres	6
2.2	A influência do ambiente construído no movimento de pedestres	8
2.2.1	Variáveis socioeconômicas	10
2.2.2	Fatores de influência global	12
2.2.3	Fatores de influência local	18
2.2.4	Morfologia arquitetônica	25
2.3	Volume de tráfego de pedestres	25
2.3.1	Contagens volumétricas de pedestres por meio de filmagens	27
2.4	Análise de regressão linear múltipla	30
2.4.1	Modelagem	30
2.4.2	Análise estatística	34
2.4.3	Verificação de erros e validação do modelo	37
2.5	Trabalhos relacionados	38
3	Método	42
3.1	Levantamento de dados de tráfego de pedestres	43
3.2	Levantamento de dados das variáveis possivelmente influentes no movimento de pedestres	44
3.2.1	Variáveis socioeconômicas	44
3.2.2	Fatores de influência global	44

3.2.3	Fatores de influência local	46
3.3	Processamento e tratamento dos dados	47
3.3.1	Variáveis socioeconômicas	47
3.3.2	Fatores de influência global	48
3.3.3	Fatores de influência local	50
3.3.4	Normalização das variáveis	51
3.4	Elaboração do modelo de regressão múltipla	52
3.4.1	Escolha das variáveis	52
3.4.2	Análise estatística	53
4	Área de estudo	54
4.1	São Bento do Sul	54
4.2	Perfil socioeconômico são-bentense	55
4.3	A política urbana	58
4.4	A infraestrutura para pedestres	62
4.5	Fontes de dados adicionais	68
4.5.1	Dados de uso do solo	69
4.5.2	Dados de tráfego	70
5	Resultados obtidos	75
5.1	Contagens de tráfego	75
5.2	Fatores de influência	78
5.2.1	Variáveis socioeconômicas	82
5.2.2	Fatores de influência global	84
5.2.3	Fatores de influência local	86
5.3	Regressão linear múltipla	92
6	Considerações finais	97
6.1	Recomendações para trabalhos futuros	99
	Referências	101
A	Script para processamento dos dados socioeconômicos	103

B	Script para processamento dos dados de uso do solo	105
C	Script para atribuição das notas das calçadas	107
D	Script para obtenção das elevações dos nós da malha viária	111
E	Script para cálculo, análise estatística e seleção dos melhores modelos de RLM entre todos os modelos possíveis	112
F	Tabela de resultados das regressões lineares simples com todas as variáveis	116

1 Introdução

A situação da mobilidade nos grandes centros urbanos brasileiros, suscitada pelo modelo de desenvolvimento urbano orientado pelo uso de automóveis, tem se tornado cada dia mais alarmante, com seus crescentes congestionamentos, tempos de viagem e impactos na saúde e qualidade de vida dos cidadãos.

A Lei nº 12.587, de 3 de Janeiro de 2012, institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, a qual é orientada pelas diretrizes de integração entre diferentes modos e serviços de transporte e a priorização dos modos coletivos e não-motorizados.

Contudo, anos após sua aprovação, Alves (2014), Vasconcellos (2017) e Fajardo (2017) apontam que a prioridade de investimento público no modo individual motorizado praticamente não sofreu alterações e as mudanças são mais observadas no discurso do que na concepção e implantação de infraestruturas que permitam efetivamente a aplicação destas diretrizes.

A cultura de priorização dos modos individuais motorizados tem como efeito colateral a falta de investimento financeiro e técnico para os modos não-motorizados. Assim, são menos frequentes os estudos acerca destes modos e, conseqüentemente, é menos frequente a disponibilidade de informações sobre a infraestrutura e a demanda dos modos ativos e sobre o comportamentos de seus usuários.

Também, a falta de dados sobre a infraestrutura de calçadas como uma rede, sobre a população e o ambiente construído, principalmente nos municípios de médio e pequeno porte, dificulta, entre outros, a elaboração de modelos explicativos da demanda de pedestres, uma das ferramentas que buscam compreender o fenômeno do comportamento de pedestres.

Assim, os estudos que buscam compreender os fatores explicativos da demanda de pedestres utilizam diversos métodos de processamento, e também diversas fontes de dados, de forma a obter as variáveis necessárias para a análise. São usadas para este propósito fontes secundárias municipais, fontes secundárias de acesso público e levantamentos em campo.

Nessas fontes, os pesquisadores buscam levantar informações que podem auxiliar na compreensão acerca dos motivos pelos quais os pedestres realizam viagens, por meio da adaptação de conceitos da influência do uso do solo no comportamento dos usuários de modos motorizados, e/ou da compreensão social do fenômeno, conforme abordado pela Teoria da Lógica Social do Espaço, ou Teoria da Sintaxe Espacial. Ainda, procuram levantar informações que podem auxiliar na compreen-

são acerca das razões pelas quais os pedestres percorrem determinada rota em detrimento de outras, por meio das chamadas Medidas de Desempenho, ou Índices de Caminhabilidade, que buscam avaliar a adequabilidade do desempenho da infraestrutura das calçadas perante seus usuários.

Contudo, a falta de informações cruciais cujo levantamento é dispendioso, como dados do uso do solo, do tráfego e filmagens, podem forçar a simplificação dos estudos acadêmicos e técnicos e, conseqüentemente, sua relevância e confiabilidade. Ou ainda, pode inviabilizar os estudos pela insuficiência de recursos necessários para sua realização adequada.

No Brasil, grande parte destes estudos são realizados em municípios de grande porte, que possuem um maior banco de dados à disposição. Contudo, a falta de estudos nos municípios de médio e pequeno porte impede a análise das particularidades do comportamento dos pedestres nestes municípios, e conseqüente tratamento adequado a este modo de transporte.

Dessa forma, entende-se que a efetiva e democrática priorização dos modos não-motorizados, conforme preconizado pela Lei nº 12.587/2012, deve passar também pela compreensão do comportamento de pedestres em municípios de médio e pequeno porte, de forma a fomentar a concepção e implantação de projetos de mobilidade voltados às pessoas em todo o território brasileiro.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar como os fatores relacionados ao movimento de pedestres indicados pela bibliografia se relacionam estatisticamente com o volume de tráfego de pedestres na área urbana de um município de porte médio utilizado como área de estudo.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são os seguintes:

- a) contribuir para o entendimento do fenômeno do movimento de pedestres em áreas urbanas;
- b) considerar as limitações do ambiente construído instituídas pela legislação municipal, e a caracterização socioeconômica da área de estudo para análise do resultado do modelo, de modo a compreender as particularidades do fenômeno na área de estudo;

- c) identificar dificuldades relacionadas à obtenção de dados explicativos (variáveis independentes) e dados de demanda de pedestres (variável dependente);
- d) identificar procedimentos necessários para o processamento de dados obtidos visando uma adequada organização;
- e) aplicar conhecimentos de estatística de modo a encontrar a combinação de variáveis que compõe o melhor modelo explicativo de volume de tráfego de pedestres.

1.2 Limitações do trabalho

Este trabalho possui limitações que devem ser consideradas em sua análise. São elas:

- a) é usado modelo linear para representar um fenômeno que pode ser considerado complexo;
- b) a quantidade de postos e a duração das contagens disponíveis são inferiores ao que seria desejado para a elaboração de um modelo com mais alto grau de confiança;
- c) apesar de ter sido realizada verificação de robustez do modelo por meio de procedimentos estatísticos, não é realizada uma validação dos seus resultados.

2 Revisão bibliográfica

Esta seção contextualiza a situação dos pedestres no Brasil, assim como seus padrões de comportamento e respectivos fatores influentes. São apresentados os procedimentos de levantamento das variáveis relativas aos fatores influentes e ao volume de tráfego de pedestres e, também, os conceitos e procedimentos relacionados à elaboração de modelos de regressão linear múltipla, utilizados para análise da relação entre os dados. Por fim, são apresentados os procedimentos e resultados utilizados por trabalhos relacionados ao tema.

2.1 O pedestre em áreas urbanas

Esta seção relata o histórico das políticas públicas para pedestres no Brasil, de forma a contextualizar o cenário a que os pedestres estão submetidos. Em seguida, relata a compreensão acadêmica sobre os comportamentos típicos dos pedestres diante deste cenário.

2.1.1 As políticas públicas para pedestres no Brasil

A origem das calçadas brasileiras, segundo Yazigi (2000), se deu pela necessidade dos pedestres de se manterem seguros em seus deslocamentos nas vias irregulares, tortuosas e de uso compartilhado da época. Assim, os pedestres frequentemente andavam junto aos muros e paredes das edificações, aproveitando o piso de pequena largura, destinado a proteger as fundações das edificações de águas pluviais, e os beirais que avançavam sobre este piso.

Assim, a calçada surge como uma extensão das edificações lindeiras às vias, e é tratada desta forma até hoje pelo poder público, que atribui ao proprietário do lote a responsabilidade de construção e manutenção das calçadas. Segundo Vasconcellos (2017), esta decisão tem como consequência a negação da importância do caminhar pelo poder público, uma vez que direciona a engenharia viária a se desenvolver com atenção exclusiva à pista de rolamento dos veículos, e as prefeituras a se preocuparem com o mapeamento das vias para veículos e não das calçadas. Este processo, aliado à precariedade de fiscalização no âmbito municipal, resulta em redes de infraestrutura para pedestres de baixa qualidade, descontínuas, desconfortáveis e perigosas.

Paralelo a este processo, MCidades (2006) relata o processo de urbanização acelerada ocorrido no Brasil que, sobretudo nas regiões metropolitanas, significou um padrão de urbanização de expansão horizontal, em um processo contínuo de crescimento periférico, descentralização e conur-

bação. Este foi impulsionado pelo modelo de planejamento urbano e pelas políticas de financiamento e produção de habitação e infraestrutura de circulação e saneamento da época, uma vez que a disponibilidade de créditos subsidiados permitiu à classe média das grandes cidades constituir novos bairros e centralidades, gerando, também, o esvaziamento repentino dos centros tradicionais.

MCidades (2006) destaca ainda que os resultados deste processo de urbanização geram fortes impactos para a mobilidade urbana, pois o aumento das distâncias de viagem aumentam os custos dos sistemas de transporte e, muitas vezes, inviabilizam o uso de modos de transportes ativos, como o caminhar e a bicicleta. E, apesar da percepção mais evidente dos impactos nas regiões metropolitanas, até mesmo pequenas e médias cidades sofrem impactos ligados à circulação motorizada, causados pela reprodução de modelos insustentáveis, ambiental e socioeconomicamente, adotados nas grandes cidades.

A partir dos anos 2000, foi intensificada a discussão sobre a qualidade da vida nas cidades, quando andar a pé e usar a bicicleta passaram a fazer parte da agenda de políticas públicas de mobilidade urbana. Os anos de luta pela reforma urbana resultaram, em 2001, na formulação do Estatuto da Cidade e, em 2003, na criação do Ministério das Cidades. Em 2012, foi instituída a Política Nacional de Mobilidade Urbana, com os seguintes princípios:

- i. acessibilidade universal;
- ii. desenvolvimento sustentável das cidades, nas dimensões socioeconômicas e ambientais;
- iii. equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo;
- iv. eficiência, eficácia e efetividade na prestação dos serviços de transporte urbano;
- v. gestão democrática e controle social do planejamento e avaliação da Política Nacional de Mobilidade Urbana;
- vi. segurança nos deslocamentos das pessoas;
- vii. justa distribuição dos benefícios e ônus decorrentes do uso dos diferentes modos e serviços;
- viii. equidade no uso do espaço público de circulação, vias e logradouros; e
- ix. eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana.

Alves (2014), Vasconcellos (2017) e Fajardo (2017) consideram que houve evolução conceitual, com a criação de mecanismos e de políticas que abrem novos caminhos para mudar as condições de vida nos centros urbanos brasileiros. Contudo, apontam a falta de resultados práticos, com a persistência de sinais de reafirmação da cidade como fruto de uma sociedade industrial urbana, amparada na construção civil como meio para a criação de riquezas e empregos, retroalimentando, assim, o processo de ruptura e dispersão do tecido urbano. Dessa forma, de acordo com Ghidini (2011), a cidade vai se desumanizando pela perda de vida da vizinhança e a rua se torna cada vez mais perigosa.

2.1.2 O comportamento dos pedestres

Dado o contexto em que os pedestres estão submetidos em suas viagens, o estudo do comportamento destes se vislumbra como uma das alternativas para o retorno das pessoas ao centro da discussão da mobilidade urbana e para devolver a vitalidade às cidades.

Segundo Malatesta (2017), a produção de uma realidade que leva em conta a escala humana em seu significado individual e social deve ter como princípio a valorização do ato de caminhar. Este é intrínseco à vivência humana, o modo de transporte mais antigo que existe, de acordo com Daros (2000), que declara “somos pedestres, estamos passageiros e condutores”. E ainda, nas palavras de Andrade e Linke (2017):

“Caminhar é a forma mais democrática de se locomover. A liberdade de movimento é inerente ao pedestre e seu caminhar. O pedestre executa sua coreografia diária se movendo com fluidez e, com isso, propicia vitalidade às cidades, tornando os espaços mais democráticos. No caminhar cotidiano, o pedestre se apropria do espaço construído e tem a percepção ampliada para os detalhes da paisagem.”

De acordo com Zampieri (2012), cada pessoa tem necessidades específicas, sejam elas crianças, adultos ou idosos; mulheres ou homens; com ou sem limitações de locomoção. Estas necessidades levam as pessoas a empregarem determinado meio de transporte e de se comportarem de determinada forma.

Zacharias (2001) descreve que, nas três décadas antecedentes ao estudo, houve a construção de diversos empreendimentos urbanos de “espaço-aberto”, um tipo de via onde os pedestres tem

a prioridade de movimento sobre todos os outros modos. Diversas observações sobre estes empreendimentos apontam para algumas características do comportamento de pedestres e, também, para o conceito de que os padrões de comportamento espacial são, pelo menos em algum nível, previsíveis e manipuláveis.

Assim, Zacharias (2001) discorre sobre o comportamento de pedestres, afirmando que seu movimento deve estar contido em determinado espaço na maior parte dos ambientes, as calçadas. Ainda, ao longo deste espaço disponível para caminhada, a distribuição de pedestres é desigual, tanto nos trajetos realizados, quanto nas infraestruturas utilizadas ao longo destes trajetos.

Zacharias (2001) descreve que a duração da viagem e respectivo gasto de energia são fatores ainda mais importantes para a distribuição de pedestres do que para a distribuição de veículos em seus espaços designados. Para o sucesso da inserção de novos segmentos na rede de calçadas, por exemplo, pode ser importante que os segmentos planejados ocasionem uma redução das distâncias de viagens em trajetos com alta demanda de pedestres. Contudo, apesar de ser uma característica dominante dos movimentos observáveis em uma cidade, a minimização dos trajetos pode não ser adotada por pedestres em todas as circunstâncias.

Ainda, Zacharias (2001) percebe que o pedestre prefere pequenas mudanças de direção à mudanças maiores. Assim como Hillier e Iida (2005) afirmam que os humanos navegam nas cidades levando em consideração o desvio angular e procuram os caminhos com os menores desvios. Essa observação aponta para a conclusão de que os pedestres interpretam as possibilidades que a interseção oferece numa escala macroscópica.

Os pontos ou estações de transporte público são considerados por Zacharias (2001) como geradores de tráfego em suas áreas circundantes. Assim, o autor identifica a ausência destes equipamentos como um dos principais motivos para a dificuldade de apropriação do espaço pelas pessoas, uma vez que sua ausência isola o espaço para pedestres e impede sua integração com o modo de transporte público coletivo.

Algumas qualidades do ambiente são vistas por Zacharias (2001) como influentes diretamente no comportamento de pedestres. O conforto físico em relação às condições climáticas, e as condições de iluminação pública das calçadas podem ter efeitos significativos no padrão de deslocamento de pedestres. A iluminação pública tem uma grande influência na percepção de segurança dos pedestres, principalmente para grupos vulneráveis. Para pessoas idosas e com limitações de

locomoção, a acessibilidade das infraestruturas representa o maior desafio para seu uso frequente e extensivo.

Mesmo considerando que as imagens, associações e experiências anteriores contribuam para a decisão de passagem por determinado local, Zacharias (2001) afirma que este local deve estar situado dentro de um ciclo de atividades e lugares. Nesse sentido, as viagens a lazer ou a compras assumem características que são, em parte, consequência de como estão situados em ciclos de atividades individuais. Ainda, descreve que a percepção de passagem do tempo, e de qualidades de interesse no ambiente são altamente associadas com os locais e objetivos de viagem.

2.2 A influência do ambiente construído no movimento de pedestres

O acúmulo dos estudos com variedade de técnicas de pesquisa e de contextos sociais e urbanos sobre o comportamento de pedestres e, sobretudo, sobre a influência do ambiente construído no volume de tráfego de pedestres, permite a identificação de diversas características que podem apresentar relação com os padrões de volume de tráfego de pedestre destes ambientes. Estas são agrupadas por diferentes autores de diferentes formas, as quais são apresentadas nesta seção.

A maior parte dos estudos analisa a relação entre o movimento de pedestres e as características descritas pelas filosofias de planejamento urbano (novo urbanismo, desenvolvimento orientado ao transporte coletivo, e o planejamento urbano tradicional) como influentes na demanda de viagens.

Nas pesquisas de Cervero e Kockelman (1997), essas características foram agrupadas de acordo com diferentes fatores de influência, nomeados com palavras começando com D. Os originais 3Ds, cunhados por Cervero e Kockelman (1997), são densidade, diversidade e *design*, seguido posteriormente por acessibilidade aos destinos (*destiny availability*) e distância ao transporte coletivo (*distance to transit*). O gerenciamento da demanda (*demand management*), incluindo oferta de estacionamento e custo de viagem, são o sexto D, inclusos em alguns estudos e, apesar de não fazerem parte do ambiente construído, os dados demográficos são o sétimo D.

Para Andrade e Linke (2017), o conceito de caminhabilidade é usado para definir atributos das características que influenciam a predisposição das pessoas caminharem, como a acessibilidade, o conforto ambiental, a atratividade de usos e a permeabilidade do tecido urbano.

Nesse sentido, ITDP (2018) apresenta o Índice de Caminhabilidade (iCam) para mensurar a qualidade das calçadas com base em quinze indicadores agrupados em seis categorias, sendo elas:

1. Calçada: relacionada à infraestrutura, considerando dimensões, superfície e manutenção do piso adequadas ao pedestre. Suas variáveis representativas são:
 - (a) largura;
 - (b) pavimentação.

2. Mobilidade: relacionada à disponibilidade e acesso ao transporte público, assim como a permeabilidade da malha urbana. Suas variáveis representativas são:
 - (a) dimensão das quadras;
 - (b) distância a pé ao transporte.

3. Atração: relacionada a características de uso do solo e aos atributos do espaço construído que podem influenciar a intensidade do uso das rotas ou a distribuição de pedestres ao longo do dia ou semana. Suas variáveis representativas são:
 - (a) fachadas fisicamente permeáveis;
 - (b) fachadas visualmente ativas;
 - (c) uso público diurno e noturno;
 - (d) usos mistos.

4. Segurança viária: relacionada a segurança de pedestres em relação ao tráfego de veículos motorizados, assim como a adequação de travessias a requisitos de conforto e acessibilidade universal. Suas variáveis representativas são:
 - (a) tipologia da rua;
 - (b) travessias.

5. Segurança pública: relacionada a características que podem ter influência no número de ocorrências e na sensação de segurança transmitida aos pedestres. Suas variáveis representativas são:
 - (a) iluminação;
 - (b) fluxo de pedestres diurno e noturno.

6. Ambiente: relacionada a aspectos ambientais que possam afetar as condições de caminhabilidade. Suas variáveis representativas são:

- (a) sombra e abrigo;
- (b) poluição sonora;
- (c) coleta de lixo e limpeza.

De acordo com Vargas e Netto (2017), no entanto, os componentes da caminhabilidade são mais corretamente organizados em diferentes dimensões articuladas entre si: a dimensão dos fatores de influência global e a dos fatores de influência local. Os originais “3Ds”, densidade, diversidade e *design*, compõem a dimensão dos fatores globais. Estes fatores são considerados por Vargas e Netto (2017) como aqueles que produzem demanda, ou seja, são motivo para realização do deslocamento. Já a dimensão dos fatores locais é composta pelas características do ambiente de circulação do pedestre, mais especificamente dos elementos que “revestem” a forma construída, como o pavimento, a vegetação, os dispositivos de *traffic calming*, a iluminação, o paisagismo, a sinalização, a arte pública e o mobiliário urbano. Esta dimensão é vista por Vargas e Netto (2017) como aquela que acolhe e distribui a demanda pelas ruas, ou seja, que diz respeito ao trajeto escolhido pelos pedestres até seu destino final.

Vargas e Netto (2017) afirmam ainda que, entre estas duas dimensões, existe outra, que articula as características globais com as locais e, portanto, consolida a caminhabilidade: a morfologia arquitetônica, mais especificamente a permeabilidade visual presente na interface dos edifícios com o espaço público, tema amplamente discutido por Jacobs (1961).

2.2.1 Variáveis socioeconômicas

O comportamento dos pedestres é influenciado por diversos fatores, entre eles, características que dizem respeito aos próprios pedestres. Estas, apesar de não fazerem parte do ambiente construído e, portanto, não podendo ser alteradas, devem ser levadas em consideração, de forma a aprofundar o conhecimento sobre o comportamento de determinados grupos sociais. Segundo Neves (2019), essas variáveis são geralmente características socioeconômicas dos indivíduos, como idade, gênero, renda e escolaridade.

No estudo de Neves (2019), essas variáveis foram classificadas em dez categorias, conforme consta na Tabela 1. Nesta classificação, os dados de idade e gênero estão entre o tipo de variável

mais presente nos estudos, mas renda, emprego e escolaridade também representam um número significativo. É citada, ainda, a presença ou não de crianças nos domicílios como fator de influência, provavelmente com base no fato de que as restrições impostas pelas características dessas podem influenciar os ocupantes deste domicílio a utilizar determinados modos de transporte, em detrimento de outros.

Tabela 1: Variáveis socioeconômicas (NEVES, 2019)

Tipo	Especificações
Idade	Idade em anos
	Faixas de idade
Gênero	Masculino ou Feminino
Disponibilidade de Veículo	Quantidade de veículos
	Nenhum veículo ou pelo menos um
	Faixas de quantidade de veículos
	Veículos/residentes
Renda	Renda mensal ou anual familiar
	Faixas de renda
Emprego	Empregado ou não
	Número de empregados na residência
	Local de trabalho (casa ou não)
Crianças na Família	Quantidade de crianças na residência
	Nenhuma criança ou pelo menos uma
Aspectos da Residência	Tamanho da residência
	Tipo de residência
	Tempo de moradia naquela residência
	Número de moradores
Escolaridade	Classes de escolaridade
	Classes de anos de educação
Estado Civil	Solteiro, casado ou outro
Atitudes e percepções	Percepção do estado de saúde
	Percepção sobre diferentes modos de transporte
Outros	Etnia
	Status socioeconômico
	Fumante ou não fumante
	Comprimento da viagem

As variáveis citadas na Tabela 1 dependem de entrevistas para serem levantadas. Quando se deseja investigar as preferências das pessoas que moram em determinada área, as entrevistas devem ser realizadas em domicílio e, quando se deseja investigar as preferências das pessoas que trafegam por determinada área, estas devem ser realizadas nas vias que a compõem. Esta distinção

permite a compatibilização entre aos dados de demanda com o perfil socioeconômico dos pedestres que efetivamente realizam as escolhas associadas a esta.

Os dados resultantes dos censos demográficos realizados pelo IBGE são considerados uma fonte de dados secundários sobre as características socioeconômicas do Brasil e são disponibilizados publicamente. Os dados socioeconômicos levantados no Censo são relativos às características da população e dos domicílios, dados pelos resultados do Universo sobre sexo, idade, situação do domicílio, emigração internacional, ocorrência de óbitos, cor ou raça, registro de nascimento, alfabetização e rendimento das pessoas de 10 anos ou mais de idade além de informações sobre composição e características dos domicílios.

2.2.2 Fatores de influência global

Os fatores de influência global são representados, principalmente, por características do uso do solo e da configuração espacial urbana. As variáveis relacionadas à densidade, diversidade de usos e disponibilidade de destinos estão atreladas ao uso do solo, e as medidas topológicas e angulares da malha segundo a Teoria da Sintaxe Espacial estão atreladas à configuração espacial.

O conceito de uso do solo utilizado é aquele definido por Neves (2019) como o termo adotado em tópicos referentes às atividades desenvolvidas no meio urbano. Assim, a consideração da relação intrínseca entre transporte e uso do solo é, de acordo com Seabra, Taco e Dominguez (2013), uma das bases teóricas consensuais que se confirma ao longo de décadas, não sendo possível tratar do conceito de mobilidade urbana sem considerar tal relação.

Devido à capacidade do uso do solo em atrair viagens, por se caracterizarem como destino destas, Zampieri (2012) denomina o uso do solo como atratores, e os define como aqueles que formam a parte privada do sistema urbano. Partindo dessa premissa teórica, Zampieri (2012) aponta que o potencial de carregamento de cada atrator deve agir diretamente no passeio em que se encontrar a(s) porta(s) de entrada, afirmando que a relação entre os espaços públicos e privados se dá em suas vinculações. A definição de Zampieri (2012), contudo, não abrange os espaços públicos, como parques, terminais de transporte, associações de bairro, que também são considerados atratores.

Os dados sobre uso do solo podem ter como base o Cadastro Territorial e Predial, de Conservação e Limpeza (TPCL) que, comumente são mantidos pelas prefeituras para cobrança do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) sobre a propriedade imobiliária. Este cadastro

pode, ou não, ser georreferenciado, mas deve ter, no mínimo, uma representação espacial capaz de ser localizada no território urbano, identificação da atividade desenvolvida e da área construída. As informações podem ainda estar agregadas por quadra fiscal, setor censitário ou outra unidade espacial. Nestes casos, deve ser garantida a compatibilização da unidade espacial considerada entre as variáveis de uso do solo e a variável dependente.

As atividades desenvolvidas nas edificações podem ser classificadas de diferentes formas. ITDP (2018) utiliza uma abordagem simplificada, que considera apenas quatro categorias de uso. São elas:

- 1) Residencial;
- 2) Comercial e serviços;
- 3) Equipamentos públicos, institucionais ou estações de transporte;
- 4) Industrial e logístico;

À estas categorias, podem ser adicionadas outras complementares, de acordo com o tipo de atividades permitidas na área de estudo.

A densidade é a medida de determinada variável do uso do solo em relação à unidade de área. Segundo Vargas e Netto (2017), funciona como potencial geradora de movimento, e atua associada à diversidade, que é o grau de mistura de usos do solo em determinada área.

A densidade de atividades pode ser representada em termos da população, dos empregos, das habitações, da área construída ou, ainda, da combinação de duas variáveis. A Tabela 2 apresenta um compilado de variáveis dentre as apresentadas por Neves (2019) e Campos (2005).

De acordo com Neves (2019), a diversidade de usos é conceitualmente uma medida de relatividade entre diferentes tipos de uso do solo.

A análise da distribuição destes usos no espaço pode ser mensurada de diversas formas, conforme apresentado na Tabela 3. A entropia, no entanto, é considerada como a medida mais utilizada para este fim. A entropia assume valores entre 0 e 1, sendo que o primeiro representa a existência de apenas um uso na área de estudo e o segundo, o perfeito balanceamento entre os diferentes usos considerados. A Equação 1 apresenta o cálculo da entropia.

$$E = -\frac{\sum_j^n (p_j \cdot \ln(p_j))}{\ln(n)} \quad (1)$$

Onde,

E = entropia;

p_j = proporção do uso j ;

n = número total de usos considerados.

Tabela 2: Resumo das variáveis relativas à densidade (NEVES, 2019) e (CAMPOS, 2005)

Tipo	Especificações
População	Pessoas por unidade de área
Domicílios/habitações	Domicílios ou habitações por unidade de área
Empregos	Empregos por unidade de área
Atividade	Empregos + População por unidade de área
	Empregos + População + Estudantes por unidade de área
Comércio	Quantidade de estabelecimentos comerciais por unidade de área
	Razão entre a área total de estabelecimentos comerciais pela área total construída
	Estabelecimentos comerciais de alimentação por unidade de área
Outros	Altura média dos edifícios
	Proporção de área ocupada por construções
	Área construída pela área do terreno
	Área construída pela área total

Tabela 3: Resumo das variáveis relativas à diversidade (NEVES, 2019)

Tipo	Especificações
Entropia	Índice de Entropia
Balanço entre empregos/comércio e população	Empregos por residente Estabelecimentos comerciais por residente
Outros	Coeficiente de Gini entre setores censitários
	Presença de edifícios de uso misto
	Área construída com uso misto

A disponibilidade de destinos diz respeito à presença de localizações de interesse próximas ao ponto de origem da viagem. De certa forma, é possível afirmar que a disponibilidade é consequência da combinação da densidade, que aumenta o uso do solo, e da diversidade, que aproxima diferentes usos. A Tabela 4 apresenta as variáveis relacionadas à disponibilidade de destinos, conforme apresentado por Neves (2019).

Tabela 4: Variáveis de disponibilidade de destinos (NEVES, 2019)

Tipo	Especificações
Comércio e Serviços	Distância para o centro comercial da cidade (CBD)
	Densidade de comércio e serviços
	Distância para o supermercado mais próximo
	Quantidade de destinos (lojas, supermercados, entre outros)
	Ponderação sobre a presença de destinos próximos
Empregos	Total de empregos na área
	Acessibilidade relativa a empregos

Já o *design* se refere à configuração das vias, considerando sua conectividade, acessibilidade e, de forma geral, sua capacidade de conectar origens e destinos, de acordo com Vargas e Netto (2017).

Para Cervero e Kockelman (1997), os equipamentos para pedestres e ciclistas, assim como características de *design* local, contemplando vegetação, largura das calçadas, declividade longitudinal e vagas de estacionamento na via também fazem parte da categoria *design*. Contudo, estas características influenciam a escolha da rotas, ou seja, possuem influência local sobre o movimento de pedestres e, por isso, são abordadas na seção 2.2.3.

Para análise da relação entre a configuração das vias e o comportamento das pessoas que ocupam e se deslocam nestas vias, a Teoria da Sintaxe Espacial (SE) é vislumbrada como uma ferramenta valiosa para a geração de medidas de desenho, uma vez que, de acordo com Zampieri (2012), estuda a correspondência entre a estrutura espacial e a lógica social do espaço e, assim, pretende entender a lógica que emerge da própria configuração urbana.

A Teoria da Sintaxe Espacial, também conhecida como Teoria da Lógica Social do Espaço, é citada pela primeira vez em 1972, em um artigo de autoria de Hillier, Leaman, Stansall e Bedford, onde os pesquisadores questionam os motivos e a forma com que a sociedade produz diferentes ordenamentos espaciais, argumentando que a configuração espacial pode ser um fator de influência no comportamento de deslocamento humano. É somente em 1984, no entanto, que Hillier e Hanson lançam o livro “*The social logic of space*”, que apresenta pela primeira vez todo o arcabouço teórico da SE.

De acordo com Pereira et al. (2011), a SE entende que a configuração urbana de uma cidade seria constituída pelo seu sistema viário entendido a partir das conexões entre suas vias tendo em vista uma interpretação relacional ou sistêmica, isto é, sob uma perspectiva topológica.

A parcela dos deslocamentos que é determinada pela configuração espacial das vias é denominada por Hillier B.; Penn (1993) como “Movimento Natural”. Essa consideração não parte do pressuposto de que a maior parte dos movimentos é sempre causada pela configuração, mas sim de que a configuração espacial é tanto um fator influente no movimento quanto na distribuição das atividades no espaço urbano e, portanto, é um fator primário de influência.

Segundo Zampieri (2012), as pesquisas feitas sobre o movimento determinaram que, nos casos em que ele é causado pelas relações de proximidade da malha, essa relação é explicada, pelo menos em parte, pelo mapa axial, definido por Penn (2014) como a representação da menor quantidade de linhas retas que cruzam o maior número possível de espaços convexos. Assim, com o objetivo de quantificar as propriedades configuracionais de uma malha, Penn (2014) apresenta as quatro principais medidas topológicas que podem explicar o comportamento dos pedestres:

1. **Conectividade:** mensura a quantidade de vizinhos imediatos que são diretamente conectados a um espaço.
2. **Integração:** descreve a profundidade média de um espaço em relação a todos os outros espaços do sistema.
3. **Valor de controle:** mensura o grau em que o espaço controla o acesso a seus vizinhos imediatos, levando em consideração a quantidade de conexões alternativas que cada um desses vizinhos possui.
4. **Escolha global:** é uma medida dinâmica local do fluxo ao longo de um espaço. Um espaço possui valores altos de escolha quando muitos dos menores trajetos, que conectam todos os espaços do sistema entre si, passam por ele.

Ainda, Penn (2014) afirma que outras medidas sintáticas podem ser calculadas com base na correlação entre as medidas supracitadas. A inteligibilidade, por exemplo, é um coeficiente de correlação entre a conectividade e integração global que auxilia na identificação da facilidade de alguém em determinada posição (local) compreender a estrutura da malha (global).

Para Turner (2007), no entanto, essa abordagem não é plenamente capaz de explicar o movimento de passagem, ou seja, a escolha das vias que compõem a rota para se chegar ao destino

final. Nesse sentido, propõe uma nova abordagem baseada no uso de linhas centrais de vias e na análise dos ângulos entre segmentos, em contraposição à análise topológica até então empregada na SE.

A análise angular, segundo Penn (2014), considera os segmentos de vias como os componentes elementares das malhas viárias, definidos como a linha que conecta dois pontos de interseção (esquinas). Enquanto a análise axial avalia as características topológicas da malha, a análise angular avalia as características geométricas entre os segmentos, dadas pelo ângulo cumulativo entre cada par de vias que se interceptam. E, a partir das novas implicações dos estudos angulares, Penn (2001) e Penn (2014) consideram as medidas de integração como um fator de influência global do movimento, e a escolha como um fator de influência local.

Penn (2014) apresenta a definição de algumas medidas sintáticas angulares que podem ser calculadas:

1. **Conectividade angular:** é considerada como a soma cumulativa dos ângulos de rotação entre os segmentos angulares. Os ângulos são normalizados de forma que o ângulo de 180° corresponda a 2, e o ângulo de 45° , a 0,5.
2. **Integração:** a integração é definida da mesma forma para as análises axiais e angulares, mas sua capacidade de influência global dos movimentos é destacada na análise angular.
3. **Escolha:** mensura, de forma geral, o potencial de cada segmento em ser selecionado por pedestres como parte do trajeto de menor soma cumulativa de ângulos até seu destino, ou seja, seu potencial de influência local.

Tanto as medidas sintáticas axiais quanto angulares são obtidas por meio de processamento da malha viária em *softwares* específicos como Axman, Dephtmap, Mindwalk, Ajax, Syntax 2D, entre outros. O DepthmapX, um dos *softwares* utilizados para este propósito, é desenvolvido por Alasdair Turner (2004) e seus colaboradores. Este é um software livre e multi-plataformas que realiza análises espaciais em redes de diferentes escalas, e tem como objetivo produzir mapas de elementos espaciais, e realizar análises dos grafos resultantes da rede, das quais são derivadas as medidas sintáticas. Os dados sobre a malha viária podem ser obtidos tanto da administração municipal quanto de bases de dados públicas, como o *OpenStreetMap*.

A Tabela 5 apresenta algumas variáveis de *design* consideradas por Neves (2019).

Tabela 5: Resumo das variáveis relativas ao *design* (NEVES, 2019)

Tipo	Especificações
Interseções	Densidade ou quantidade de interseções com 3 ou mais aproximações
	Quantidade de interseções com 4 aproximações
	Densidade ou quantidade de becos sem saída
	Quantidade de interseções por número de vias
Vias	Densidade de vias
	Extensão total das vias
Sintaxe Espacial/ Análise de Rede	Integração
	Inteligibilidade
Outros	Tamanho médio dos lotes
	Tamanho médio das quadras

2.2.3 Fatores de influência local

Os fatores de influência local são compostos por características da infraestrutura urbana que podem determinar as vias que compõem as rotas utilizadas para cumprimento do objetivo de uma viagem, ou seja, que podem influenciar o padrão do movimento de passagem.

De acordo com Zampieri (2012), essas características são denominadas de medidas de desempenho (MDs), as quais são analisadas na engenharia de transportes por meio dos níveis de serviço do passeio. Ainda, Penn (2001) e Penn (2014) consideram a medida sintática angular de escolha como um fator de influência local.

As MDs que compõem o nível de serviço podem ser divididas, segundo Zampieri (2012), em dois grupos: as quantitativas e as qualitativas. Campos (2005) define medidas quantitativas como aquelas que podem ser mensuradas objetivamente através de forma numérica (percentuais, intervalos, ordinal, escalar). O segundo grupo é composto por características relativas à percepção do pedestre quanto à infraestrutura destinada a ele, as quais são representadas textualmente e podem ser levantadas por meio de entrevistas.

Alguns fatores de influência local quantitativos apontados por estudos do comportamento de pedestres são apresentados na Tabela 6.

Zampieri (2012) utilizou como variáveis relativas aos fatores de influência local, ou MDs, qualitativas, a percepção dos pedestres sobre atratividade, conforto, manutenção, segurança e segurança pública, descritas com os seus atributos a seguir:

1. Atratividade

- (a) Características visuais do espaço: Agradabilidade do espaço aos pedestres e preocupação com os aspectos estéticos.
- (b) Características sociais do espaço: Existência de espaços destinados à vivência e socialização dos pedestres.
- (c) Características visuais do entorno: Aparência e função do entorno e sua influência sobre os pedestres.

2. Conforto

- (a) Características da faixa de circulação de pedestres: A largura efetiva da calçada, relativa às dimensões da faixa livre remanescente ao subtrair o espaço destinado ao mobiliário urbano, entrada das edificações, bem como os espaços destinados à sua utilização.
- (b) Características de acesso a portadores de necessidades físico-motoras: Adequação do passeio no sentido de conter rampas de acesso e ausência de desníveis. Não são tratadas neste ponto as qualificações dos passeios a outros grupos de portadores de necessidades especiais (ABNT, 2004), como por exemplo, os visuais, que necessitariam de piso tátil, pois, infelizmente, esse tipo de pavimento é pouco utilizado e, muitas vezes, de modo errado, sem seguir as normas técnicas.
- (c) Características da disposição do mobiliário urbano: Interferência do mobiliário público e sua área de utilização na circulação dos pedestres.

3. Manutenção

- (a) Características da adequação do tipo de pavimentação à via: Descreve o quão apropriado é o tipo do piso para uma via de pedestres.
- (b) Características da condição física da pavimentação: Analisa o estado da conformação do piso e sua relação com a necessidade imposta pelo tráfego de pedestres.
- (c) Características da limpeza da via: Mede o grau de sujeira e entulhos acumulados na calçada.

4. Segurança

- (a) Possibilidade de conflito entre pedestres e veículos: Caracteriza como se dá a relação entre pedestres e veículos, principalmente os automotores, avaliando a possibilidade de interferência na calçada.
- (b) Características das passagens para outras calçadas por faixa de segurança: Avalia se as passagens para outras calçadas são providas de faixas de segurança.
- (c) Características das passagens para outras calçadas com auxílio de semáforo: Analisa se as passagens para outras calçadas possuem o auxílio de semáforos.

5. Segurança pública

- (a) Policiamento no local: Identifica a existência de policiamento na calçada e a frequência com que ele é realizado.
- (b) Copresença local: Avalia a presença de pessoas em uma área, o que caracteriza a sensação de segurança ao pedestre.
- (c) Visibilidade entre os diferentes pontos do passeio: Descreve a vista desobstruída entre os pontos da calçada. Quanto mais livre for a linha de visão do pedestre, maior é sua sensação de segurança.

Os trabalhos de Campos (2005) e ITDP (2018) têm o objetivo de definir um índice de mobilidade, ou nível de serviço, nos quais foram propostos indicadores representativos das MDs e, ainda, apresentados procedimentos de levantamento e mensuração destes indicadores sem a necessidade de realização de pesquisas com os pedestres. Os procedimentos de levantamento dos indicadores relativos à caminhabilidade são:

1. Segurança Viária

- (a) Tipologia da rua
 - Identificar visualmente a tipologia da rua (exclusiva pedestre, compartilhada ou segregada) na qual se insere o segmento de calçada.
 - Identificar a velocidade regulamentada expressa em sinalizações verticais ou horizontais.
- (b) Extensão de vias com traffic calming

- Calcular através de uma razão entre a extensão de vias com implantação de medidas de traffic calming e a extensão total de vias na região.

(c) Acidentes com pedestres/ciclistas por 1000 habitantes

- Levantar em fontes secundárias a média mensal de acidentes envolvendo pedestres ou ciclistas com veículos para cada mil habitantes.

2. Travessias

- Identificar previamente os pontos de travessia de pedestres a partir do segmento de calçada analisado, e classificar em:
 - Travessia semaforizada (0).
 - Travessia não semaforizada (1).
 - Pedestre não atravessa veículos motorizados (2).
- Para as travessias semaforizadas e não semaforizadas, realizar o levantamento dos requisitos de qualidade descritos abaixo e somar as pontuações correspondentes à cada item. É considerado que as travessias cumprem os requisitos de qualidade se a soma das pontuações for maior ou igual a 85.
 - (+30) Há faixa de travessia de pedestres visível ou trata-se de via com baixo volume de veículos motorizados (existe somente uma faixa de circulação de veículos ou trata-se de via compartilhada com os diferentes modos de transporte).
 - (+25) Há rampas com inclinação apropriada às cadeiras de rodas no acesso à travessia de pedestres ou a travessia é no nível da calçada.
 - (+15) Há piso tátil de alerta e direcional no acesso à travessia de pedestres.
 - (+30) Para travessias semaforizadas, a duração da fase “verde” para pedestres é superior a 10 segundos e a duração da fase “vermelha” para pedestres (tempo de ciclo) é inferior a 60 segundos. Para travessias não-semaforizadas, há áreas de espera de pedestres (ilhas de refúgio ou canteiros centrais) para travessias com distância superior a 2 faixas de circulação de automóveis consecutivas.

3. Calçadas

(a) Pavimentação

- Para cada segmento de calçada, identificar se toda a extensão analisada apresenta pavimentação e classificar em:
 - Sim, totalmente pavimentado (1)
 - Não, sem pavimentação em determinados segmentos (0)
- Quantificar todos os buracos com mais de 15 centímetros de comprimento em uma de suas dimensões e a quantidade de desníveis superiores a 1,5 centímetro, excetuando-se escadarias.

(b) Largura

- Para cada segmento de calçada, identificar visualmente a tipologia da rua na qual se insere o segmento de calçada.
- Para as vias com calçadas segregadas e circulação de veículos motorizados identificar o segmento mais estreito ao longo da extensão do segmento de calçada. No segmento identificado, reconhecer a largura útil para a circulação de pedestres e medir a seção que apresenta a maior largura disponível aos pedestres.

(c) Parcela de vias com calçada

- Calcular o percentual de vias com calçadas em ambos os lados com largura superior a 1,20m em relação à extensão total de vias.

4. Ambiente

(a) Sombra e abrigo

- Para cada segmento de calçada, identificar e quantificar a extensão horizontal de todos os elementos qualificáveis que promovam sombra ou abrigo

Em ITDP (2018), o levantamento destas informações é prosseguido pela atribuição de notas às características das calçadas, de forma a quantificar indicadores qualitativos, e pela agregação dessas notas para cada categoria e, em seguida, para cada segmento, sendo a nota geral dos segmentos de calçadas denominada índice de caminhabilidade (iCam). Os critérios de pontuação e suas interpretações para os indicadores de pavimentação, largura mínima útil das calçadas, tipologia das vias, travessia e sombra são apresentados nas Tabelas 7, 8, 9, 10 e 11.

Tabela 6: Resumo das variáveis relativas aos fatores de influência local (KLARQVIST, 1993), (TURNER, 2007), (CAMPOS, 2005), (ITDP, 2018) e (NEVES, 2019)

Tipo	Especificações
Equipamentos para pedestres	Parcela de vias com calçada
	Parcela de interseções com faixas para pedestres
	Adequabilidade média das travessias para pedestres
	Largura mínima útil das calçadas
	Adequabilidade da pavimentação das calçadas
	Extensão e parcela de equipamentos de sombra e abrigo
Segurança	Acidentes com pedestres por 1000 hab
	Tipologia da rua
	Copresença de pessoas no espaço
Amenidades	Número de árvores por metro de via
	Quantidade de semáforos para pedestres
	Parcela de extensão de vias com <i>traffic calming</i>
Sintaxe Espacial/ Análise de Rede	Conectividade
	Conectividade angular
	Escolha
	Escolha angular

Tabela 7: Critério de pontuação da pavimentação das calçadas (ITDP, 2018)

Nota	Interpretação	Critério Pavimentação	Critério Buracos
0	Insuficiente	Inexistência de pavimentação em algum segmento	Mais de 10 buracos ou desníveis a cada 100 m de extensão
1	Suficiente	Todo o segmento é pavimentado	10 buracos/desníveis ou menos a cada 100 m de extensão
2	Bom	Todo o segmento é pavimentado	5 buracos/desníveis ou menos a cada 100 m de extensão
3	Ótimo	Todo o segmento é pavimentado	Não há buracos ou desníveis

Tabela 8: Critério de pontuação da largura das calçadas (ITDP, 2018)

Nota	Interpretação	Critérios
0	Insuficiente	Largura mínima menor que 1,5 m
1	Suficiente	Largura mínima maior ou igual a 1,5 m e não comporta o fluxo de pedestres, ou é uma via compartilhada e não comporta o fluxo de pedestres
2	Bom	Largura mínima maior ou igual a 1,5 m e comporta o fluxo de pedestres, ou é uma via compartilhada e comporta o fluxo de pedestres
3	Ótimo	Largura mínima maior ou igual a 2 m e comporta o fluxo de pedestres ou trata-se de uma via exclusiva para pedestres (calçadão)

Tabela 9: Critério de pontuação da tipologia das ruas (ITDP, 2018)

Nota	Interpretação	Critério Tipo	Critério Velocidade
0	Insuficiente	Vias compartilhadas entre os modos de transporte	Maior que 30 km/h
		Vias com calçadas segregadas e circulação de veículos motorizados	Maior ou igual a 50 km/h
1	Suficiente	Vias compartilhadas entre os modos de transporte	Menor ou igual a 30 km/h
		Vias com calçadas segregadas e circulação de veículos motorizados	Menor ou igual a 50 km/h
2	Bom	Vias compartilhadas entre os modos de transporte	Menor ou igual a 20 km/h
		Vias com calçadas segregadas e circulação de veículos motorizados	Menor ou igual a 30 km/h
3	Ótimo	Vias exclusivas para pedestres (calçadões)	-

Tabela 10: Critério de pontuação das travessias que partem dos segmentos das calçadas (ITDP, 2018)

Nota	Interpretação	Critérios
0	Insuficiente	Menos de 50% das travessias a partir do segmento da calçada cumprem os requisitos de qualidade
1	Suficiente	50% ou mais das travessias a partir do segmento da calçada cumprem os requisitos de qualidade
2	Bom	75% ou mais das travessias a partir do segmento da calçada cumprem os requisitos de qualidade
3	Ótimo	100% das travessias a partir do segmento da calçada cumprem os requisitos de qualidade

Tabela 11: Critério de pontuação da sombra e abrigo disponível nas calçadas (ITDP, 2018)

Nota	Interpretação	Critérios
0	Insuficiente	Menos de 25% da extensão do segmento da calçada apresenta elementos adequados de sombra/abrigo
1	Suficiente	25% ou mais da extensão do segmento da calçada apresenta elementos adequados de sombra/abrigo
2	Bom	50% da extensão do segmento da calçada apresenta elementos adequados de sombra/abrigo
3	Ótimo	75% da extensão do segmento da calçada apresenta elementos adequados de sombra/abrigo

2.2.4 Morfologia arquitetônica

A interface entre a parte privada, as edificações, e a parte pública do sistema tem impactos sobre o sistema de carregamento de pedestres no espaço. Essa interface é denominada constituição por Zampieri (2012), e pode ser caracterizada por propriedades como a permeabilidade visual (vitrines, janelas) e física (portas, acessos).

Assim, a consideração desta categoria se dá principalmente pela forma de levantamento dos fatores de influência global relacionados ao uso do solo, abordados na seção 2.2.2, relacionando-os com os segmentos de calçadas por meio de suas constituições.

Ainda, podem ser utilizados os indicadores apresentados por ITDP (2018) como “fachadas fisicamente permeáveis” e “fachadas visualmente ativas”. A coleta do indicador “fachadas fisicamente permeáveis” é descrita por ITDP (2018) como a identificação e quantificação do número de entradas e acessos por face de quadra, desconsiderando entradas em edificações sem uso evidente. E a coleta do indicador “fachadas visualmente ativas” é descrita como a identificação e quantificação, para cada face de quadra, da extensão horizontal de todos os elementos considerados visualmente ativos entre o térreo e o primeiro andar, admitindo-se o uso de passos largos como referência métrica para o levantamento de campo.

2.3 Volume de tráfego de pedestres

O comportamento dos pedestres é multifacetado e é influenciado por diferentes critérios de decisão. O procedimento utilizado para observação do comportamento do pedestre, da mesma forma, varia a depender de qual decisão se deseja compreender.

As entrevistas domiciliares são realizadas, entre outros motivos, para obter as matrizes O/D de deslocamentos e qual é o modo de transporte utilizado. Segundo Greene-Roesel, Diogenes e Ragland (2007), as entrevistas são capazes de coletar características e preferências detalhadas dos pedestres e, por isso, são muito úteis para estudar o comportamento de grupos específicos. Contudo, caso as entrevistas não possuam perguntas que relacionem as atividades dos pedestres à infraestrutura utilizada, não são recomendadas para avaliação do comportamento local de fluxo dos pedestres. Ainda, de forma geral, não são recomendadas entrevistas para levantamento de pequenos deslocamentos a pé, uma vez que as pessoas nem sempre se recordam destes deslocamentos, o que pode resultar em quantidades subestimadas deste modo de transporte.

A coleta direta dos dados de volume de tráfego de pedestres permite o levantamento da atividade de todos os pedestres em determinado local, permitindo a relação entre o comportamento do usuário e os fatores de influência local. Contudo, não são capazes de relacionar os dados socioeconômicos dos usuários com seu comportamento.

Entre os métodos de coleta direta estão a medição automática, feita por meio de equipamentos especializados, e a medição manual, realizada por observadores em campo ou por meio de gravações de vídeo.

A medição automática, segundo Zampieri (2012), é o método com maior facilidade em se obter dados de grande vulto e confiabilidade, já que é automatizado. Contudo, segundo o autor, este método é pouco utilizado para a contagem de pedestres, devido ao seu elevado custo e ao fato de que a maior parte dos equipamentos específicos para contagem de pedestres ainda estão em fase de desenvolvimento e testes, tornando este tipo de medição inviável.

Os métodos de medição manual em campo variam quanto ao equipamento utilizado para contagem, contadores manuais ou papel e caneta, e também quanto ao procedimento de contagem empregado pelo observador. Segundo Zampieri (2012), a contagem em *gate* é realizada com o observador estacionário em determinado ponto, pré-selecionado, contando os pedestres que passam por uma linha imaginária definida em sua frente. Já a contagem em movimento é realizada, normalmente, por dois observadores que partem de cada uma das extremidades da calçada observada, contando apenas os pedestres que estiverem de frente para ele. Este último tem a vantagem de contabilizar, também, a atividade estacionária, ou seja, as pessoas que estão paradas no sistema, utilizando o espaço para realização de atividades além do deslocamento.

O método de contagem em que o deslocamento de pedestres na área de estudo é gravado em vídeo e depois é contabilizado manualmente pelo observador é denominado medição através de filmagens. De acordo com Zampieri (2012), a depender das fontes de dados disponíveis, podem ser desvantagens deste método a indisponibilidade de câmeras e o custo para implantação nessa situação, assim como a restrição de aplicação a pequenas áreas de intervenção. O método também oferece algumas vantagens:

- Todos os movimentos direcionais que ocorrem simultaneamente, por maiores que sejam, podem ser levantados por um só observador;
- Maior confiança nos levantamentos, pois se podem comprovar os dados;

- Trabalha-se com mais conforto, ao abrigo do tempo;
- Pode-se obter outros dados de interesse.

No Brasil, a bibliografia disponível aborda a contagem de modos não-motorizados com menor detalhamento do que a contagem para modos motorizados, tornando necessária a adaptação de certas características das contagens de tráfego. Para tanto, TRB (2014) e FHWA (2013) apresentam algumas diferenças importantes entre estas contagens, as quais se complementam. São elas:

- A escala das bases de dados existentes é menor para modos não-motorizados, pois a maior parte dos programas de coleta de dados existentes possui uma quantidade de postos de contagem inferior aos programas de coleta de dados para modos motorizados. Assim, podem não representar a área como um todo e desencadear conclusões enviesadas acerca dos dados. (FHWA, 2013)
- A dificuldade para detectar pedestres e bicicletas é maior do que para detectar modos motorizados, uma vez que são menores, tendem a andar em grupos pequenos e podem caminhar/-pedalar fora de suas respectivas infraestruturas. (FHWA, 2013)
- As contagens de curta duração são mais frequentes para modos não-motorizados, devido à dificuldade das ferramentas de contagem automatizadas em contabilizar estes modos. (FHWA, 2013)
- Os volumes de fluxo de pedestres e ciclistas são mais variáveis do que os volumes de fluxos de modos motorizados, uma vez que os primeiros são mais sensíveis às intempéries climáticas e, também, tem menor magnitude, o que contribui para maior variabilidade diária. (TRB, 2014)
- As viagens a pé e de bicicleta tendem a ser menores do que as viagens realizadas em automóveis. Sendo assim, são mais sensíveis ao uso do solo adjacente às rotas de viagem e, também, seus horários de pico podem não coincidir com os horários de picos auferidos para veículos motorizados. (TRB, 2014)

2.3.1 Contagens volumétricas de pedestres por meio de filmagens

Esta seção apresenta o conceito de contagem volumétrica, sua classificação e requisitos de localização dos postos e duração das contagens, assim como um resumo do procedimento.

A bibliografia oficial brasileira possui pouco material disponível sobre a padronização de procedimentos de coleta de dados de modos não-motorizados. DNIT (2006), por exemplo, aborda as contagens de pedestres como complementares ao estudo de tráfego de modos motorizados nos casos em que os movimentos dos pedestres pode contribuir para causar problemas de capacidade e segurança. Dessa forma, o procedimento de contagens de pedestres apresentado por DNIT (2006) não pode ser plenamente aplicado para um estudo que visa compreender o comportamento dos pedestres de forma desvinculada do tráfego de veículos motorizados.

Assim, os conceitos e procedimentos de contagem apresentados em DNIT (2006) foram generalizados para a realidade do transporte pedonal, resguardando as diferenças entre os modos conforme apresentado na seção 2.3.

Segundo DNIT (2006), as contagens volumétricas visam determinar a quantidade, o sentido e a composição do fluxo de movimentos que passam por um ou vários pontos selecionados do sistema viário, numa determinada unidade de tempo. São classificadas em:

- **Contagens Globais:** São aquelas em que é registrado o número de movimentos realizados em um trecho de via, independentemente de seu sentido. São empregadas para o cálculo de volumes diários, preparação de mapas de fluxo e determinação de tendências do movimento.
- **Contagens Direcionais:** São aquelas em que é registrado o número de movimentos por sentido do fluxo.
- **Contagens Classificatórias:** Nessas contagens são registrados os movimentos de acordo com as classificações dos usuários.

Para garantir a uniformidade do método de contagem, Petesch e Vorvick (2017) destaca a importância da definição clara dos pedestres que devem ser contabilizados, sugerindo como descrição de pedestres “cada pessoa a pé ou assistida, incluindo pessoas com andadores, skates, *segway*, cadeiras de roda, carrinhos de bebê, patinetes ou carregando uma bicicleta”.

Quanto à localização dos postos de contagem, DNIT (2006) afirma que os trechos entre interseções, e as próprias interseções constituem os dois locais básicos para realização das contagens, sendo que as contagens entre interseções visam identificar os fluxos de uma determinada via e as contagens em interseções, levantar fluxos das vias que se interceptam e dos seus ramos de ligação.

Quanto à duração das contagens, os postos podem ser permanentes, sazonais ou de cobertura. Os postos permanentes funcionam 24 horas por dia, durante os 365 dias do ano, enquanto os

postos sazonais, de acordo com DNIT (2006), são classificados em postos principais, e secundários, onde se realizam contagens complementares aos postos principais. Ainda segundo DNIT (2006), nos postos de cobertura a contagem tem curta duração, a qual pode variar entre algumas horas ou alguns dias a depender do grau de confiabilidade desejado.

Ainda segundo adaptação de DNIT (2006), a contagem deve abranger, no mínimo as horas de pico, pois é nestes momentos que a interseção ou o segmento está sob solicitação máxima. Caso não haja disponibilidade de informações sobre a hora de pico, deve ser realizada uma contagem preliminar para esse fim no horário aproximado da hora de pico, sendo suficiente a contagem de duas a quatro horas no seu entorno para sua caracterização.

Um resumo do processo de desenvolvimento de programas de coleta de dados permanentes e de curta duração para modos não-motorizados é descrito por FHWA (2013). As contagens permanentes são utilizadas para o desenvolvimento de fatores de ajuste, análise da variabilidade temporal do fluxo de tráfego e fornecem insumos para o gerenciamento de tráfego e sistemas de informação ao usuário. As contagens de curta duração podem ser de cobertura ou de necessidade especial. As contagens de cobertura são complementares às contagens permanentes, pois garantem a cobertura geográfica adequada da coleta de dados, e as contagens de necessidade especial são utilizadas para cumprir determinado objetivo de pesquisa, tal como a elaboração de um modelo explicativo do volume de tráfego de pedestres. Dado o contexto deste trabalho, são apresentados os itens referentes ao processo de desenvolvimento de programas de coleta de dados de curta duração:

- Revisão dos programas de contagem existentes, avaliando os locais de contagem e porque foram escolhidos, a disponibilidade e limitações dos equipamentos utilizados, e os dados existentes, identificando os padrões de fluxo de tráfego, o modo de processamento dos dados e um resumo das estatísticas obtidas.
- Desenvolvimento de um inventário com todos os locais e equipamentos de contagem disponíveis.
- Determinação dos padrões de tráfego a serem monitorados, definindo que tipos de infraestruturas serão monitoradas.
- Determinação do número apropriado de postos de contagem, que é usualmente baseado na disponibilidade financeira para tal.

- Seleção dos postos de contagem. Para contagens de curta duração, é recomendado focar nos locais em que os níveis de atividade e interesse profissional são os mais altos, de forma a prover uso mais eficiente dos recursos limitados para coleta de dados, como as calçadas adjacentes a parques, áreas centrais, *shopping centers*, locais com contagens existentes, e com altas taxas de colisão.
- Determinação do tipo de posto de contagem, entre contagens no meio do bloco e em interseções.
- Determinação da duração das contagens. As práticas mais usuais consideram duração de duas horas consecutivas em um único dia, e a Documentação Nacional de Bicicletas e Pedestres (NBPD, termo inglês para *National Bicycle and Pedestrian Documentation*) recomenda a duração de uma a três horas em dias sequenciais.

2.4 Análise de regressão linear múltipla

Esta seção apresenta os conceitos e procedimentos relacionados à modelagem do problema teórico, à análise estatística e à verificação de erros e validação dos resultados do modelo.

2.4.1 Modelagem

O estudo do comportamento do pedestre procura relacionar os fatores ditos influentes com dados de demanda e, de acordo com Zampieri (2012), a criação de modelos urbanos permite visualizar mais facilmente como alterações nesses atributos resultam na variação do volume de tráfego de pedestres.

Dada a complexidade do sistema urbano, Echenique (1976 apud Zampieri, 2012) define modelos urbanos como “uma representação simplificada e inteligível da realidade da cidade, vista como um sistema e explicada segundo uma ou mais teorias”. Nesse sentido, Cervero e Kockelman (1997) descrevem que o completo controle estatístico nunca é plenamente atingido, e quaisquer relações entre o movimento de pedestres e as características do ambiente são necessariamente associativas, e não causais.

Zampieri (2012) classifica as teorias que explicam parcialmente o comportamento dos pedestres em dois grandes grupos: os novos modelos e os modelos tradicionais. Os novos modelos tratam o movimento de pedestres por meio da teoria dos sistemas complexos, em que várias regras locais interagem ao mesmo tempo para criar padrões globais do sistema. Estes modelos tem

como objetivo o entendimento por uma abordagem *bottom-up*¹ do comportamento de movimento do pedestre por meio da simulação.

Nos modelos tradicionais, o objetivo é simplificar ao máximo o fenômeno estudado por meio da aplicação de métodos lineares, como a Análise de Regressão Linear (ARL). Para esse fim, podem ser utilizados modelos de nível de serviço, os quais avaliam as medidas de desempenho dos passeios e, assim, consideram o ambiente em que ocorre o deslocamento, tentando compreender como, quais e de que forma as variáveis do ambiente influenciam no movimento.

Segundo Fogliatto (2000), a ARL consiste na determinação de um modelo que estime eficientemente o efeito de uma ou mais variáveis independentes sobre uma ou mais variáveis dependentes. A aplicação da técnica de modelagem por regressão linear a um grupo de dados resulta na determinação de coeficientes lineares que ponderam o efeito de variáveis independentes sobre variáveis dependentes.

Os modelos com apenas uma variável independente são chamados de modelo de regressão linear simples e, segundo Hoffmann (2016), temos uma regressão linear múltipla quando admitimos que o valor da variável dependente é função linear de duas ou mais variáveis explicativas. A quantidade de variáveis dependentes denomina dois outros tipos de modelo de regressão, univariado, quando há apenas uma variáveis dependente, e multivariado, quando há duas ou mais variáveis dependentes.

Ortúzar e Willumsen (2011), ao considerar um experimento que consiste em observar valores que determinada variável $Y = Y_i$ assume para diferentes valores de outra variável X . Dado que o experimento não é determinístico, são observados diferentes valores de Y_i para o mesmo valor de X_i . Assim, os autores denominam a distribuição da probabilidade de Y_i para determinado valor de X_i de $f_i(Y|X)$. Sendo assim, de forma geral, são obtidas diferentes funções f_i para cada valor de X_i . Contudo, tal caso completamente geral é intratável e, para torná-lo mais fácil de ser controlado, certas hipóteses sobre a regularidade da população são requeridas. Os autores assumem que:

1. As distribuições de probabilidade $f_i(Y|X)$ possuem a mesma variância σ^2 para todos os valores de X .
2. As médias $\mu_i = E(Y_i)$ formam uma linha reta conhecida como a linha de regressão real, dadas pela Equação 2, onde os parâmetros a e b são estimados de acordo com dados da amostra do

¹Segundo Zampieri (2012), o planejamento *bottom-up* é aquele que emerge de baixo para cima, ou seja, do desejo da população, enquanto o planejamento *top-down* emerge de decisões administrativas, tomadas por políticos.

universo analisado.

$$E(Y_i) = a + bX_i \quad (2)$$

3. As variáveis aleatórias Y são estatisticamente independentes, ou seja, um maior valor de Y_1 não leva a um aumento em Y_2 .

Ortúzar e Willumsen (2011) descrevem o desvio de Y_i do seu valor esperado $E(Y_i)$ como o erro e_i de forma que o modelo possa ser escrito conforme a Equação 3.

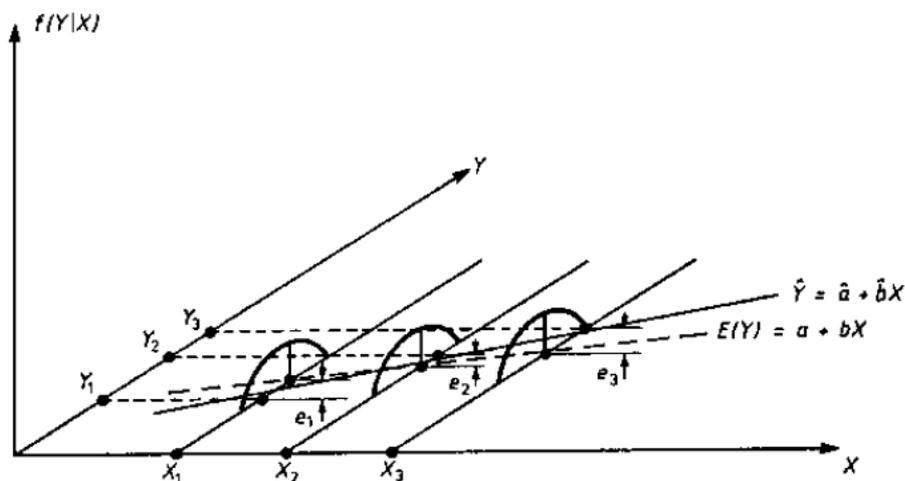
$$Y_i = a + bX_i + e_i \quad (3)$$

A Figura 1 é denominada por Ortúzar e Willumsen (2011) como o gráfico fundamental da regressão linear que apresenta a linha de regressão real (pontilhada), dada pela Equação 4, e a linha de regressão estimada, dada pela Equação 5. Os autores destacam que é impossível verificar se essas linhas se coincidem, pois a linha de regressão real não é conhecida, restando esperar que as estimativas dos parâmetros sejam próximas o suficiente dos valores-alvo.

$$E(Y) = a + bX_i + e_i \quad (4)$$

$$\hat{Y} = \hat{a} + \hat{b}X \quad (5)$$

Figura 1: Linhas de regressão real e estimada (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011)



Ortúzar e Willumsen (2011) ressaltam a diferença entre os erros e_i , os quais não são conhecidos pois pertencem à linha de regressão real, e as diferenças ϵ_i entre os valores observados Y_i e os valores estimados \hat{Y}_i . De acordo com os autores, a estimação por mínimos quadrados é o método de estimação de linha de regressão mais atrativo e resulta da minimização do $\sqrt{\epsilon_i}$.

Ortúzar e Willumsen (2011) define o modelo geral de regressão linear múltipla como o modelo de regressão linear simples com mais de uma variável independente, as quais passam a ter seus coeficientes representados pela letra grega θ , conforme apresenta a Equação 6.

$$\hat{Y}_i = \hat{\theta}_0 + \hat{\theta}_1 X_{1i} + \hat{\theta}_2 X_{2i} + \dots + \hat{\theta}_k X_{ki} + \epsilon_i, \quad (n = 1, 2, \dots, k) \quad (6)$$

As suposições exigidas para o modelo de regressão linear múltipla, além das estimativas dos parâmetros, são definidas por Gazola (2002), conforme segue:

1. as variáveis independentes são números reais sem perturbações aleatórias;
2. o número de observações, n , deve ser superior ao número de parâmetros, p , estimados;
3. os erros são variáveis aleatórias com as seguintes suposições:
 - (a) valor esperado zero;
 - (b) variância constante (homoscedasticidade);
 - (c) não correlacionados;
4. a distribuição dos erros é normal e, como os erros são não correlacionados, pode-se afirmar, sob a hipótese de normalidade, que estes são independentes;
5. não deve existir nenhuma relação exata entre as variáveis independentes.

De acordo com Li (2004), a normalização é uma ferramenta importante para evitar erros de arredondamento devido à grande diferença de magnitude entre os valores de diferentes variáveis independentes. Ainda, a normalização do modelo permite a comparação entre os diferentes coeficientes de regressão, uma vez que as diferentes magnitudes de valores entre as variáveis independentes leva a compreensão errônea de grau de influência das variáveis.

Segundo Li (2004), a normalização consiste na centralização e dimensionamento das variáveis. A centralização diz respeito à diferença entre cada observação e a média de todas as observações da variável, enquanto o dimensionamento se refere à expressão das observações centralizadas

em unidades de desvio padrão das observações da variável, resultando, assim, na transformação de todas as observações das variáveis independentes para valores dentro do intervalo entre -1 e +1.

2.4.2 Análise estatística

Esta seção tem como objetivo apresentar alguns dos conceitos e procedimentos estatísticos utilizados para análise da robustez de modelos de regressão linear simples e múltipla, sendo eles o R^2 , o R^2 ajustado, a estatística t de Student, a estatística F, e a análise gráfica dos resíduos.

Segundo Li (2004), o coeficiente de determinação múltipla, denotado por R^2 , mensura a redução proporcional na variação total de Y associada ao uso de determinado grupo de variáveis. Adicionar mais X variáveis ao modelo de regressão só pode aumentar o R^2 , e nunca reduzi-lo. Dessa forma, é sugerido o uso de uma medida modificada para ajustar o número de variáveis X no modelo. O coeficiente ajustado de determinação múltipla é denotado por R^2 ajustado e ajusta o R^2 por meio da divisão de cada soma de quadrados por seus respectivos graus de liberdade.

O teste de hipótese é, segundo Gazola (2002), uma regra cujo objetivo é decidir se uma hipótese sobre determinada característica da população é ou não apoiada pela evidência obtida de dados amostrais. Um dos testes de hipóteses necessários em uma análise de regressão é o teste de hipótese para a significância do modelo. Este teste é usado para estabelecer se existe ou não alguma relação entre a variável dependente e o conjunto de variáveis independentes. Devem ser testadas as significâncias de todos os parâmetros θ_k , a fim de verificar de que pelo menos um dos parâmetros é significativo, por meio do teste das hipóteses:

$$H_0 : \theta_k = 0 \quad (7)$$

$$H_1 : \theta_k \neq 0 \quad (8)$$

Assim, Gazola (2002) descreve que os testes são realizados em cada parâmetro por meio da estatística t de Student, onde o valor-t pode ser interpretado como a proximidade da média dos valores amostrais com a hipótese nula, ou seja, valores-t próximos a 0 significam que as médias amostrais são muito próximas à hipótese nula.

Nesse contexto, é preciso calcular a probabilidade dos valores-t serem próximos o suficiente da hipótese nula para não rejeitá-la. Essa probabilidade é mensurada pelo valor-p, ou seja, quanto menor for o valor-p, mais forte é a evidência de que o valor médio da amostra rejeita H_0 . Assim,

são considerados limites de significância para estes valores, definidos pelo pesquisador. Usualmente, valores-t dentro do intervalo $(-2, 2)$, e valores-p inferiores a 0,05 indicam a significância desta variável para a explicação da variável dependente.

Após a determinação da significância individual das variáveis independentes e consequente sugestão das variáveis a serem incluídas no modelo, Gazola (2002) considera importante examinar se a variável dependente pode ser explicada pelas variáveis sugeridas tão adequadamente quanto por todas as variáveis. Para isto, são testadas as hipóteses descritas pelas Equações 9 e 10, onde q representa os coeficientes não usados na equação.

$$H_0 : \theta_{q+1} = \theta_{q+2} = \dots = \theta_{p-1} = 0, \quad q < p \quad (9)$$

$$H_1 : \theta_k \neq 0, \text{ para algum } k = q + 1, \dots, p \quad (10)$$

A estatística F é usada neste teste para avaliação da variância entre as médias amostrais, e é dada pelo quociente entre a variação entre médias da amostra e a variação intrínseca às amostras. Assim, este teste verifica se a significância individual de uma variável independente não utilizada na equação é maior do que a significância do conjunto de variáveis, caso no qual a hipótese nula não é rejeitada. Da mesma forma que o teste t de Student, a estatística F pode ser interpretada por meio da probabilidade da estatística F do modelo avaliado ser próxima o suficiente da hipótese nula para não rejeitá-la, obedecendo aos mesmos limites de significância do valor-p, que deve ser inferior a 0,05.

A análise gráfica dos resíduos permite analisar a distribuição entre as diferenças entre o que é observado e o que é predito pela equação de regressão, ou seja, ϵ_j . Nesse sentido, Gazola (2002) define os resíduos como a quantidade que a equação de regressão não tem capacidade para explicar. Assim, caso o modelo esteja correto, os resíduos apresentarão os comportamentos caracterizados na seção 2.4.1 e, portanto, tenderão a confirmar as suposições do modelo.

Os procedimentos de análise estatística têm como um de seus objetivos a seleção dos modelos que melhor representam determinado fenômeno e, assim, auxiliam na seleção do melhor conjunto de variáveis independentes para serem incluídas no modelo. Quando uma equação de regressão é construída com o objetivo de predição e envolve muitas variáveis, são grandes as chances de que muitas delas contribuam pouco ou nada para precisão da predição.

Segundo Gazola (2002), nenhum dos muitos procedimentos de seleção de variáveis pode, comprovadamente, produzir o melhor conjunto de variáveis independentes. Isso porque o processo de seleção das variáveis possui julgamentos subjetivos e, portanto, não existe um conjunto ótimo de variáveis independentes. Dentre os procedimentos, são apresentados a seguir, os mais comumente usados:

1. **Todas as regressões possíveis:** este procedimento consiste em ajustar todas as possíveis equações de regressão. Após a obtenção de todas as regressões, deve-se utilizar os critérios para comparação dos modelos ajustados. A principal desvantagem do procedimento de procura de todas as regressões possíveis é a quantidade de esforço computacional necessária.
2. ***stepwise* (passo a passo):** foi desenvolvido para economizar esforços computacionais, quando comparado com a abordagem de todas as regressões possíveis, enquanto atinge um conjunto de variáveis independentes razoavelmente bom. Essencialmente, este método de pesquisa computa uma sequência de equações de regressão, adicionando ou deletando uma variável independente em cada passo. A rotina de regressão *stepwise* permite que uma variável independente, trazida para dentro do modelo em um estágio anterior, seja removida subsequentemente se ela não ajudar na conjunção com variáveis adicionadas nos últimos estágios. Esta rotina empregada, conduz a um teste para rastrear alguma variável independente que seja altamente correlacionada com variáveis independentes já incluídas no modelo.
3. **Seleção *forward*:** este procedimento de procura é uma versão simplificada da regressão *stepwise*, omitindo o teste, se uma variável uma vez que tenha entrado no modelo deva ser retirada. Este procedimento considera, inicialmente, um modelo simples usando a variável de maior coeficiente de correlação com a variável dependente. Uma variável por vez é incorporada até que não haja mais inclusão, e as variáveis selecionadas definem o modelo.
4. **Eliminação *backward*:** este procedimento de procura é oposto à seleção *forward*. Ele começa com o modelo contendo todas as variáveis independentes potenciais. O procedimento de eliminação *backward* requer mais computações que o método de seleção *forward*, já que ela começa com o maior modelo possível. Entretanto, ela tem uma vantagem de mostrar ao analista as implicações do modelo com muitas variáveis.

2.4.3 Verificação de erros e validação do modelo

Para que os modelos criados sejam considerados representativos do sistema que se deseja estudar e, portanto, que seus resultados possam gerar conclusões que contribuam para o entendimento do fenômeno, todas as etapas de sua criação devem ser verificadas e o resultado final, ou seja, o modelo deve ser validado.

FHWA (2004) apresenta um guia para aplicação de microssimulação de tráfego em *softwares* de modelagem, no qual é abordada a verificação de erros do modelo de tráfego. Para o caso de modelos de tráfego sem microssimulação, a abordagem de FHWA (2004) pode ser adaptada de forma a se limitar a verificação dos elementos em comum para os modelos. Assim, de acordo com FHWA (2004), a verificação de erros envolve diversas revisões da malha viária e demanda codificadas, assim como dos parâmetros do modelo e, para modelos sem microssimulação, é compreendida por duas etapas básicas: verificação dos erros de *software* e verificação de erros dos dados de entrada ao código. E, no caso de modelos que utilizam códigos próprios de processamento, deve ser realizada a verificação de erros no código.

Segundo FHWA (2004), a verificação de erros dos *softwares* é realizada por meio da leitura dos documentos do *software* e de *websites* do programa e/ou desenvolvedor a fim de estar ciente quanto à últimas falhas do sistema e garantir que está sendo utilizada a última versão do *software*.

Quanto à verificação dos erros dos dados de entrada, FHWA (2004) apresenta uma lista para verificação de erros na malha viária e na demanda de veículos motorizados, das quais apenas a lista relativa aos erros da malha viária pode ser considerada. É ela:

1. Checar a conectividade básica da malha (todas as conexões estão presentes?).
2. Checar a geometria dos segmentos (comprimento, número de faixas, velocidade de fluxo livre, tipo de via).
3. Checar os controles de interseção (tipo e dados de controle).
4. Checar restrições de movimento nas interseções e nos segmentos.

Dados os objetivos do trabalho, a geometria dos segmentos pode abranger as características das calçadas e não apenas dos espaços designados aos veículos motorizados, assim como podem ser acrescentados outros itens relativos às características do ambiente construído.

De acordo com FHWA (2004), caso seja escrito código próprio para processamento do modelo, a verificação do código pode ser realizada por meio do processamento de problemas simples, com a consideração de amostras pequenas o suficiente para serem calculadas manualmente e terem seu resultado comparado aos do modelo.

Quanto à validação do modelo, Ortúzar e Willumsen (2011) descreve que, para os estudos de elaboração de modelos de transporte, existe uma tendência a interpretar a validação exclusivamente em termos de comparação entre o comportamento observado e as previsões do ano-base, ou seja, por meio da análise dos erros ϵ_j . Contudo, de acordo com os autores, a validação requer a comparação entre as previsões do modelo com informação não utilizadas no processo de estimação do modelo. Esse teste torna o processo de validação mais rígido e requer mais informações e, portanto, mais recursos.

Para os dados de demanda, FHWA (2004) destaca ainda mais a necessidade de serem considerados dados advindos da mesma fonte, não utilizados para composição do modelo para a validação de seus valores. A razão para a utilização destes dados internos ao levantamento é que cada método de contagem de tráfego possui erros e características únicas que podem confundir a tarefa de comparação de valores. Para efeitos de validação da demanda, o método de contagem por meio de gravações de vídeo facilita este processo pois permite a checagem completa dos resultados.

2.5 Trabalhos relacionados

Esta seção apresenta alguns trabalhos cujos objetivos são semelhantes aos do presente estudo, como forma de indicar possíveis caminhos a serem seguidos e os principais problemas encontrados, assim como forma de comparação entre os resultados alcançados.

Quanto à escolha da variável de análise (variável dependente), de acordo com Neves (2019), os trabalhos da área de transportes que analisam o comportamento sob a ótica global de movimentação no sistema utilizam principalmente a escolha discreta entre diferentes modos ou a realização ou não de viagens a pé como variável de análise. Já os trabalhos que buscam realizar uma análise local do comportamento dos pedestres utiliza o volume de fluxo de pedestres, em movimento e/ou estacionários, em segmentos de via como variável dependente.

O trabalho de Hillier B.; Penn (1993) busca evidências para suporte da teoria de que a configuração urbana é um dos principais fatores de influência global do movimento e que as edificações “atratoras” atuam como multiplicadores do potencial atrator da configuração urbana,

cujos resultados são denominados “movimento natural”. Em um dos estudos de caso apresentados neste trabalho, foram realizados trabalhos de campo para a contagem e o mapeamento dos pedestres em diversos horários do dia e a taxa de movimento de pedestres foi normalizada pela extensão das vias. A análise de Regressão Linear Simples entre o número de pedestres e a Integração Global de cada uma das seções de ruas observadas indicou um coeficiente de determinação maior quando foi considerado o logaritmo natural das taxas de movimento de pedestres.

Segundo Hillier B.; Penn (1993), diversos estudos de SE têm encontrado que a presença de elementos de atração de movimento dos pedestres transformaria a relação linear básica que existe entre movimento e integração numa relação logarítmica e, portanto, que a Integração Global possui maior poder de predição do movimento quando são consideradas as taxas logarítmicas de movimento. Segundo os autores, isso ocorreria porque os elementos de atração, como edificações comerciais, atuariam como multiplicadores logarítmicos num padrão de movimentos definidos pela configuração.

O trabalho de Cervero e Kockelman (1997) testa a proposição de que o ambiente construído é pensado para influenciar a demanda de viagens ao longo de três dimensões principais, densidade, diversidade e *design* (3Ds), que afetam as taxas de viagem e a escolha do modo de residência dos residentes na área da Baía de São Francisco. São utilizados como variáveis dependentes a distância viajada por residência e a escolha de modo dessas viagens, considerando os propósitos das viagens. Os resultados indicam que a densidade, a diversidade do uso do solo e os *designs* voltados para os pedestres geralmente reduzem as taxas de viagens motorizadas e incentivam as viagens não-motorizadas de maneiras estatisticamente significativas, embora suas influências pareçam ser bastante marginais. Indicam ainda que o desenvolvimento compacto exerce a maior influência nas viagens de negócios pessoais, enquanto as lojas de varejo de bairro estavam mais fortemente associadas à escolha do modo de transporte para viagens de trabalho. No geral, esta pesquisa apoia a alegação de novos urbanistas e outros de que a criação de bairros mais compactos, diversos e voltados para pedestres, em combinação, pode influenciar significativamente a maneira como os americanos viajam.

Dentre as metodologias mais usuais para avaliar o relacionamento entre as características da forma urbana e a opção pelo modo de transporte, Amancio (2005) seleciona o Modelo Comportamental ou de Escolha Discreta do tipo Logit. Os dados necessários à calibração do modelo foram coletados na cidade de São Carlos, SP, uma cidade de porte médio com cerca de 200 mil

habitantes. As análises necessárias foram realizadas em nível de setor censitário e implementadas com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas. Foram calibrados dois modelos do tipo Logit, representando a situação básica, em que verifica-se a correlação apenas com os dados socioeconômicos, denominados variáveis de controle, e a situação expandida, que inclui as variáveis do ambiente construído. De maneira geral, o modelo expandido se mostrou estatisticamente melhor que o modelo básico, indicando que as características da forma urbana influenciam o comportamento dos indivíduos ao optar pelo modo a pé para realização de suas viagens.

Zampieri (2012) considera que, dentre as metodologias observadas para a construção do modelo, aquelas que mais se adequam para entender os fatores contidos no espaço urbano são a Teoria da Sintaxe Espacial e o nível de serviço dos passeios. Considera também a complexidade do comportamento dos pedestres, e sua inabilidade de ser plenamente entendido através de relações lineares ou de causa e efeito. Assim, para entender a complexidade desse fenômeno, Zampieri (2012) utiliza a abordagem conexionista das redes neurais artificiais, uma forma de processamento em paralelo com capacidade de trabalhar através de exemplos, generalizando e abstraindo as informações das variáveis e suas ligações.

O trabalho de Cambra, Moura e Gonçalves (2017) analisa a correlação entre a configuração urbana, representada por meio da Teoria da Sintaxe Espacial, os escores de caminhabilidade e os volumes de pedestres, e tem como foco as implicações potenciais dos problemas de consistência identificados na coleta e processamento das contagens de pedestres nos coeficientes de correlação de Pearson (r). Foram realizados diversos testes considerando dados brutos de pedestres, ou linearizados por meio de transformação logarítmica, ou resumidos usando valores médios horários e diários. Foram considerados também dados de pedestres nas ruas, em movimento ou estacionários.

Os resultados de Cambra, Moura e Gonçalves (2017) indicaram baixos coeficientes de correlação para os dados não linearizados de volume de pedestres, resumidos ou não. Os resultados para os dados não linearizados com agregação temporal diária, incluindo o sábado, indicam que as correlações do fluxo de pedestres variam significativamente ao longo da semana, principalmente com os dados da Sintaxe Espacial. O modelo que utilizava os volumes linearizados por meio de uma transformação logarítmica natural das atividades de pedestres, em movimento ou estacionários também apresentou índices de correlação baixos. O modelo final utiliza valores médios de fluxo de pedestres nos segmentos de rua, que permitiu a distinção de um padrão de comportamento de

pedestres ao longo da malha. Nesse caso, o melhor preditor era a Integração Local, e a linearização do fluxo de pedestres resultou em índices de correlação mais próximos de estudos semelhantes.

O estudo de Neves (2019) buscou analisar a relação entre a escolha pelo modo pedonal e as características do ambiente construído por meio de modelo de regressão espacial², tendo como objetivo secundário a avaliação se a utilização de modelo espacial melhora a representatividade dos resultados quando comparado a um modelo de regressão tradicional. Foram considerados quatro modelos Probit, sendo um não espacial e três que consideram os efeitos espaciais de formas distintas. Os resultados indicam que as variáveis independentes mais correlacionadas a escolha pelo modo a pé são variáveis relativas à diversidade de usos e disponibilidade de destinos, representadas pela entropia e pela distância para o centro, respectivamente. Quanto ao objetivo secundário, o estudo conclui que a inclusão de dependência espacial na variável dependente não adiciona ajuste em comparação ao modelo não espacial, mas ocorre um pequeno aumento de ajuste quando são considerados os efeitos espaciais das variáveis independentes.

Neves (2019) chama a atenção para a falta de consideração sobre o chamado “viés de seleção” (*self-selection*), descrito como a tendência de que as pessoas escolham seus locais de residência, em parte, pelas características do ambiente construído. Portanto, nesse contexto, a consideração do viés de seleção se dá pelo estudo da tendência de que indivíduos que possuem preferência prévia pelo transporte a pé escolham regiões que possuam características de ambiente construído incentivadoras do modo a pé.

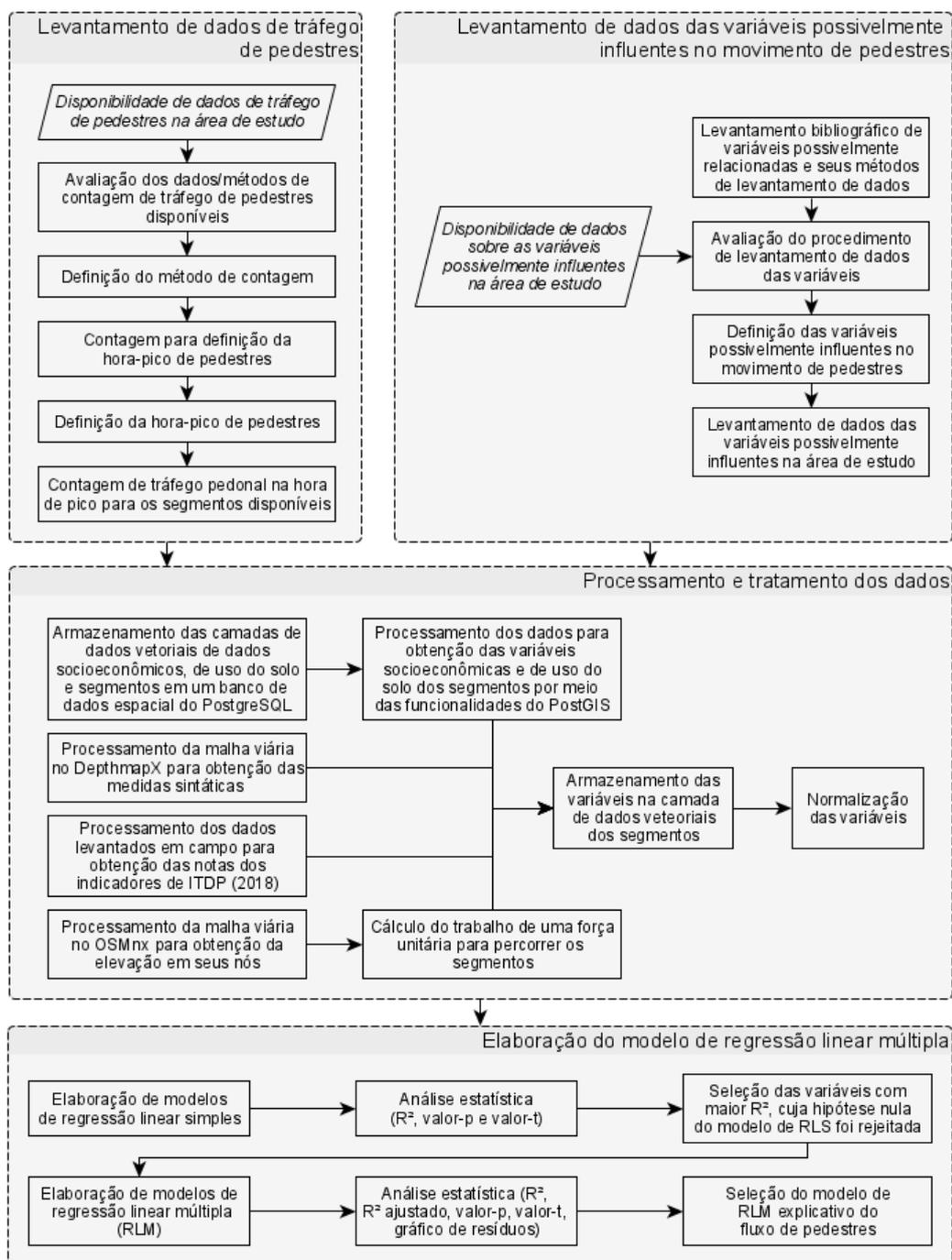
Outro problema abordado por Neves (2019) é o Problema da Unidade de Área Modificável (MAUP, sigla inglesa para *Modifiable Areal Unit Problem*). Dada a unidade de análise considerada para a representação do ambiente construído, podendo ser o segmento de via, setores censitários ou zonas de tráfego, a agregação das informações pode gerar erros caso a escala da unidade de análise não esteja adequada ao objetivo pretendido. Para contornar este problemas, alguns estudos utilizam como área de análise um *buffer* (área circular) centrado na localização em estudo para quantificação dos fatores. Entretanto, essa abordagem não é completamente livre do MAUP, pois os resultados provavelmente dependem do tamanho de *buffer* adotado, devendo este ser adequado ao modo de transporte analisado.

²Segundo Neves (2019), os modelos de regressão espacial, como o *Spatial Durbin Model* (SDM), buscam considerar os efeitos espaciais em suas análises por meio da elaboração de uma matriz de proximidade espacial para determinação da estrutura espacial, e da utilização de índices de autocorrelação espacial que buscam caracterizar a dependência espacial entre as amostras.

3 Método

A Figura 2 apresenta o fluxograma geral do método empregado neste trabalho, cujos símbolos utilizados para a descrição dos elementos são padronizados pela ISO 5807:1985. Tais elementos são detalhados na sequência do texto.

Figura 2: Método do trabalho



3.1 Levantamento de dados de tráfego de pedestres

O levantamento de dados de tráfego de pedestres tem início na verificação da disponibilidade de dados de tráfego ou de gravações de vídeo que possam ser utilizadas para obtenção destes dados na área de estudo. Os dados e/ou métodos de contagem de tráfego disponíveis devem ser avaliados quanto à sua aderência em relação ao objetivo do estudo e quanto aos recursos necessários para sua realização frente aos recursos disponíveis para o estudo. No caso da indisponibilidade de dados de tráfego já existentes, a definição do método de contagem é dada pela alternativa que cumpre o objetivo do estudo e requer a menor quantidade de recursos entre as outras alternativas enquanto se mantém abaixo da quantidade de recursos disponíveis para o estudo.

Caso a contagem deva ser limitada temporalmente, é necessária a compreensão básica acerca do movimento de pedestres na área de estudo, a fim de definir os períodos do dia que podem conter a hora de pico. A hora de pico, ou seja, a hora do dia em que a interseção está sob solicitação máxima, é considerada como indispensável nas pesquisas de tráfego motorizado por DNIT (2006) devido a sua importância na análise da capacidade das vias. Para as pesquisas de tráfego de pedestres, a “capacidade” das calçadas também é importante, pois indica a adequabilidade da largura das calçadas quanto ao fluxo de pedestres que ali se desloca.

Caso a área de estudo tenha mais movimentos de pedestres durante o horário comercial, nos dias de semana, as contagens devem ser realizadas ao longo deste período. Ainda, dada a consideração do impacto dos finais de semana nos padrões de viagem das segundas e sextas-feiras, é recomendada a realização das contagens em dias típicos (terças, quartas e quintas-feiras).

Caso as contagens volumétricas tenham duração inferior a uma hora, pode ser realizada uma média entre todos os volumes de pedestres das amostras j dentro da hora i e multiplicá-la pelo quociente entre a duração, em minutos, de uma hora e a duração, em minutos, da contagem volumétrica. A Equação 11 apresenta o cálculo de obtenção dos volumes horários.

$$V_{H_i} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{D_{ij}}}{n} \cdot \frac{60}{D}, \text{ onde } j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Onde:

V_{H_i} = volume horário de tráfego estimado para a hora i ;

$V_{D_{ij}}$ = volume de tráfego j da hora i resultante da contagem com duração D , em minutos;

n = quantidade de contagens volumétricas com duração D ao longo da hora i .

Identificada a hora de pico, devem ser realizadas contagens volumétricas em um dia típico durante esta hora. Preferencialmente, as contagens em todos os segmentos deverão ocorrer no mesmo cenário temporal.

3.2 Levantamento de dados das variáveis possivelmente influentes no movimento de pedestres

Nesta seção são apresentados os procedimentos utilizados para levantamento dos dados das variáveis relativas aos fatores ditos influentes pela bibliografia.

3.2.1 Variáveis socioeconômicas

Os dados socioeconômicos secundários que apresentam a menor unidade de análise são os dados resultantes do Censo Demográfico do IBGE (2010). O IBGE apresenta as informações para os setores censitários, os quais são definidos como a unidade territorial de coleta das operações censitárias, com limites físicos identificados, em áreas contínuas, de menor extensão que os bairros, respeitando a divisão político-administrativa do Brasil.

Assim, devem ser levantados os arquivos *.shp* em formato de polígono fechado, contendo os setores censitários da área de estudo, identificados por meio de seu código numérico de 15 dígitos, e a planilha contendo os mesmos códigos numéricos, e as características da população e dos domicílios, dados pelos resultados do Universo sobre sexo, idade, situação do domicílio, cor ou raça, alfabetização e rendimento das pessoas de 10 anos ou mais de idade, além de informações sobre composição e características dos domicílios.

3.2.2 Fatores de influência global

Os fatores de influência global levantados dizem respeito ao uso do solo, cujos dados permitem o cálculo de fatores de densidade e diversidade, e ao *design* urbano, cujos dados de geometria permitem o cálculo de medidas sintáticas globais advindas da Teoria da Sintaxe Espacial.

A escolha do banco de dados sobre o uso do solo a ser utilizado depende dos bancos de dados disponíveis na área de estudo e, dentre estes, deve ser selecionado aquele que apresenta unidade de análise igual àquela considerada para os dados de volume de pedestres. De forma geral, são preferidos dados não-agregados, pois eles podem ser utilizados para quaisquer unidades de análise.

Ainda, estes dados devem ser, preferencialmente, georreferenciados e conter informações de área construída e atividades desenvolvidas nestas edificações.

A área construída das edificações é comumente utilizada em estudos de atração de viagens motorizadas e também é um potencial fator influente do volume de pedestres. As atividades desenvolvidas devem ter relação com os objetivos do estudo e, de preferência, serem classificadas de acordo com grupos comumente utilizados em estudos semelhantes, de forma a permitir a comparação de resultados.

Caso o banco de dados esteja desatualizado ou não contenha algumas informações necessárias para o estudo, podem ser utilizadas fontes secundárias para complementação dos dados, como o *Google Maps* e o *Google Street View*, ou ainda, podem ser realizados levantamentos em campo, principalmente para a determinação das atividades desenvolvidas.

Para bancos de dados que não possuem informações sobre a área construída, mas apenas sobre a área projetada, a complementação inclui a contagem de número de andares existentes nas edificações, as quais são multiplicadas pela área projetada para estimativa da área construída. Em paralelo, pode ser realizada a verificação da existência das edificações que compõem o banco de dados em relação ao ambiente construído atual e de suas respectivas atividades desenvolvidas, classificando-as conforme o interesse de análise do estudo.

Dada a quantidade de esforço necessário para a complementação e verificação dessas informações, estes processos podem ser limitados de acordo com o tempo e recursos disponíveis para sua realização. Dentre as alternativas de limitação estão: (i) a consideração das edificações cujas portas de entrada estão localizadas nos segmentos analisados; e (ii) a consideração de *buffers* partindo dos segmentos estudados, considerando raio proporcional às distâncias de caminhada que desejam ser investigadas e recursos disponíveis. O procedimento da alternativa (i) inclui a identificação manual das portas de entrada dos segmentos analisados, enquanto a alternativa (ii) é realizada por meio de processamentos computacionais.

O levantamento das medidas sintáticas tem como base a malha viária da área de estudo, a qual é convertida para mapa axial que, por sua vez, é convertido em mapa de segmentos. O levantamento da malha viária da área de estudo pode ser feito por meio do *OpenStreetMap* (OSM), um banco de dados aberto que contém as malhas viárias do mundo inteiro.

3.2.3 Fatores de influência local

Os fatores de influência local são comumente representados pelos elementos que revestem o ambiente construído. Estes possuem algumas características que são mais efêmeras do que os fatores de influência global, ou o ambiente construído. As condições de pavimentação, ou características das travessias podem ser facilmente alteradas com manutenções de baixo custo em relação a, por exemplo, mudanças impostas ao desenho das vias, que requerem alterações de alto custo e grandes dimensões.

Dada esta característica, a coleta de dados dos fatores de influência local deve ser realizada em data próxima à contagem de tráfego, a fim de levantar a situação a que os pedestres considerados na contagem estavam submetidos. Para isso, é necessária a investigação sobre as fontes de dados disponíveis na área de estudo e respectivas quantidade de recursos necessários para sua utilização.

As fontes de dados podem ser divididas em fontes de dados primários e fontes de dados secundários. As fontes de dados primários dizem respeito aos dados levantados em campo pelo próprio pesquisador para os fins do estudo, enquanto as fontes de dados secundários dizem respeito aos dados obtidos por meio de levantamento de terceiros, podendo ser documentos de administração pública ou fotografias aéreas, de satélite e dados georreferenciados.

Em relação às fontes de dados secundários, a dificuldade de levantamento inerente aos documentos de administração pública dependem exclusivamente da disponibilidade destes dados e do tempo de resposta da administração em questão, enquanto a dificuldade de levantamento de fotografias aéreas e recursos georreferenciados é baixa, pois estas informações estão disponíveis por meio de plataformas gratuitas como o *Google Maps*, *Google Street View* e *OpenStreetMap* (OSM). A declividade longitudinal dos segmentos de calçada é um dos dados relacionados à fatores de influência local e pode ser obtido por meio do processamento de dados secundários advindos do OSM, conforme apresentado na seção 3.3.3.

As fontes de dados primários possuem maior dificuldade de levantamento devido à necessidade de se realizar o levantamento em campo. Dentre estes, os levantamentos em campo das características do ambiente construído não possuem restrições de horário ou dia da coleta. Em contraponto, o levantamento em campo acerca da circulação de pedestres que deve acontecer em momento adequado ao volume de tráfego que se deseja observar.

Para garantir a realização correta do levantamento em campo, a seleção de variáveis deve priorizar aquelas que apresentem procedimentos padronizados estabelecidos por instituições reconhe-

cidas, como é o caso da ferramenta iCam de ITDP (2018), cujos procedimentos são apresentados na seção 2.2.3.

3.3 Processamento e tratamento dos dados

Após o levantamento dos dados, estes devem ser processados de forma a se obter as variáveis possivelmente influentes no movimentos de pedestres e tratados para otimizar o processo de elaboração dos modelos de regressão. O processamento diz respeito à transformação dos dados levantados em variáveis ditas influentes pela bibliografia. Os procedimentos realizados para este fim variam a depender da variável que se deseja obter e de sua relação com os dados levantados. O tratamento diz respeito ao armazenamento das variáveis em uma camada de dados vetoriais *.shp* dos segmentos analisados e à normalização de seus valores.

3.3.1 Variáveis socioeconômicas

Os dados socioeconômicos levantados estão no formato de planilha eletrônica e a representação dos setores censitários a que dizem respeito os dados da planilha estão no formato de arquivo *.shp*, conforme apresentado na seção 3.2.1. Assim, a primeira etapa de processamento destes dados é o seu armazenamento no arquivo *.shp* por meio da união das camadas com base no campo de identificação dos setores censitários.

Para estudos cuja unidade de análise é o segmento de via, os dados socioeconômicos a nível de setor censitário devem ser distribuídos sistematicamente para os segmentos analisados, de forma a evitar o Problema da Unidade de Área Modificável (MAUP), descrito na seção 2.5. Assim, pode ser utilizado como área de análise um *buffer* centrado no segmento analisado para transformação dos dados a nível de setor censitário em variáveis relacionadas à área de interseção entre os setores censitários e o *buffer* de determinado raio a partir do trecho, conforme apresenta a Equação 12. A escolha do raio do *buffer* depende do objeto de estudo e, no caso do estudo de pedestres, cuja viagem apresenta limitações de distância, Neves (2019) aponta para o uso de raios entre 400 e 1.600 metros.

$$D_i = \frac{D_s \cdot A_{i's}}{A_s} \quad (12)$$

Onde:

D_i = dados socioeconômicos atribuídos ao segmento i ;

D_s = dados socioeconômicos dos setores censitários;

$A_{i/s}$ = área de interseção, em metros quadrados, entre o *buffer* do segmento i e o setor censitário s ;

A_s = área total do setor censitário, em metros quadrados.

O processamento dos dados armazenados no banco de dados do PostgreSQL é realizado por meio de funcionalidades do PostGIS. O PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados do tipo objeto-relacional que, aliado à extensão PostGIS, permite o armazenamento e processamento de dados georreferenciados por meio da linguagem SQL. Assim, as camadas de dados vetoriais dos setores censitários com os dados socioeconômicos e dos segmentos analisados são armazenadas em um banco de dados do PostgreSQL, e o procedimento de compatibilização entre unidades de análise é realizado conforme apresenta o Apêndice A, o qual tem como produto final um arquivo *.shp* dos segmentos analisados com os dados socioeconômicos relativos ao seu respectivo *buffer*.

3.3.2 Fatores de influência global

Os fatores de influência global são compostos pelas variáveis de uso do solo e pelas medidas sintáticas globais, as quais apresentam unidade de análise diferente entre si e, também por isso, apresentam processamentos diferentes.

Os dados de uso do solo possuem como unidade de análise, comumente, as edificações e, neste caso, pode ser usada solução apontada por Neves (2019) e utilizada na seção 3.3.1: uso de *buffer* centrado no segmento analisado para transformação dos dados a nível de edificações em variáveis relacionadas às edificações interceptadas pelo *buffer*. Não há indicação clara de qual raio de *buffer* deve ser utilizado, uma vez que o tamanho do raio pode influenciar o resultado do modelo caso seja incompatível com o raio de atração de pedestres a determinado segmento devido às edificações presentes. Assim, pode ser utilizado um raio máximo e testados os raios intermediários para verificar qual distância melhor representa a atração de pedestres a determinado segmento devido às edificações presentes. O tamanho do raio máximo deve ser equivalente à distância viável de caminhada e ao recurso disponível para levantamento e/ou complementação e verificação de dados

Conforme apresentado em 2.2.2, as variáveis de uso do solo podem ser obtidas com base nos dados de quantidade, área construída e atividades desenvolvidas nas edificações. É relatado nesta seção o processamento dos dados para obtenção das variáveis de quantidade de edificações e respectivas áreas construídas, categorizadas de acordo com atividade desenvolvida nessas edificações.

Para a contabilização da quantidade de edificações de determinado uso, são criadas colunas para cada uso com valores binários que representam a existência (1) ou não (0) de determinado uso na edificação. A soma destes valores e da área construída de cada edificação que intercepta o *buffer* resulta na quantidade e na área construída de edificações por tipo de uso.

Os procedimentos de criação de *buffer*, identificação das edificações que o interceptam e soma dos valores das colunas de quantidade e área construída das edificações armazenadas no banco de dados do PostgreSQL são realizadas por meio de funcionalidades do PostGIS. Para isso, as camadas de dados vetoriais das edificações, contendo informações de tipo de uso e área construída, e dos segmentos analisados são armazenados em um banco de dados do PostgreSQL, e o processamento é realizado conforme apresenta o Apêndice B, o qual tem como saída um arquivo *.shp* dos segmentos analisados com os dados de uso do solo relativos ao seu respectivo *buffer*.

Quanto às medidas sintáticas globais, seu processamento tem início com a importação da malha viária levantada para o *DepthmapX*³. no formato *.dxf*⁴, formato necessário para a criação de mapas sintáticos.

As medidas sintáticas dizem respeito aos segmentos angulares da malha viária, os quais não correspondem com os segmentos analisados. Para compatibilização entre os segmentos analisados e os segmentos angulares pode ser realizada uma identificação de sobreposição entre camadas em ambiente georreferenciado ou, ainda, caso a quantidade de segmentos com dados disponíveis seja baixa, pode ser realizada a atribuição manual da identificação numérica do segmento analisado correspondente por meio da visualização de sobreposição dos segmentos angulares e segmentos analisados. Nos casos em que existe mais de um segmento angular sobrepondo um segmento analisado, as medidas sintáticas dos segmentos analisados correspondem à média das medidas de todos os segmentos angulares, observada a proximidade destes valores, a fim de evitar a subestimação ou superestimação das medidas sintáticas.

³Disponível em <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/architecture/research/space-syntax/depthmapx>

⁴O Drawing Exchange Format (DXF), é um arquivo vetorizado de intercâmbio para modelos de CAD.

3.3.3 Fatores de influência local

O levantamento de dados das variáveis relativas aos fatores de influência local é realizado conforme procedimento descrito por ITDP (2018), no qual o levantamento dos dados é seguido por atribuições de notas para os indicadores e respectivas categorias, seguido da determinação do índice de caminhabilidade (iCam) do segmento.

Conforme apresentado na seção 2.2.3, o processo de atribuição da nota geral dos segmentos de calçadas, denominada iCam, considera, além das notas atribuídas às categorias de indicadores, a extensão dos segmentos analisados. Contudo, dado que o objetivo deste trabalho não é a definição dos iCam dos segmentos, mas sim a investigação sobre a influência dos indicadores no fluxo de pedestres, apenas a atribuição de notas aos indicadores é considerada.

O procedimento de atribuição de notas aos indicadores é realizado conforme os critérios apresentados na seção 2.2.3 utilizando a linguagem de programação *Python*. O código utiliza como entrada uma planilha eletrônica com os dados coletados sobre esses indicadores durante a etapa de levantamento de dados e tem como saída vetores compostos pelas notas de cada segmento analisado. O código elaborado para este trabalho é apresentado no Apêndice C.

Contudo, a ausência da agregação de notas implica na ausência da consideração da extensão do segmento analisado. Dado que a extensão dos segmentos é considerada influente devido ao trabalho despendido pelo pedestre ao atravessar longitudinalmente este segmento, é necessária a consideração deste fator por meio de outra variável. A declividade longitudinal dos segmentos também é uma das variáveis que compõem os fatores de influência local pois, assim como a extensão dos segmentos, aumentam o trabalho despendido para atravessá-los.

Assim, são consideradas as variáveis de deslocamento vertical D_v e extensão projetada dos segmentos D_h , em metros, além de duas variáveis que englobam o deslocamento vertical e horizontal, dadas pela declividade longitudinal e pelo “trabalho”.

A declividade longitudinal representa o quociente entre o deslocamento vertical e o deslocamento horizontal, ou seja, o deslocamento vertical, em metros, dividido pela extensão projetada dos segmentos. A variável trabalho é baseada no conceito de trabalho mecânico, dado pela equação $\tau = F \cdot \Delta s$, onde τ é o trabalho, F é o vetor de força e Δs é o deslocamento paralelo à força. Para os fins deste estudo, o vetor força F é considerado unitário e paralelo à superfície das calçadas, consideradas como uma rampa contínua cuja extensão Δs é dada por $\sqrt{D_v^2 + D_h^2}$.

O processamento das variáveis de elevação e extensão projetada dos segmentos analisados têm como base a malha viária do *OpenStreetMap*, que é processado por meio do pacote *OSMnx*⁵, com dados provenientes de API Google de elevação. O *OSMnx* é um pacote do *Python* que permite o download e modelagem de redes urbanas caminháveis, cicláveis e dirigíveis com uma única linha de código, possibilitando ainda o download e manuseamento de pontos de interesse, dados de elevação, tempos de viagem, entre outros. O código para processamento dos dados por meio do *OSMnx* é apresentado no Apêndice D.

Os dados de saída deste código são arquivos *.shp* de linhas e de pontos contendo, respectivamente, os *links* e nós da malha viária do OSM contendo os dados de elevação. Os segmentos de via da malha do OSM podem não corresponder exatamente aos segmentos analisados. Assim, para fins de processamento da variável deslocamento vertical D_v , deve ser calculada a diferença entre as elevações dos nós que iniciam e finalizam o segmento de análise, desconsiderando os nós localizados no meio dos segmentos.

3.3.4 Normalização das variáveis

Os fatores influentes são representados por variáveis com escalas de valores muito distintas. Enquanto a área construída varia na casa das centenas, a largura útil das calçadas varia algumas unidades. Tal discrepância interfere na interpretação dos resultados dos coeficientes dessas variáveis nos modelos de regressão.

Assim, de forma a uniformizar a escala de valores das variáveis, a variável dependente e as variáveis independentes devem ser normalizadas em intervalos de 0-1. Esta transformação possibilita a identificação da intensidade de influência de cada variável explicativa na demanda pedonal.

O procedimento de normalização pode ser realizado por meio de uma linha de código *python* que utiliza o API *scikit-learn* dada por:

```
1 preprocessing.normalize
```

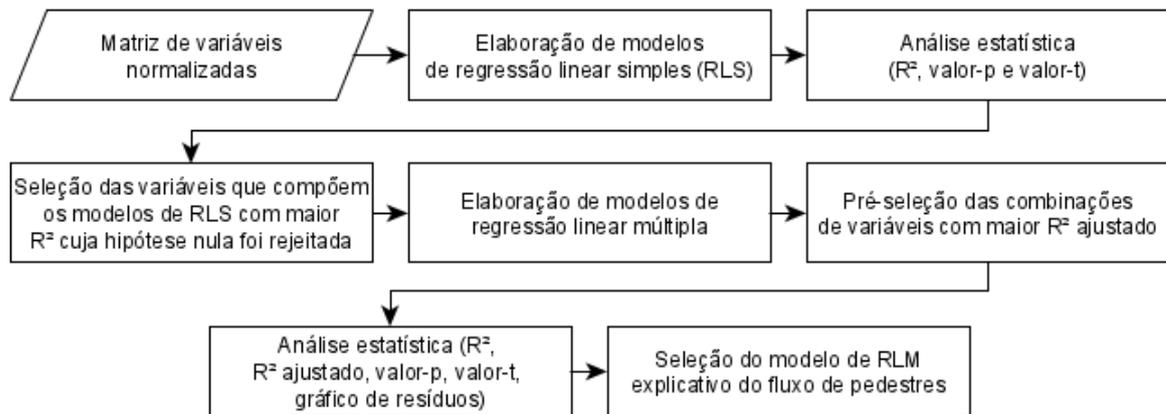
A linha de código retorna os valores normalizados em uma planilha eletrônica cujo cabeçalho é substituído por uma ordem numérica.

⁵Disponível em <https://github.com/gboeing/osmnx>

3.4 Elaboração do modelo de regressão múltipla

A Figura 3 apresenta o método de elaboração do modelo de regressão linear múltipla e as seções seguintes descrevem seus elementos.

Figura 3: Fluxograma do método de elaboração do modelo de regressão linear múltipla



3.4.1 Escolha das variáveis

A fim de verificar a capacidade de explicação individual de cada variável levantada, as variáveis normalizadas são relacionadas individualmente com a variável dependente, por meio de modelos de regressão linear simples. Os resultados destes modelos são analisados estatisticamente, por meio do cálculo de seus R^2 , valores-p e valores-t, cujos limites são considerados condicionantes para a consideração de validade de um modelo de regressão, uma vez que rejeitam a hipótese nula.

Para verificação da capacidade de explicação de um conjunto de variáveis, é utilizado o método “todas as regressões possíveis” para a escolha da combinação de até $n - 1$ variáveis cuja relação com a variável dependente é a mais significativa dentre todas as possibilidades, sendo n a quantidade de observações da variável dependente. Dada a alta demanda por processamento inerente a este método, o número de variáveis consideradas para as combinações é limitado às variáveis que apresentaram os maiores coeficiente de determinação (R^2) nas regressões lineares simples e as combinações são limitadas a cinco elementos.

Para geração dos modelos de regressão linear simples e de seus indicadores estatísticos é utilizado código em linguagem *Python*, apresentado no Apêndice E, com limitação do tamanho das combinações a 1 elemento. A partir dos resultados destes modelos, são selecionadas as variáveis

com maior R^2 , as quais são organizadas em uma planilha eletrônica e usadas como dado de entrada para o mesmo código, atualizada a limitação do tamanho das combinações a cinco variáveis.

Dada a inexistência de uma única combinação ótima das variáveis, são pré-selecionadas as combinações que resultam em modelos de regressão linear múltipla válidos, ou seja, cujas hipóteses nulas foram rejeitadas. As regressões resultantes destas combinações são analisadas estatisticamente, para obtenção de informações complementares. Dentre estas, o modelo com maior coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) é selecionado como o modelo explicativo.

3.4.2 Análise estatística

A análise estatística realizada para escolha das variáveis componentes do modelo explicativo do fluxo de pedestres considera os seguintes indicadores estatísticos: o coeficiente de determinação R^2 , o coeficiente de determinação ajustado R^2 ajustado, o valor-p e o valor-t e, também, o gráfico de resíduos das variáveis explicativas.

Os valores-p e valores-t foram usados para realizar a pré-seleção dos modelos compostos por variáveis consideradas relacionadas com o fluxo de pedestres pelo valor-p, e consideradas significativas pelo teste t de Student.

Os modelos pré-selecionados são classificados em ordem decrescente de seus valores de R^2 ajustado, e o modelo com maior R^2 ajustado deve ter seus gráficos de resíduos analisados, para cada variável independente, a fim de analisar a normalidade dos resíduos e, conseqüentemente, a capacidade de explicação do modelo.

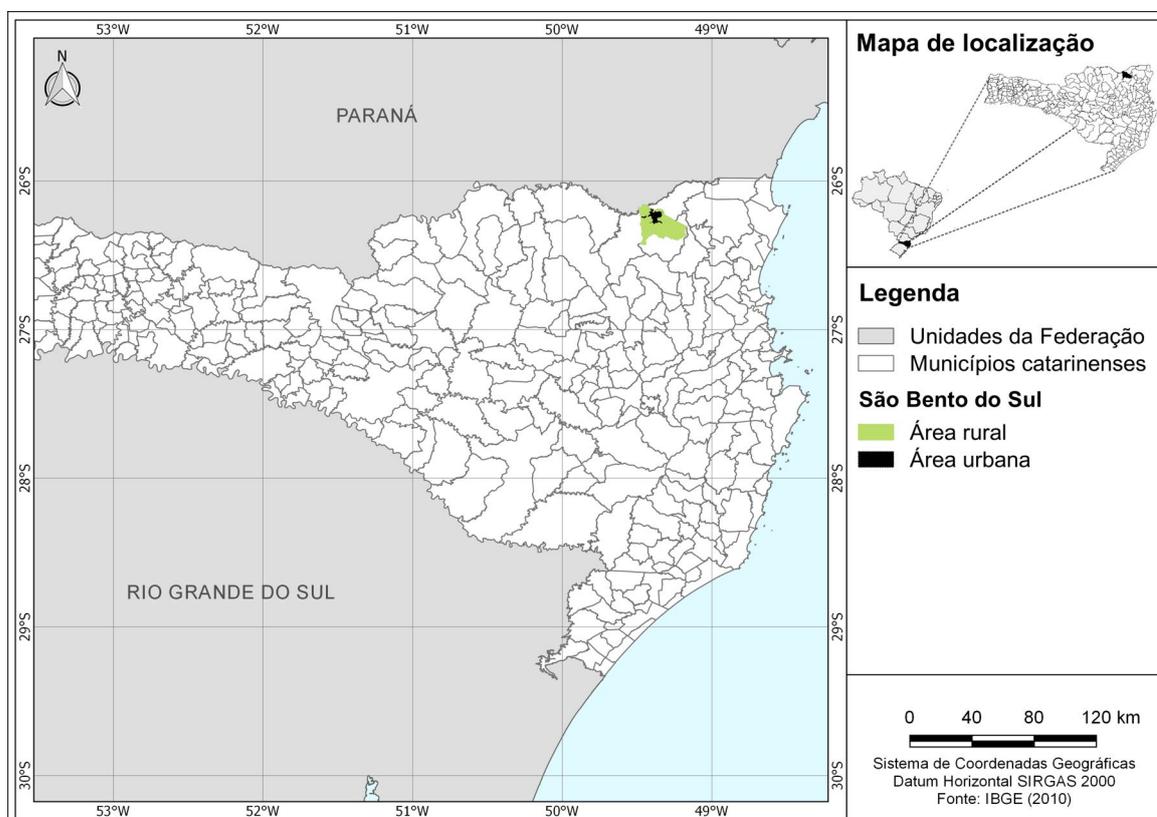
4 Área de estudo

Esta seção apresenta o município de São Bento do Sul, o perfil socioeconômico de seus habitantes, e as políticas públicas para pedestres no município. São apresentados também os segmentos de calçada analisados e as fontes de dados adicionais utilizadas.

4.1 São Bento do Sul

O Município de São Bento do Sul pertence ao Planalto Norte Catarinense, fazendo fronteira com os municípios de Rio Negrinho a oeste, Jaraguá do Sul a sudeste, Corupá a sul e sudeste, Campo Alegre a nordeste e o estado do Paraná a noroeste. A localização do Município, com seu território classificado em áreas rurais e urbanas, é apresentado na Figura 4. Sua altitude em relação ao nível do mar é de 838,39 metros no centro da cidade, de acordo com a referência de nível (RN) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Figura 4: Localização de São Bento do Sul



Segundo Sebrae/SC (2010), o Município possui 52 empresas exportadoras, sendo 28 destas pertencentes ao setor moveleiro, o grupo de atividade econômica que possui a maior participação no Valor Adicionado Fiscal (VAF), igual a 19,3%. Além do setor moveleiro, outras empresas de grande porte merecem destaque, como a Tuper (fabricação de metalúrgicos), a Oxford (cerâmica), a Buddemeyer (têxtil) e a Condor (escovas). Em 2008, as exportações do Município foram de aproximadamente US\$ 163 milhões, sendo os Estados Unidos e a Europa seus principais destinos.

A história de São Bento do Sul está ligada à da Colônia Dona Francisca, empreendimento privado de colonização, organizado na cidade portuária de Hamburgo, na Alemanha. A primeira das extensões que evoluíram da colônia estava localizada nas margens do Rio São Bento, que evoluiu mais tarde para o município de São Bento do Sul. Seus primeiros habitantes eram oriundos da Áustria, Bavária, Prússia, Polônia, Saxônia e Tchecoslováquia, conforme apresentado pelo site da Prefeitura de São Bento do Sul⁶.

4.2 Perfil socioeconômico são-bentense

Segundo o IBGE⁷, o Município possui área total de 495,578 km², e população estimada em 2019 de 84.507 habitantes, com densidade demográfica de 170,5 hab/km². As distribuições de seus residentes e densidade demográfica nos setores censitários são apresentadas nas Figuras 5 e 6.

O PIB per capita, em 2017, era igual a R\$ 36.126,71, com 59,3% das receitas oriundas de fontes externas. Em 2018, o salário médio mensal dos trabalhadores formais era igual a 2,4 salários mínimos, com 37,7% da população ocupada. Em 2003, o índice de GINI, que mede a desigualdade no território, era igual a 0,35, e a incidência de pobreza, igual a 30,92%.

Em 2010, a taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade era igual a 97,8%, com o Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) dos anos iniciais do ensino fundamental da rede pública, em 2017, igual a 6,9, de um máximo possível de 10, e o IDEB dos anos finais do ensino fundamental, também da rede pública, igual a 5,5.

Em 2010, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) era igual a 0,782, e o Município apresentava 94,8% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 28,4% de domicílios urbanos

⁶Disponível em: <<https://www.saobentodosul.sc.gov.br/cidade-historia-sao-bento>>. Acesso em: 14 de Outubro de 2020.

⁷Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/sao-bento-do-sul/panorama>>. Acesso em: 14 de Outubro de 2020.

Figura 5: Residentes por setor censitário

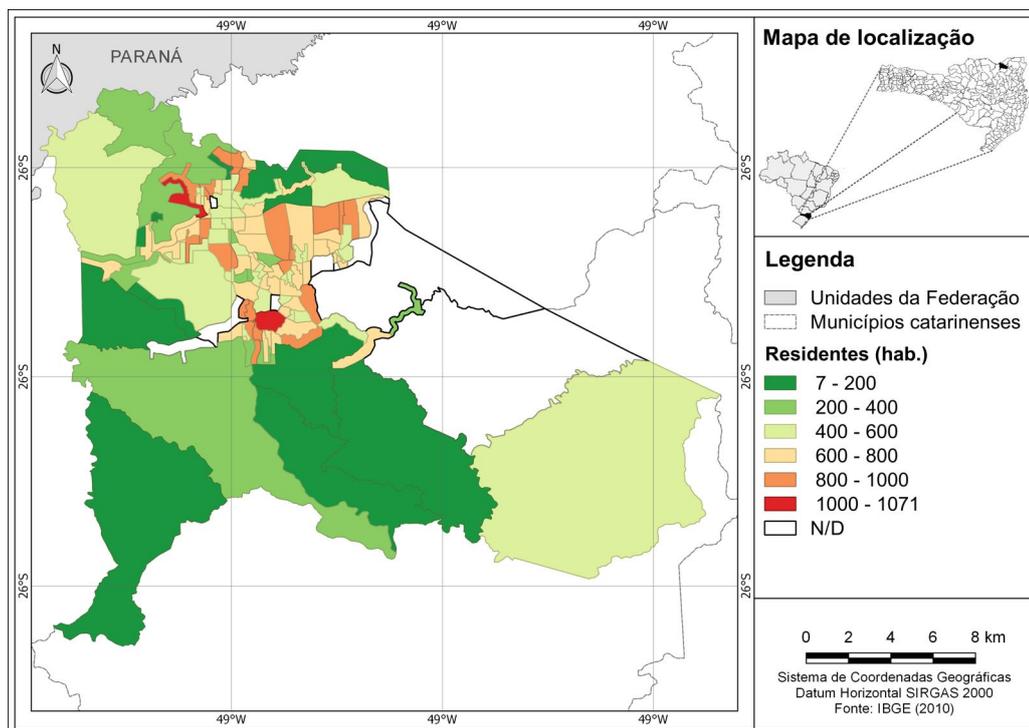
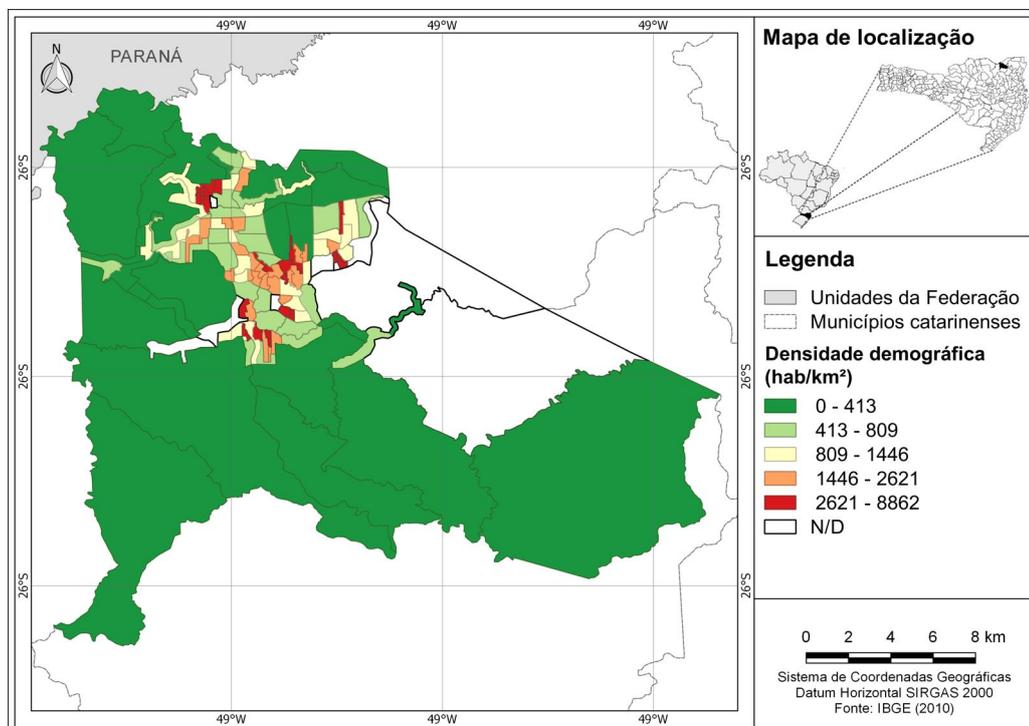
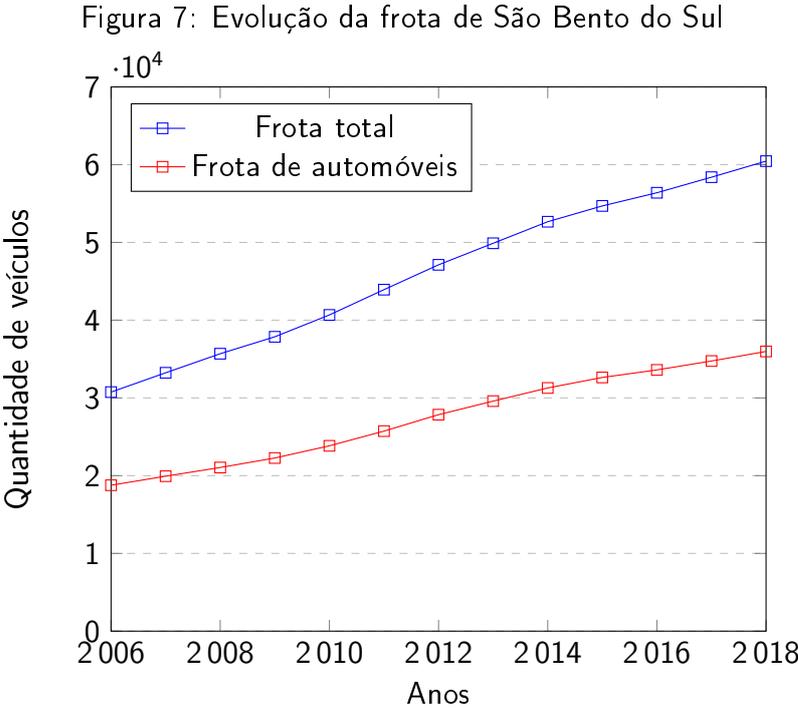


Figura 6: Densidade demográfica por setor censitário



em vias públicas com arborização e 27,9% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio).

A Figura 7 apresenta a evolução da frota total de veículos e da frota de automóveis em São Bento do Sul entre os anos 2006 e 2018, em que percebe-se que a frota total em 2018 é aproximadamente o dobro da frota em 2006 e que o aumento da frota de automóveis acompanha a tendência de crescimento da frota total, que também dobrou em 12 anos.



4.3 A política urbana

Esta seção apresenta aspectos das legislações municipais referentes às políticas urbanas que influenciam direta ou indiretamente no movimento de pedestres: O Plano Diretor, a Lei do Código de Zoneamento, a Lei das Calçadas e a Lei do Código de Posturas.

A Lei nº 1.675, de 10 de Outubro de 2006, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado e Participativo de São Bento do Sul, cujo artigo 2º lista instrumentos implementadores do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado e Participativo, dentre os quais são destacados:

- a) Lei do Código de Posturas;
- b) Lei das Calçadas;
- c) Lei do Código de Zoneamento;

A Lei Municipal nº 742, de 20 de Dezembro de 1996, que cria o novo Código de Posturas do município, estabelece que a responsabilidade de construção, reconstrução, reparo e manutenção das calçadas é dos proprietários lindeiros, devendo estes arcar, inclusive, com os custos associados a estas atividades.

A Lei nº 1676, de 10 de Outubro de 2006 institui a Lei das Calçadas, que padroniza a construção, reconstrução, recomposição ou reparo das calçadas integrantes das vias públicas no município de São Bento do Sul. Esta lei estabelece padrões de qualidade para as calçadas, definidas na mesma lei como “parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins”. Contudo, não retira a responsabilidade do proprietário lindeiro sobre as atividades relacionadas à calçada. Mesmo quando o Poder Público Municipal executa as obras nos trechos em desacordo com a legislação, reavê este custo por meio de contribuição de melhoria⁸, com exceção aos casos em que o proprietário faz parte de uma família de baixa renda.

A Lei nº 1681, de 10 de Outubro de 2006, institui o novo Código de Zoneamento, o novo limite do Perímetro Urbano e da Área de Expansão Urbana do Município de São Bento do Sul, a nova delimitação de Bairros e dá outras providências. O Código de Zoneamento versa sobre

⁸A contribuição de melhoria é parte integrante do Código Tributário Municipal, e é instituída para fazer face ao custo de obras públicas de que decorra valorização imobiliária.

normas estabelecidas quanto ao uso e aos índices urbanísticos, ou seja, recuos, afastamentos, altura, número de pavimentos, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, declividade e tangente de iluminação e ventilação. Dentre os índices urbanísticos, são de interesse para a análise do uso do solo neste trabalho a altura máxima, a área mínima de terreno, a testada mínima, a taxa de ocupação máxima e o coeficiente de aproveitamento. As definições destes índices, conforme Lei nº 1681/2006, são:

1. **Altura máxima:** Quantidade máxima de pavimentos permitida à edificações.
2. **Área mínima de terreno:** dimensões mínimas permitidas aos lotes.
3. **Testada mínima:** comprimento mínimo do alinhamento de um lote voltado para a via
4. **Taxa de ocupação máxima:** porcentagem máxima permitida da área do lote ocupado pela projeção horizontal da edificação.
5. **Coeficiente de aproveitamento máximo:** relação máxima permitida entre a área construída da edificação e a área do terreno.

A zona é definida como a região na qual predominam os mesmos índices urbanísticos e usos, e obedecerão à seguinte classificação, representadas por siglas como seguem:

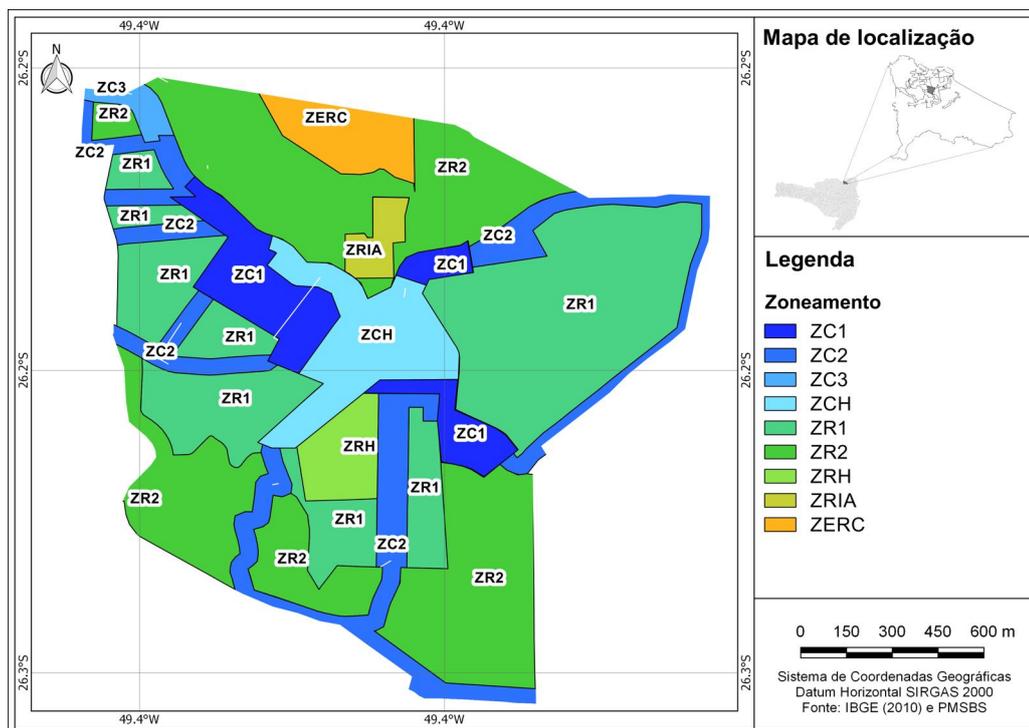
1. ZC = Zonas Comerciais:
 - (a) ZC1 = Zona Comercial 1 = Uso Comercial
 - (b) ZC2 = Zona Comercial 2 = Uso com Tendências Comerciais
 - (c) ZC3 = Zona Comercial 3 = Uso com Tendências Comerciais
 - (d) ZCH = Zona Comercial Histórica = Uso Comercial
2. ZR = Zonas Residenciais:
 - (a) ZR1 = Zona Residencial 1 = Uso predominantemente Residencial
 - (b) ZR2 = Zona Residencial 2 = Uso predominantemente Residencial
 - (c) ZR3 = Zona Residencial 3 = Uso predominantemente Residencial
 - (d) ZRH = Zona Residencial Histórica = Uso predominantemente Residencial

- (e) ZIH = Zona de Interesse Histórico = Uso predominantemente Residencial
 - (f) ZUAPA = Zona Urbana da Área de Proteção Ambiental = Uso predominantemente Residencial com restrições
3. ZI = Zonas Industriais:
- (a) ZI1 = Zona Industrial 1 = Uso predominantemente Industrial
 - (b) ZI2 = Zona Industrial 2 = Uso predominantemente Industrial
4. ZEspf = Zonas Específicas:
- (a) ZERC = Zona Exclusivamente Residencial e Cívica = Uso exclusivamente Residencial e Cívico
 - (b) ZUR = Zona de Uso Restrito = Uso de interesse da Mineração
 - (c) ZE = Zona Educacional = Uso exclusivamente Educacional
 - (d) ZIP = Zona de Interesse Público = Uso de interesse Público
 - (e) ZRIA = Zona de Relevante Interesse Ambiental = Uso de interesse Ambiental
5. ZEsp = Zonas Especiais:
- (a) ZIF = Zona Industrial Fechada = Uso exclusivamente Industrial
 - (b) ZPA = Zona de Proteção Ambiental = Uso proibido
 - (c) ZEIS = Zona Especial de Interesse Social = Uso Institucional e Habitacional Popular
6. ZRu = Zonas Rurais:
- (a) ZRU = Zona Rural = Uso predominantemente Rural
 - (b) ZRAPA = Zona Rural da Área de Proteção Ambiental = Uso predominantemente Rural com restrições

Dentre as zonas citadas, a Figura 8 apresenta aquelas que estão mais próximas aos segmentos analisados, sendo as zonas que contém edificações na área de estudo classificadas como ZC1, ZC2, ZCH, ZR1, ZR2, ZRH e ZRIA.

Entre as zonas comerciais, a ZC1 é caracterizada por utilização comercial obrigatória para o primeiro pavimento e, a partir do segundo pavimento, são permitidos os usos comercial ou residencial.

Figura 8: Zonas do bairro Centro



Fonte: Prefeitura de São Bento do Sul.

A ZC2 é caracterizada por utilização predominantemente comercial para o primeiro pavimento. A utilização residencial no primeiro pavimento para ZC2 fica condicionada à taxa de ocupação máxima de 35% para a edificação nova ou a ser ampliada, e a partir do segundo pavimento são permitidos os usos comercial ou residencial. E a ZCH é caracterizada por utilização comercial obrigatória para o primeiro pavimento, onde se pretende conservar as características arquitetônicas históricas e, a partir do segundo pavimento, são permitidos os usos comercial ou residencial.

Entre as zonas residenciais, a ZR1 é caracterizada por utilização predominantemente residencial uni e multifamiliar, onde ocorrem severas restrições a usos não residenciais. A ZR2 é caracterizada por utilização predominantemente residencial uni e multifamiliar, onde ocorrem restrições a usos não residenciais. A ZRH é caracterizada por utilização predominantemente residencial uni e multifamiliar onde ocorrem severas restrições a usos não residenciais e onde se pretende conservar as características arquitetônicas históricas. E a ZRIA é caracterizada por se destinar a preservação ambiental, onde somente são adequadas as edificações de apoio a esta finalidade.

A Tabela 12 apresenta os índices urbanísticos nas zonas que contém edificações na área de estudo, conforme consta no Anexo V da Lei nº 1681/2006.

Tabela 12: Índices urbanísticos e usos em cada zona

Zona	Altura Máxima	Área Mínima de Terreno	Testada Mínima	Taxa de Ocupação Máxima	Coefficiente de Aproveitamento Máximo
ZC1	12 pav	360 m ²	12/15/20 m ⁽¹⁾	70%	4
ZC2	6 pav	360 m ²	12/15/20 m ⁽¹⁾	70%	3
ZCH	6 pav	360 m ²	12/15/20 m ⁽¹⁾	70%	4
ZR1	6 pav	360 m ²	12 m	60%	3
ZR2	8 pav	360 m ²	12 m	60%	2
ZRH	6 pav	360 m ²	12 m	60%	3
ZRIA	1 pav	1500 m ²	30 m	5%	0,05

⁽¹⁾ 12m para terrenos com área de até 699,99m²; 15m para terrenos com área entre 700m² e 999,99m²; 20m para terrenos com área a partir de 1000m², inclusive.

4.4 A infraestrutura para pedestres

Esta seção caracteriza a infraestrutura para pedestres nos segmentos em que foi possível realizar a contagem volumétrica, ou seja, aqueles que compõem a amostra do modelo explicativo. A caracterização contempla a localização dos segmentos, suas respectivas representações fotográficas e a condição socioeconômica dos setores censitários em que estão localizados, dada pela população residente e pela renda per capita.

A Tabela 13 apresenta a identificação numérica dos dezoito segmentos analisados e suas localizações na malha viária, com os limites iniciais e finais dos segmentos da rua sendo identificados por meio de suas interseções com outras ruas. Os segmentos são apresentados visualmente na Figura 9, por meio de mapa, e na Figura 10, por meio de representações fotográficas, coletadas por meio da ferramenta *Google Street View*.

A Figura 11 apresenta a quantidade de residentes nos setores censitários do bairro Centro, onde é possível observar que os setores a leste dos segmentos são mais populosos do que os setores a oeste. A Figura 12 apresenta a densidade populacional dos mesmos setores, onde é observado que os setores de maior dimensão ao norte e ao sudeste possuem a menor densidade, devido à presença de barreiras naturais nestes setores. A Figura 13 apresenta a renda mensal média por residente nos setores, onde é percebido que os setores ao norte, nordeste e sudoeste possuem maior renda média por residente.

Tabela 13: Localização dos segmentos

Segmento	Localização
1	Av. Nereu Ramos, entre a R. Marechal Floriano e R. Felipe Schmidt
2	R. Felipe Schmidt, entre a Av. Nereu Ramos e a R. Visconde de Taunay
3	R. Felipe Schmidt, entre a Av. Nereu Ramos e a R. Jorge Lacerda
4	R. Marechal Deodoro, entre a R. Wolfgang Ammon e a R. Manoel Tavares
5	R. Marechal Deodoro, entre a R. Manoel Tavares e a R. Wenzel Kalhofer
6	Av. Dom Pedro II, entre a R. Marechal Deodoro e a Av. Argolo
7	Av. Argolo, entre a Av. Dom Pedro II e a R. Wenzel Kalhofer
8	Av. Argolo, entre a R. Wenzel Kalhofer e a R. Frederico Fendrich Júnior
9	Av. Argolo, entre a R. Frederico Fendrich Júnior e a R. Manoel Tavares
10	R. Wenzel Kalhofer, entre a R. Marechal Deodoro e a Av. Argolo
11	R. Manoel Tavares, entre a R. Marechal Deodoro e a Av. Argolo
12	R. Visconde de Taunay, entre a R. Wolfgang Ammon e a R. Jorge Lacerda
13	R. Jorge Lacerda, entre a R. Marechal Deodoro e a R. Visconde de Taunay
14	R. Visconde de Taunay, entre a R. Jorge Lacerda e a Tv. José Zipperer
15	R. Jorge Lacerda, entre a R. Visconde de Taunay e a R. Barão do Rio Branco
16	Tv. José Zipperer, entre a R. Visconde de Taunay e a R. Barão do Rio Branco
17	R. Barão do Rio Branco, entre a Tv. José Zipperer e a R. Felipe Schmidt
18	R. Barão do Rio Branco, entre a Tv. José Zipperer e a R. Jorge Lacerda

Figura 9: Localização dos segmentos

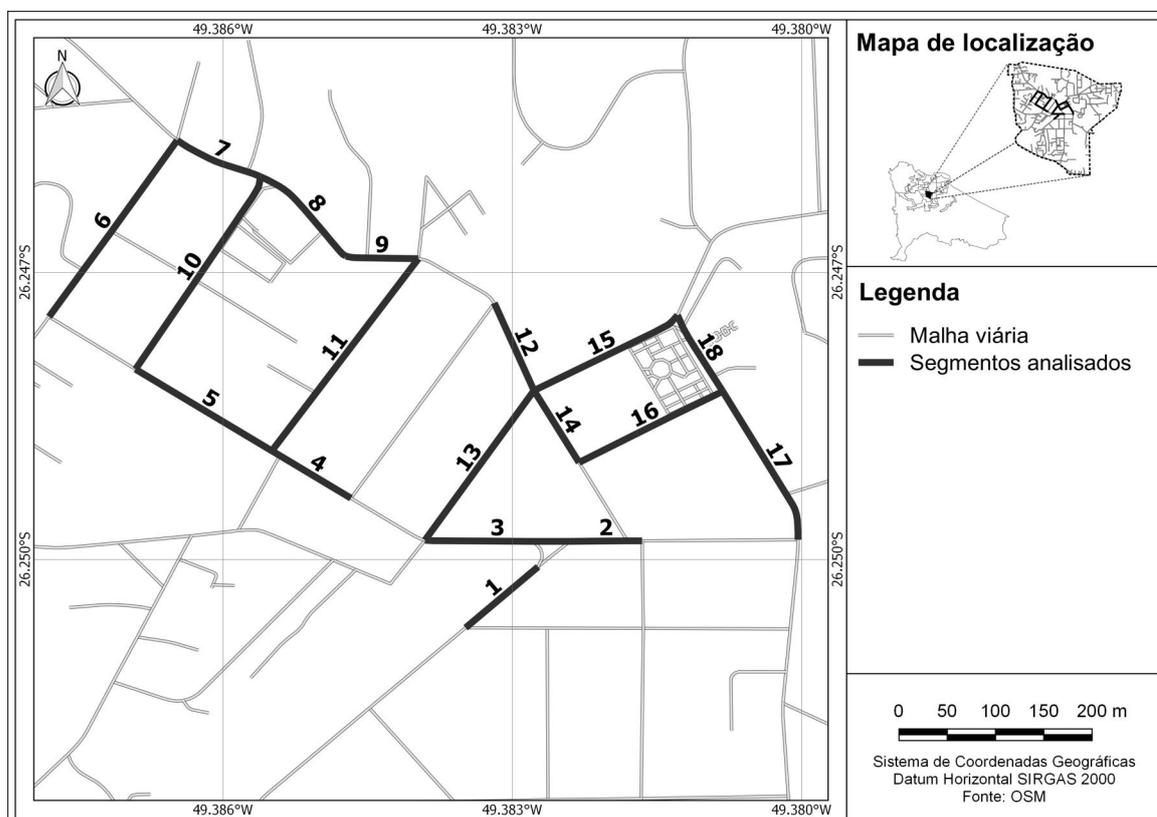


Figura 10: Representação fotográfica dos segmentos analisados



(a) Segmento 1



(b) Segmento 2



(c) Segmento 3



(d) Segmento 4



(e) Segmento 5



(f) Segmento 6



(g) Segmento 7



(h) Segmento 8



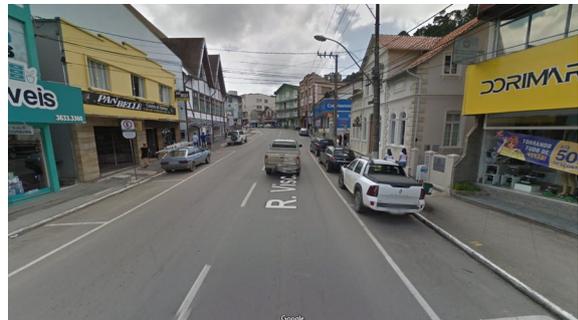
(i) Segmento 9



(j) Segmento 10



(k) Segmento 11



(l) Segmento 12



(m) Segmento 13



(n) Segmento 14



(o) Segmento 15



(p) Segmento 16



(q) Segmento 17



(r) Segmento 18

Fonte: *Google Street View*.

Figura 11: Quantidade de residentes nos setores censitários do bairro Centro

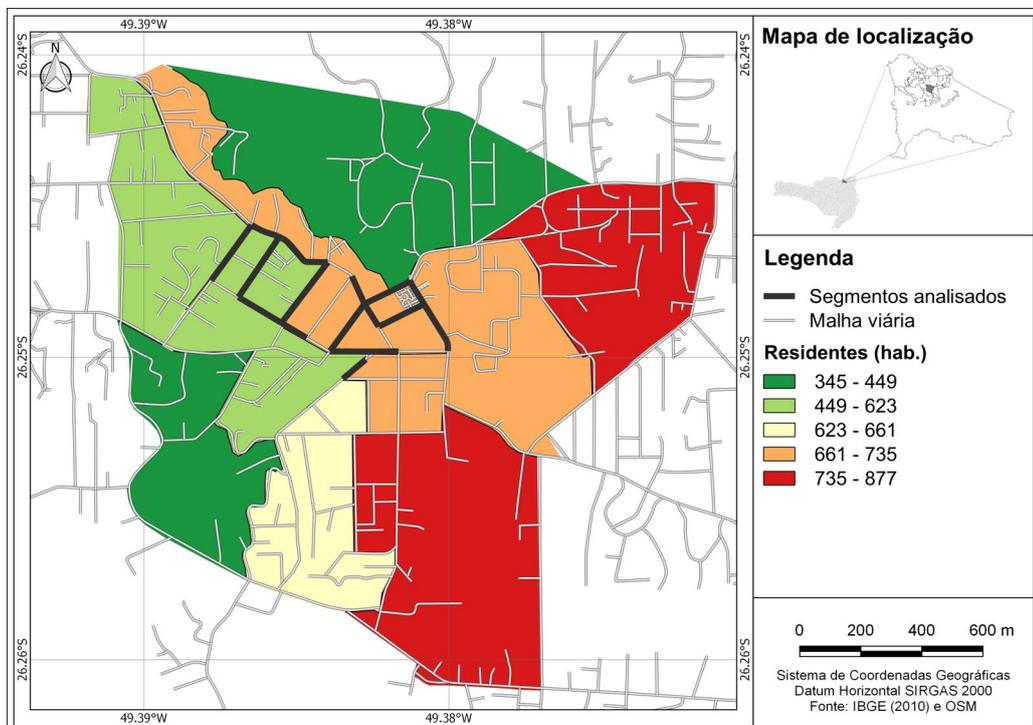


Figura 12: Densidade populacional nos setores censitários do bairro Centro

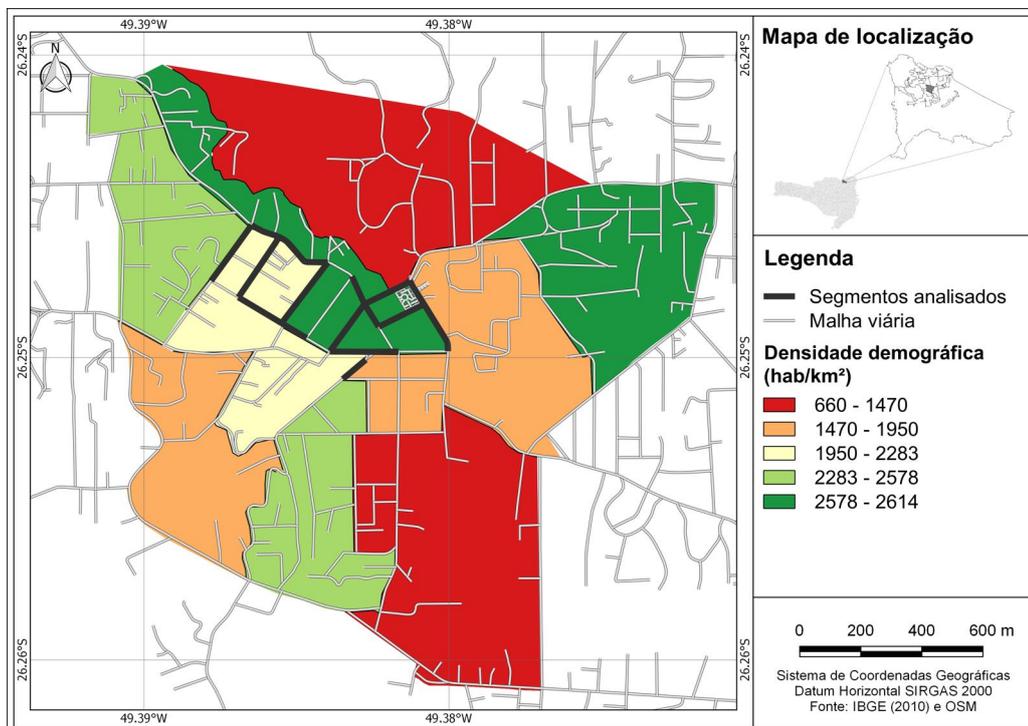
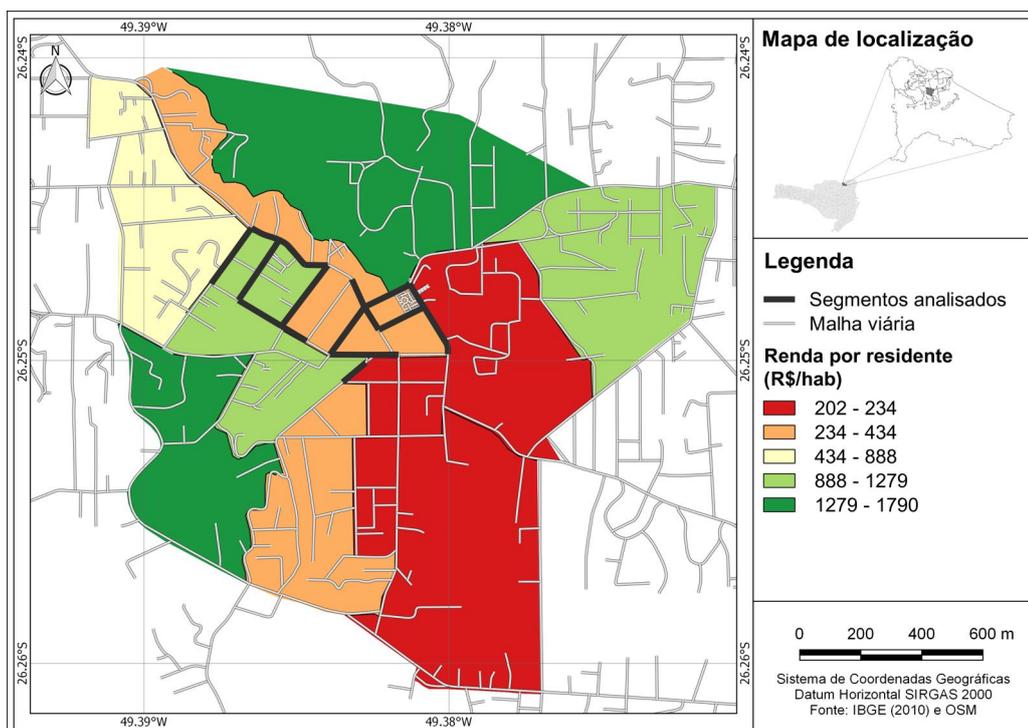


Figura 13: Renda mensal média por residente nos setores censitários do bairro Centro



4.5 Fontes de dados adicionais

Esta seção apresenta as características dos dados de uso do solo e de tráfego obtidos por meio da colaboração de entidades do município, sendo elas a Prefeitura de São Bento do Sul, a empresa WBT e o 23º Batalhão da Polícia Militar. A caracterização dos dados inclui sua estrutura e respectivas limitações.

A Secretaria de Planejamento e Urbanismo da Prefeitura Municipal de São Bento do Sul (PMSBS) possui dados georreferenciados relativos aos seguinte temas:

1. Bairros: composto por vários arquivos *shapefile (.shp)*⁹ no formato de polígonos fechados, um para cada bairro do município, contendo o nome do bairro, seu tipo (urbano/rural), seu código, quantidade de domicílios, de moradores, média de moradores por domicílio e sua área, em m².
2. Censo: composto por dois arquivos *.shp* no formato de polígonos fechados, ambos contendo todos os setores censitários do município, com dados socioeconômicos levantados pelo (IBGE, 2010), e quatro planilhas, contendo os mesmos dados socioeconômicos.
3. Educação: composto por uma planilha contendo uma lista das unidades educacionais do município, seus endereços, quantidades de alunos e funcionários, deficientes ou não.
4. Equipamentos comunitários: composto por três arquivos *.shp*, sendo o primeiro, denominado 'EDUCAÇÃO', na forma de ponto, com a localização de unidades de ensino, o segundo, denominado 'EQUIP COMUNITARIOS', no formato de polígonos fechados, contendo a projeção horizontal das unidades básicas de saúde e educação, e a última, denominada 'EQUIPAMENTOS_COMUN', no formato de pontos, contendo a localização de equipamentos de esporte, unidades de educação, de saúde e campo de pouso.
5. Mobilidade: composto por dois arquivos *.shp*, no formato de pontos, contendo a localização de seis pontos de táxi, e dos quatro terminais urbanos municipais.
6. Patrimônio: composto por dois arquivos *.shp*, sendo o primeiro, denominado 'PATRIMONIO', no formato de ponto, contendo a localização dos patrimônios municipais, e o segundo, de-

⁹ *Shapefile* é um formato de arquivo utilizado por Sistemas de Informações Geográficas (SIG), contendo dados geoespaciais vetoriais.

nominado 'AREA_INFL', em formato de polígono, contendo *buffer* de 50 metros dos pontos dos patrimônios municipais.

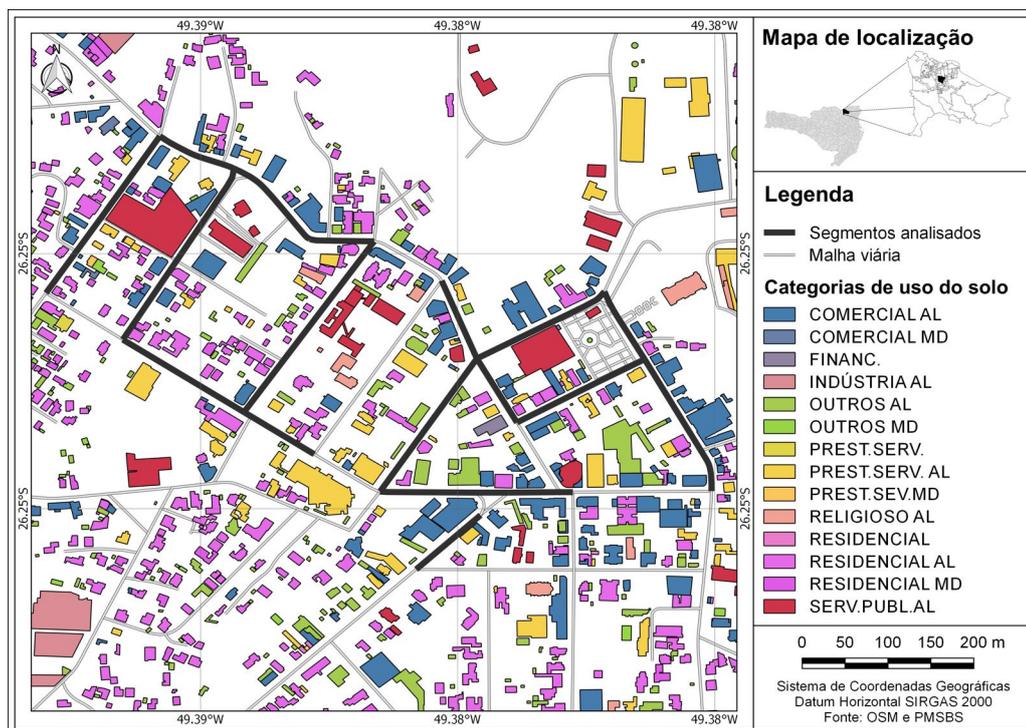
7. Saneamento: composto por cinco arquivos *.shp*, sendo os arquivos denominados 'SA-MAE_COMSUM_V03', e 'INSTALAÇÕES_APOIO_ESGOTO', em formato de ponto, contendo a localização dos pontos consumidores de água e das instalações de apoio do esgoto, respectivamente. O arquivo 'REDE ESGOTO', em formato de linha, contém a representação da rede de esgoto, e os arquivos 'SETORIZAÇÃO_DOMICILIAR', 'SETORIZAÇÃO_SELETIVA2' e 'BACIAS_ESGOTO', em formato de polígonos fechados, contêm a representação dos setores domiciliares e seletivos, e as três bacias de esgoto do município, respectivamente.
8. Saúde: composto por uma planilha contendo uma lista com os estabelecimentos de saúde municipais, seus endereços, cadastros nacionais (CNES), telefones, número de atendimentos por unidade e número de deficientes atendidos.
9. Uso do solo: composto por um arquivo *.dwg*¹⁰ contendo as edificações do município, e um arquivo *.shp*, no formato de polígonos fechados, com os mesmos dados.
10. Viário: composto por dois arquivos *.shp*, no formato de linhas, contendo o sistema viário principal do município, e dos trechos de rodovias que atravessam-no.
11. Zoneamento: composto por um arquivo *.shp*, no formato poligonal fechada, contendo o zoneamento indicado pela Lei n° 1.681/2006.

4.5.1 Dados de uso do solo

Dentre os dados georreferenciados disponibilizados pela prefeitura, foram utilizados neste trabalho o arquivo *.shp* das edificações, as quais são classificadas em 34 categorias, com 16 destas presentes na área de estudo, como ilustra a Figura 14. Tais categorias contêm subdivisões em MD (média) e AL (alta), contudo, tal subdivisão não é esclarecida pela prefeitura e, portanto, foi desconsiderada.

¹⁰Os arquivos DWG foram criados para o software AUTOCAD, da Autodesk, e podem armazenar *designs*, fotos, mapas e dados geométricos.

Figura 14: Dados de uso do solo disponibilizados pela prefeitura de São Bento do Sul



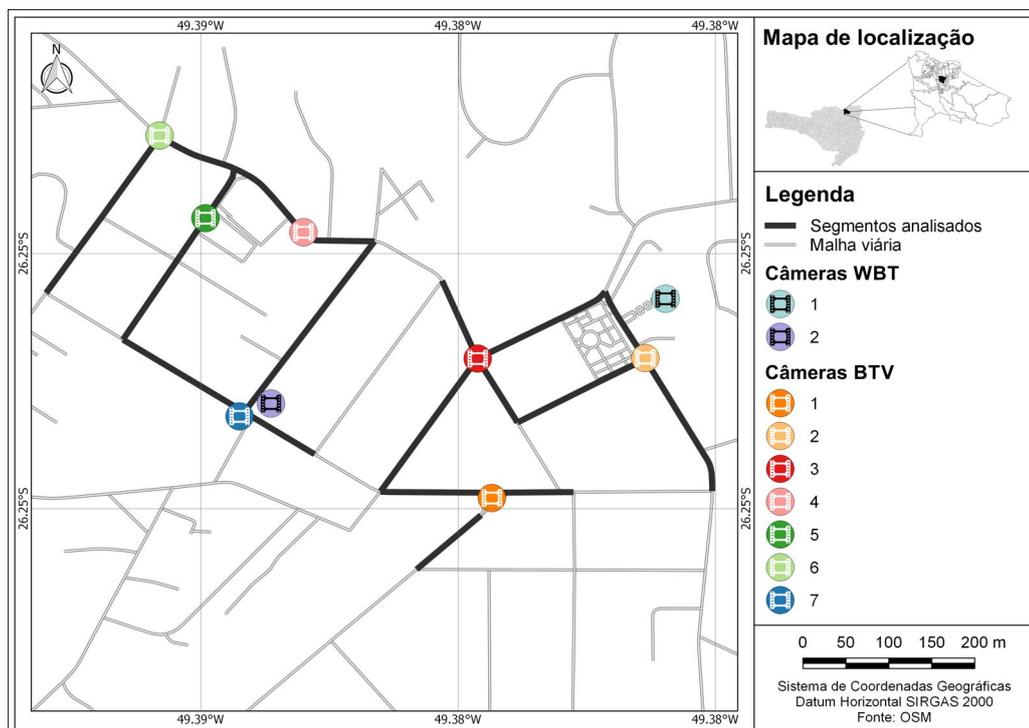
4.5.2 Dados de tráfego

Em São Bento do Sul, a empresa prestadora de serviços de telecomunicação WBT possuía duas câmeras no centro da cidade com transmissão ao vivo pelo seu site¹¹, as quais já não estão mais disponíveis. As duas câmeras eram fixas, e realizavam transmissão 24 horas por dia, todos os dias. Uma delas estava localizada próxima à Igreja Matriz de São Bento do Sul, com vistas para a escadaria e para a esquina entre as Ruas Barão do Rio Branco, Jorge Lacerda e Capitão Ernesto Nunes, e a outra estava localizada na frente da sede da empresa WBT, na esquina entre as Ruas Marechal Deodoro e Manoel Tavares, com vistas para a entrada da Praça Centenário na Rua Marechal Deodoro e para o Hospital e Maternidade Sagrada Família, como é apresentado na Figura 18.

O 23º Batalhão da Polícia Militar (BPM) de São Bento do Sul é o gestor do Programa Bem-Te-Vi de videomonitoramento em São Bento do Sul. O Programa Bem-Te-Vi (BTV) possui 2.450 câmeras que gravam ininterruptamente as interseções mais movimentadas de 115 cidades catarinenses, incluindo São Bento do Sul. Neste estudo foram utilizadas sete câmeras no bairro Centro, cujas localizações são apresentadas na Figura 15, em conjunto com as localizações das câmeras da WBT.

¹¹Disponível em: <https://www.wbtinternet.com.br/aovivo.php>. Acesso em: 02 de Outubro de 2019.

Figura 15: Localização das câmeras



Contudo, as gravações do Programa Bem-Te-Vi possuem algumas limitações que impedem a escolha de determinadas datas, o levantamento de períodos muito longos, e a visualização contínua dos segmentos, são elas:

1. as gravações permanecem, em média, de 15 a 20 dias no sistema do Programa;
2. uma câmera com gravação de uma hora gera um arquivo de, em média, 3Gb;
3. para cada hora gravada, o operador leva uma hora e meia para efetuar o *download* da gravação;
4. as câmeras são do tipo SpeedDome, e possuem campo de visão de 360º na horizontal e 90º na vertical, com magnificação ótica de 20 vezes, e se rotacionam em intervalos uniformes, cujos períodos variam a depender da interseção.

A Figura 16 apresenta o campo de visão das câmeras ao vivo da empresa WBT e a Figura 17, das câmeras do programa BTV. Para as últimas, a Tabela 14 apresenta os respectivos tempos de ciclo de rotação.

A Figura 18 apresenta imagens reais do campo de visão das duas câmeras fixas da WBT e, a fim de representar a visualização e comportamento de rotação e ampliação das câmeras do BTV, a Figura 19 apresenta o campo de visão da câmera 1, com vistas para os segmentos 14, 17 e 19.

Figura 16: Campo de visão das câmeras ao vivo da empresa WBT

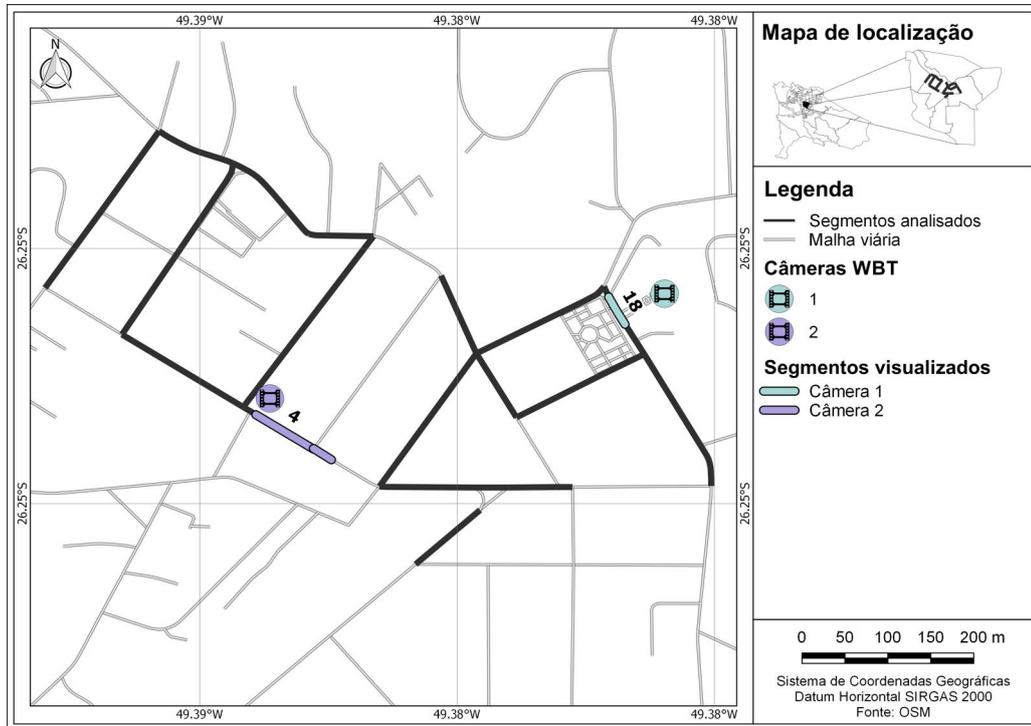


Figura 17: Campo de visão das câmeras do programa BTV

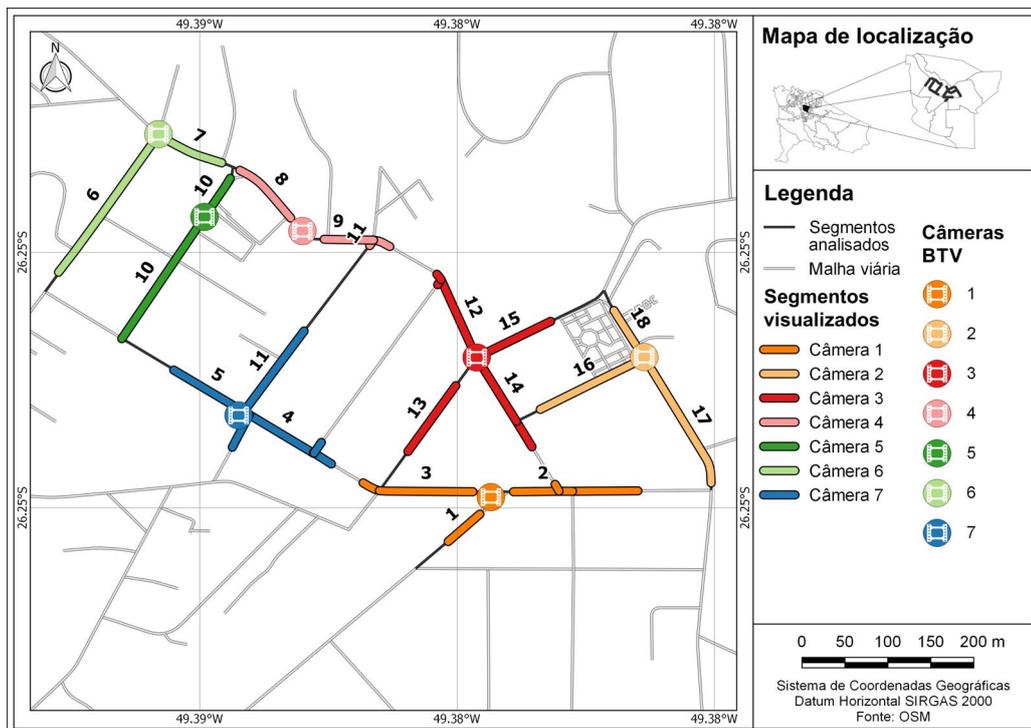


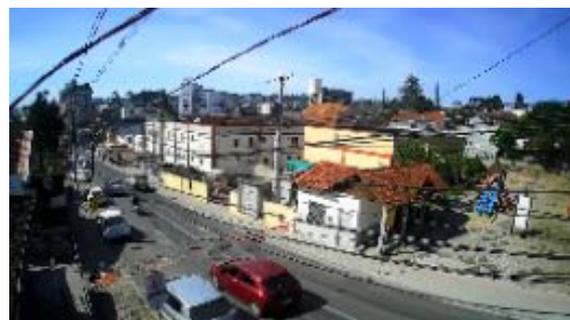
Tabela 14: Duração dos ciclos de rotação das câmeras do programa BTV

Câmera	Ciclo Total
1	64 segundos
2	48 segundos
3	48 segundos
4	24 segundos
5	42 segundos
6	70 segundos
7	65 segundos

Figura 18: Visão das câmeras de transmissão ao vivo da WBT



(a) Visão da câmera próxima à Igreja Matriz (1)



(b) Visão da câmera próxima ao Hospital e Maternidade Sagrada Família (2)

Figura 19: Visão da câmera 1 para os segmentos 14, 17 e 19



(a) Vista para o segmento 14



(b) Vista para o segmento 17



(c) Vista afastada para o segmento 19



(d) Vista aproximada do segmento 19

5 Resultados obtidos

Esta seção apresenta os resultados obtidos ao longo do método de trabalho, contemplando as particularidades da aplicação do método na área de estudo, considerando os dados disponíveis e a caracterização das variáveis independentes nos segmentos analisados.

5.1 Contagens de tráfego

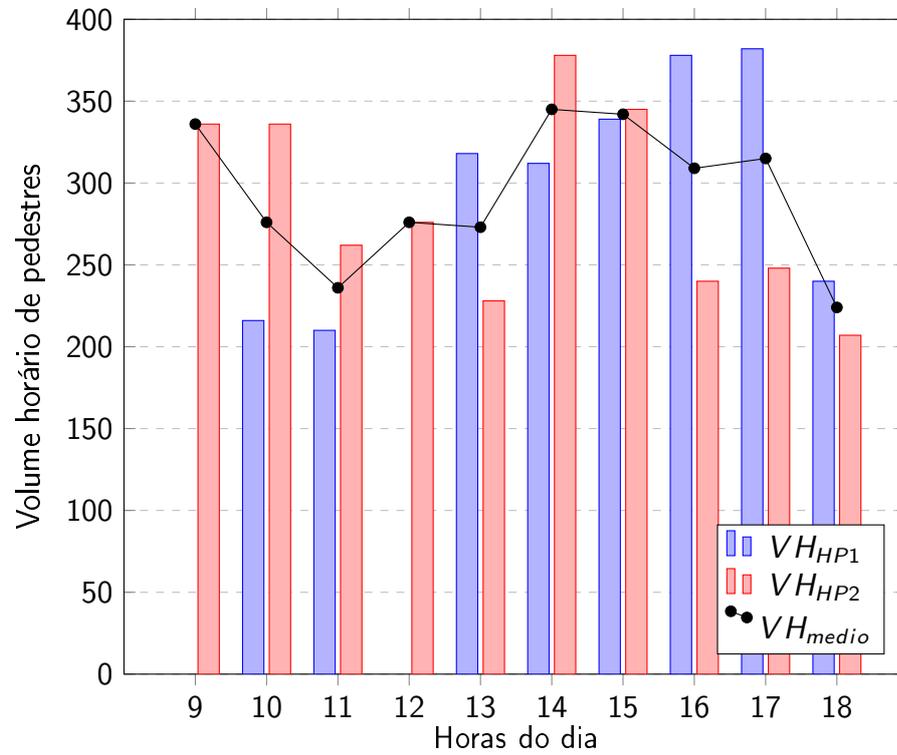
Dada a disponibilidade das câmeras de vídeo de transmissão ao vivo da empresa WBT e de gravação ininterrupta do programa Bem-Te-Vi na área de estudo e, conforme suas respectivas limitações apresentadas na seção 4.5.2, as câmeras WBT foram utilizadas para determinação da hora de pico, a qual foi definida como o cenário temporal para as contagens nos segmentos gravados pelo BTV.

As contagens de tráfego para determinação da hora de pico foram realizadas ao longo de quatro dias não consecutivos (25/09/2019, 26/09/2019, 01/10/2019 e 02/10/2019), no período das 9 às 19 horas, pelas duas câmeras de transmissão ao vivo da WBT, localizadas na Igreja Matriz (câmera 1) e na sede da WBT (câmera 2). Os volumes horários médios resultantes das contagens de pedestre na câmera 1, VH_1 , e na câmera 2, VH_2 , são apresentados na Tabela 15 e Figura 20, onde VH_m representa a média de volumes horários entre os dois postos de contagem e é identificada a hora de pico com volume horário igual a 345 pedestres, no período das 14h-15h.

Tabela 15: Volume horário médio e por posto de contagem

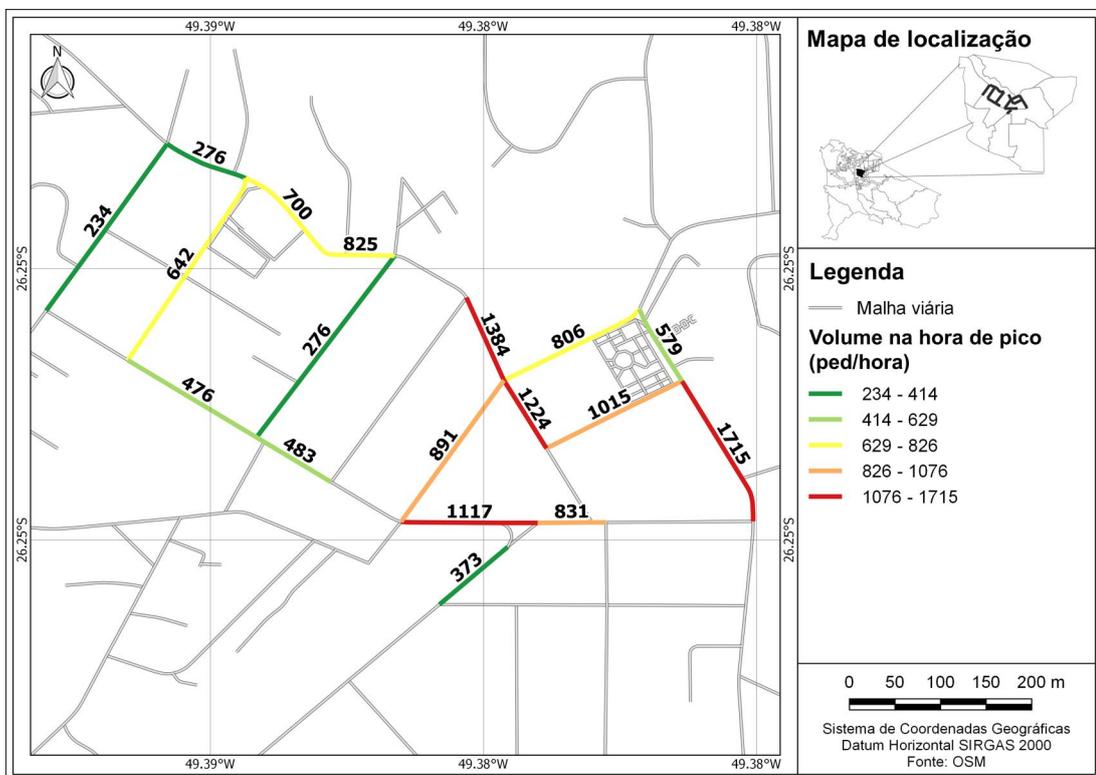
Faixa horária (h)	VH_1 (ped/hora)	VH_2 (ped/hora)	VH_m (ped/hora)
9 - 10	-	336	336
10 - 11	216	336	276
11 - 12	210	262	236
12 - 13	-	276	276
13 - 14	318	228	273
14 - 15	312	378	345
15 - 16	339	345	342
16 - 17	378	240	309
17 - 18	382	248	315
18 - 19	240	207	224

Figura 20: Volume horário por posto de contagem



Assim, as gravações na hora de pico, disponibilizadas pelo 23º BPM, foram utilizadas para realização da contagem de pedestres nos segmentos visualizados integralmente nas gravações. Os volumes resultantes das contagens são apresentados na Figura 21.

Figura 21: Volume horário de pico nos segmentos



5.2 Fatores de influência

Após o levantamento bibliográfico de variáveis possivelmente influentes no movimento de pedestres e de seus procedimentos de levantamento, são definidas quais variáveis terão seus dados efetivamente levantados, de acordo com a disponibilidade de dados secundários e dos recursos para levantamento de dados primários.

A Tabela 16 apresenta e descreve todas as variáveis selecionadas para a construção do modelo explicativo do volume de tráfego de pedestres deste trabalho, considerando sua categoria, seu nome, o código utilizado no banco de dados georreferenciado, a unidade de medida da variável, a fonte dos dados e sua forma de levantamento, cujos resultados são apresentados nas seções seguintes.

Tabela 16: Descrição das variáveis

Categoria	Nome	Código	Unidade	Fonte	Descrição
Identificação	Identificação dos segmentos	trecho	-	Própria	-
Variável dependente	Volume do fluxo de pedestres na hora-pico	demanda_hr	ped/ hora	Programa Bem-Te-Vi	Contagem manual nas gravações
Variáveis socioeconômicas	Residentes	resid	Residentes	IBGE	Quantidade de residentes no setor censitário indicada no banco de dados do Censo 2010
	Domicílios	domicilio	Domicílios	IBGE	Quantidade de domicílios no setor censitário indicada no banco de dados do Censo 2010
	Residentes por domicílios	res_dom	Residentes/Domicílio	IBGE	Quantidade de residentes média por domicílio no setor censitário indicada no banco de dados do Censo 2010
	Renda mensal total	rend_tot	R\$	IBGE	Renda mensal total por setor censitário indicada no banco de dados do Censo 2010
Continua na próxima página					

Tabela 16 – Descrição das variáveis (continuação)

Categoria	Nome	Código	Unidade	Fonte	Descrição
Variáveis socioeconômicas	Renda mensal média por residente	rend_res	R\$/residente	IBGE	Renda mensal média por residente indicada no banco de dados do Censo 2010
	Renda mensal média por domicílio	rend_dom	R\$/domicílio	IBGE	Renda mensal total por domicílio indicada no banco de dados do Censo 2010
Fatores de influência global/ Uso do solo	Área construída de uso residencial	c1_'xx'm	m ²	PMSBS e <i>Google Street View</i>	Soma da área construída das edificações residenciais a 'xx' metros dos segmentos, dada pelo produto da projeção horizontal das edificações e suas quantidades de andares
	Área construída de uso comercial	c2_'xx'm	m ²	PMSBS	Vide c1_'xx'm, para usos comerciais.
	Área construída de uso institucional, de equip. púb. ou estações de transp.	c3_'xx'm	m ²	PMSBS	Vide c1_'xx'm, para usos institucionais
	Área construída de uso industrial ou logístico	c4_'xx'm	m ²	PMSBS	Vide c1_'xx'm, para usos industriais
	Área construída de uso misto (residencial e comercial)	c5_'xx'm	m ²	PMSBS	Vide c1_'xx'm, para usos mistos
	Número de edificações de uso residencial	n1_'xx'm	edificações	PMSBS	Quantidade de edificações residenciais a 'xx' metros dos segmentos
	Número de edificações de uso comercial	n2_'xx'm	edificações	PMSBS	Vide n1_'xx'm, para usos comerciais
Continua na próxima página					

Tabela 16 – Descrição das variáveis (continuação)

Categoria	Nome	Código	Unidade	Fonte	Descrição
Fatores de influência global/ Uso do solo	Número de edificações de uso institucional, de equip. púb. ou estações de transp.	n3_ 'xx' m	edificações	PMSBS	Vide n1_ 'xx' m, para usos institucionais
	Número de edificações de uso industrial ou logístico	n4_ 'xx' m	edificações	PMSBS	Vide n1_ 'xx' m, para usos industriais
	Número de edificações de uso misto (residencial e comercial)	n5_ 'xx' m	edificações	PMSBS	Vide n1_ 'xx' m, para usos mistos
	Entropia	E_ 'xx' m	-	PMSBS	Entropia dos usos a 'xx' metros dos segmentos
Fatores de influência global/ SE	Integração	integr	-	<i>OpenStreet-Map</i>	A malha viária é processada no programa <i>DepthMapX</i> para obtenção do mapa axial e medidas sintáticas
	Inteligibilidade	inteli	-	<i>OpenStreet-Map</i>	Quociente entre as medidas sintáticas de integração e conectividade
Fatores de influência local	Deslocamento vertical	desloc_ vert	metros	<i>OpenStreet-Map</i>	Diferença entre a elevação dos nós limítrofes do segmento de via
	Extensão dos segmentos	extensao	metros	<i>OpenStreet-Map</i>	Extensão projetada da linha média dos segmentos
	Declividade longitudinal	declividade	m/m	<i>OpenStreet-Map</i>	Quociente entre o deslocamento vertical e o deslocamento horizontal
Continua na próxima página					

Tabela 16 – Descrição das variáveis (continuação)

Categoria	Nome	Código	Unidade	Fonte	Descrição
Fatores de influência local	Trabalho despendido para atravessar o segmento	trabalho	Joule	OSMnx	$\tau = F \cdot \Delta s$, onde τ é o trabalho despendido, F é uma força unitária, e Δs é o deslocamento, dado pela raiz quadrada da soma dos quadrados do deslocamento vertical e horizontal
	Quantidade de buracos	n_buraco	buracos	Própria	Quantidade de buracos existentes nas calçadas dos segmentos
	Extensão de sombra e abrigo nas calçadas	ext_sombra	metros	Própria	Medição da extensão de coberturas que forneçam sombra/abrigo aos pedestres
	Porcentagem de sombra e abrigo no segmento	porc_sombra	%	Própria	Quociente da extensão de sombra e abrigo pela extensão da calçada
	Nota de sombra e abrigo	sombra	-	Própria	Nota da adequabilidade dos equipamentos de sombra e abrigo nas calçadas
	Largura útil mínima de calçada	larg_util	metros	Própria	Medição da largura útil mínima ao longo do segmento
	Nota da largura das calçadas	larg	-	Própria	Nota da adequabilidade da largura das calçadas ao longo do segmento
	Nota da pavimentação	pavim	-	Própria	Nota das condições de pavimentação das calçadas ao longo do segmento
	Nota das travessias	trav	-	Própria	Nota da adequabilidade das travessias que se conectam às calçadas
	Nota do tipo da via	tipo	-	Própria	Nota da tipologia e velocidade regulamentar das vias

Continua na próxima página

Tabela 16 – Descrição das variáveis (continuação)

Categoria	Nome	Código	Unidade	Fonte	Descrição
Fatores de influência local/ SE	Conectividade angular	con_ang	-	<i>OpenStreet-Map</i>	A malha viária é processada no programa <i>DepthMapX</i> para obtenção do mapa angular e medidas sintáticas
	Conectividade axial	conect	-	<i>OpenStreet-Map</i>	A malha viária é processada no programa <i>DepthMapX</i> para obtenção do mapa axial e medidas sintáticas
	Escolha	escolha	-	<i>OpenStreet-Map</i>	Vide conect

5.2.1 Variáveis socioeconômicas

As variáveis socioeconômicas levantadas em nível de setor censitário, atribuídas ao segmento por proporção de área em relação a um *buffer* de 500 metros dos segmentos são apresentadas nas Figuras 22 e 23.

Figura 22: Residentes nos segmentos

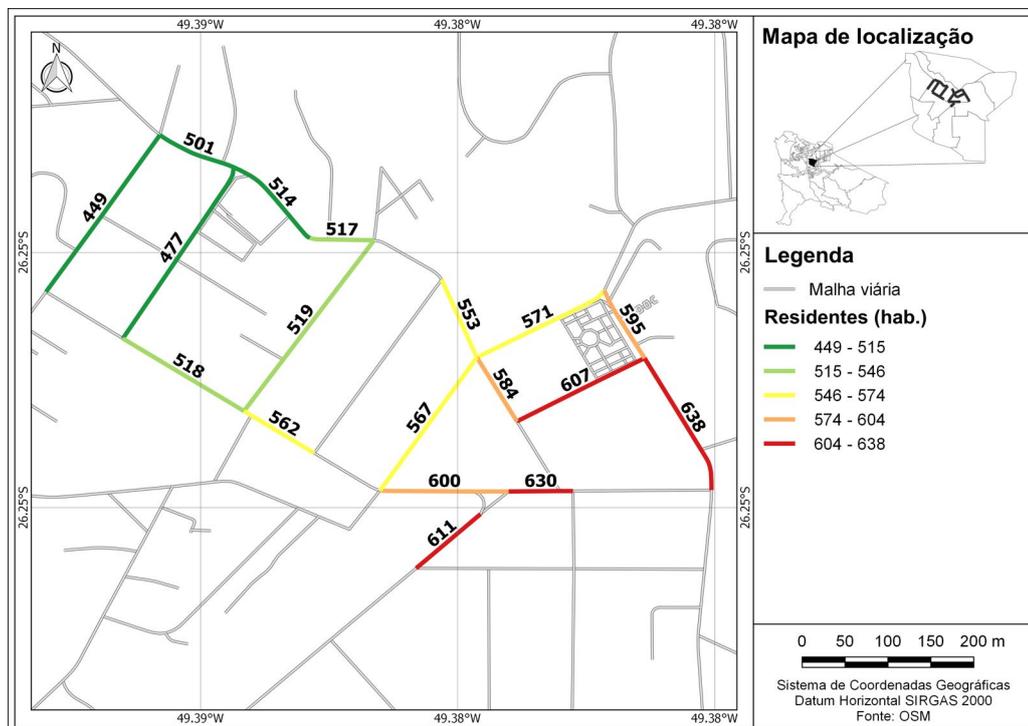
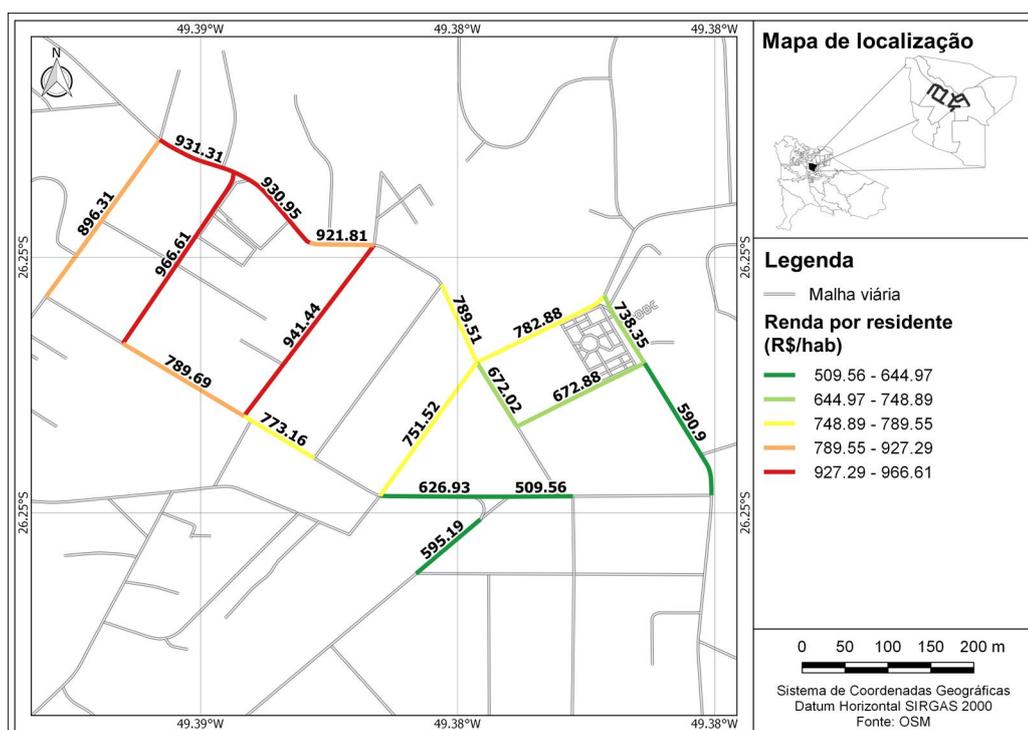


Figura 23: Renda por residente nos segmentos



5.2.2 Fatores de influência global

Nesta seção são apresentados os resultados do levantamento das variáveis referentes aos fatores de influência global, dado pela caracterização das edificações interceptadas por um *buffer* de 100 metros, assim como pelas medidas sintáticas globais dos segmentos analisados.

As categorias de uso do solo utilizadas neste trabalho são aquelas apresentadas por ITDP (2018), com adição da categoria uso misto. A adição se deu pela alta quantidade de edificações de uso misto na área de estudo, e compreende as edificações que apresentam uso comercial no primeiro pavimento e uso residencial a partir do segundo pavimento. Os resultados do levantamento de variáveis de uso do solo são apresentados na Figura 24, e das medidas sintáticas, nas Figuras 25 e 26.

Figura 24: Edificações atualizadas de acordo com nova categorização do uso de solo

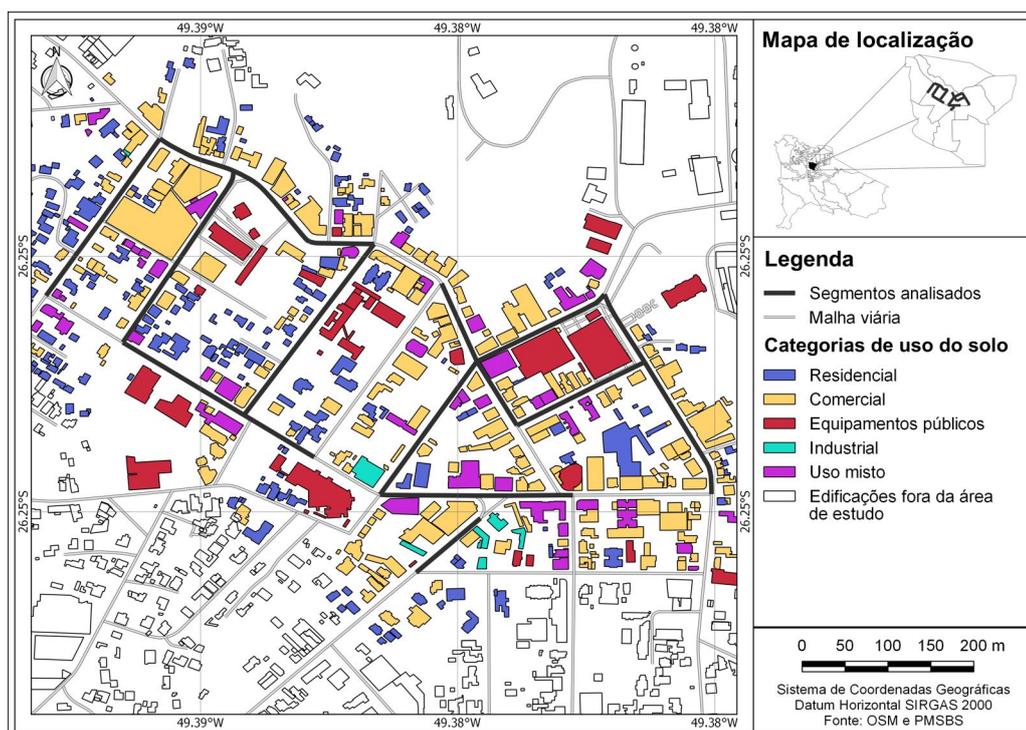


Figura 25: Integração dos segmentos

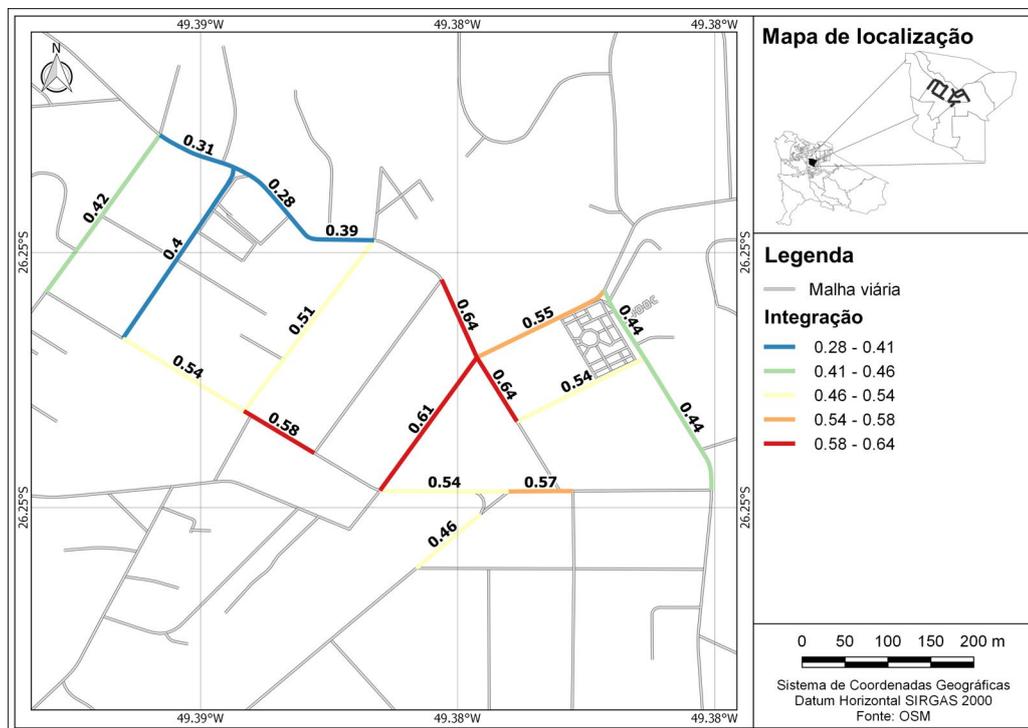
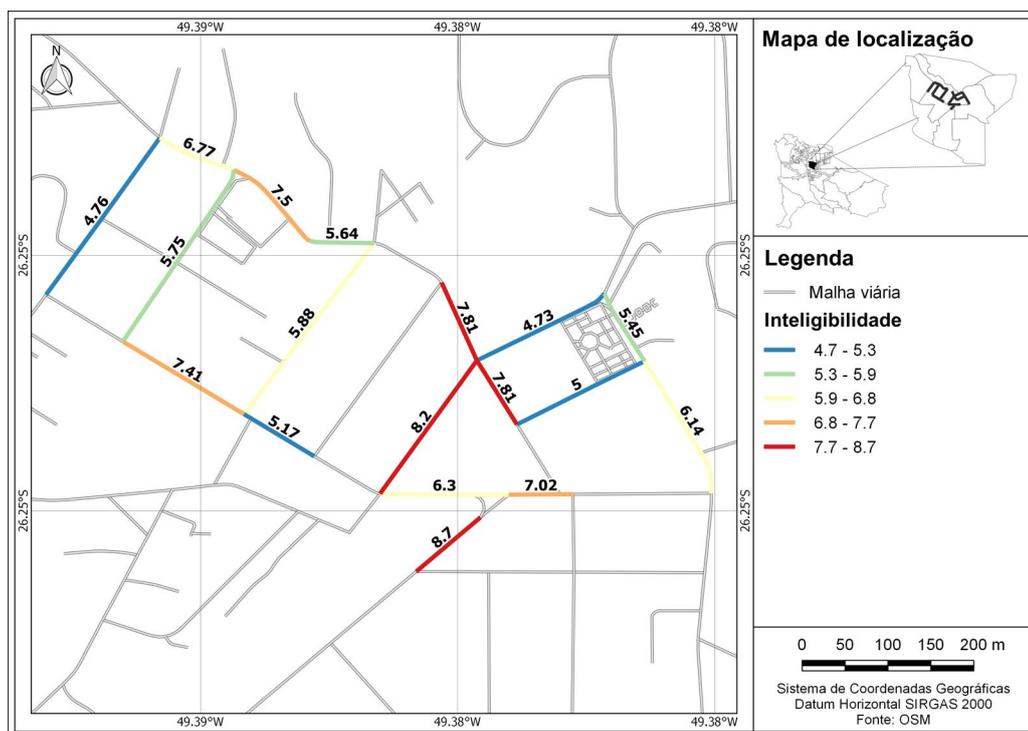


Figura 26: Inteligibilidade dos segmentos



5.2.3 Fatores de influência local

Nesta seção são apresentados os resultados do levantamento das variáveis referentes à caracterização dos equipamentos para pedestres e da segurança viária, assim como as medidas sintáticas locais dos segmentos analisados.

Os valores levantados para as variáveis relativas aos equipamentos para pedestres, representado pelas notas de adequabilidade da pavimentação, largura, travessias e disponibilidade de sombra e abrigo são apresentados nas Figuras 27, 28, 29 e 30. As notas atribuídas à tipologia das ruas, de acordo com tipo de compartilhamento entre modos e velocidade máxima permitida na via, relacionada à segurança para pedestres, são apresentadas na Figura 31, e a declividade longitudinal e o trabalho despendido para atravessar o trecho longitudinalmente são apresentados nas Figuras 32 e 33.

Os resultados do levantamento das medidas sintáticas locais, representadas pela conectividade angular, conectividade axial e escolha, são apresentadas nas Figuras 34, 35 e 36.

Figura 27: Notas atribuídas à pavimentação dos segmentos

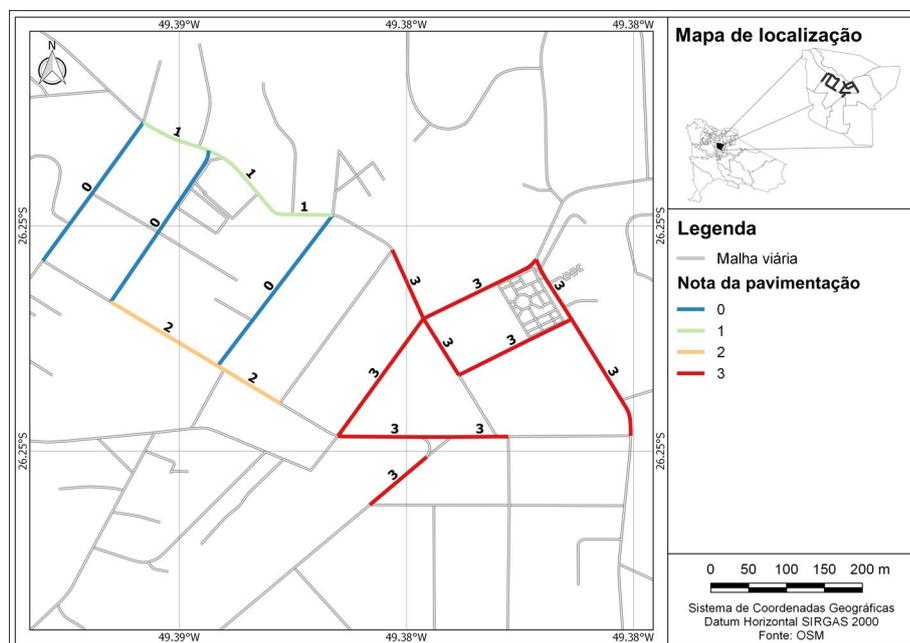


Figura 28: Notas atribuídas às larguras dos segmentos

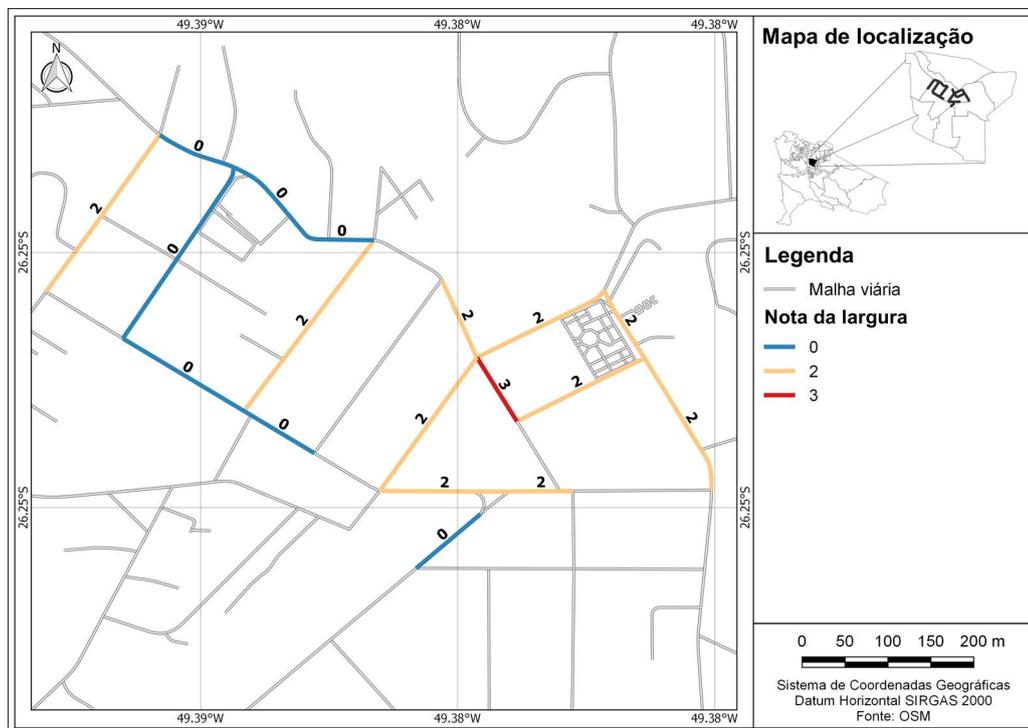


Figura 29: Notas atribuídas às travessias que partem dos segmentos

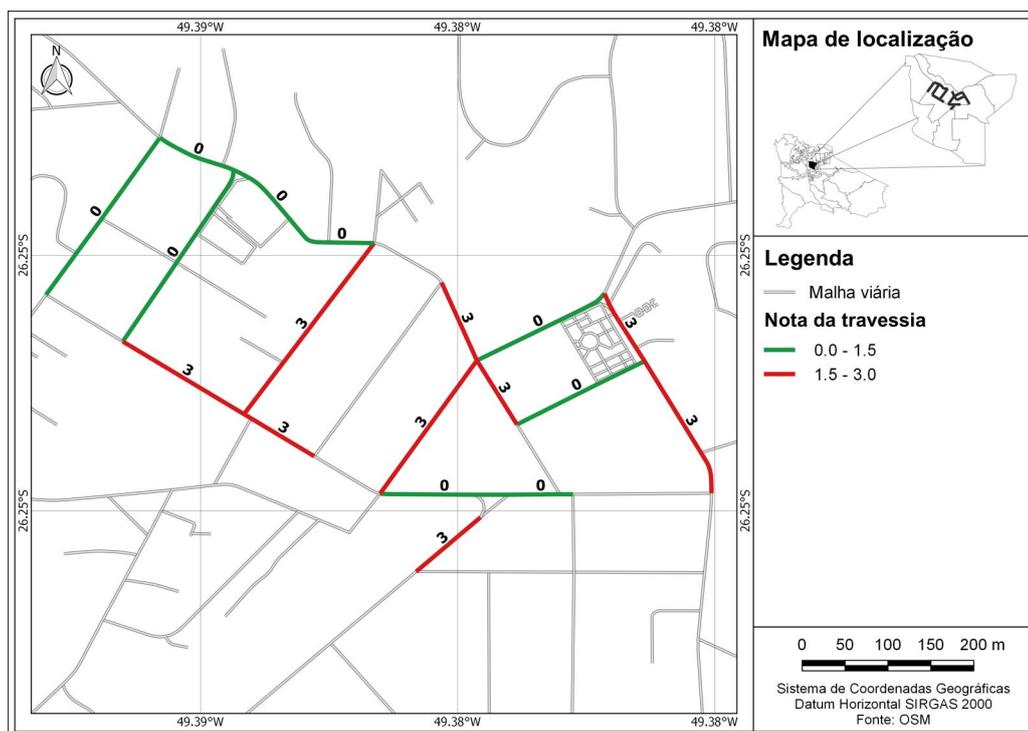


Figura 30: Notas atribuídas à sombra e abrigo nos segmentos

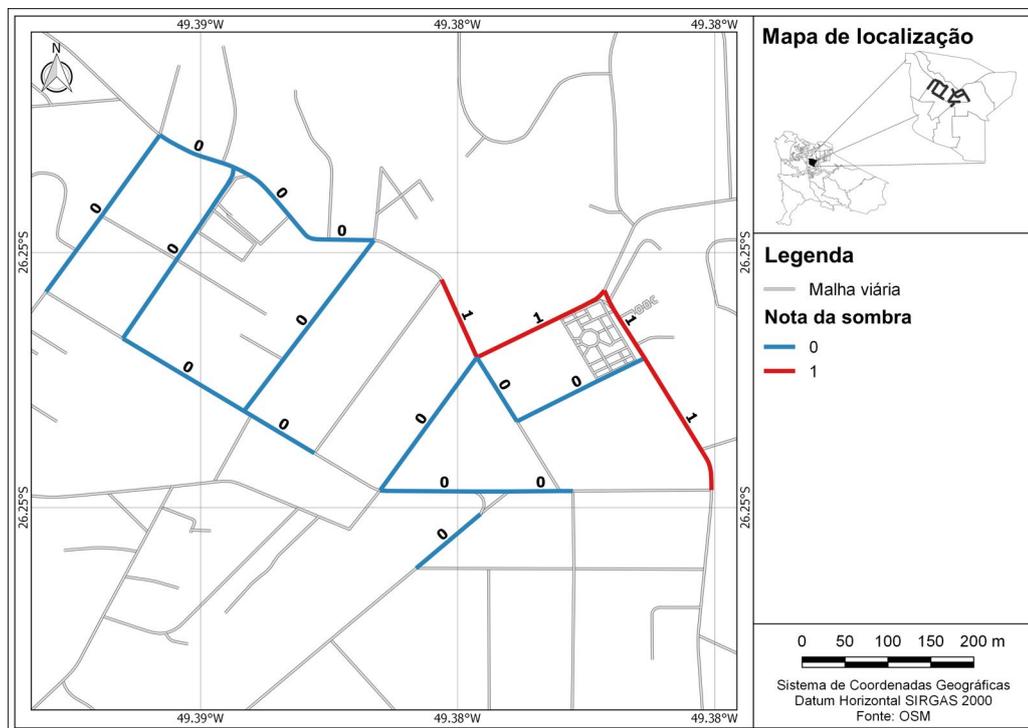


Figura 31: Notas atribuídas às tipologias das ruas

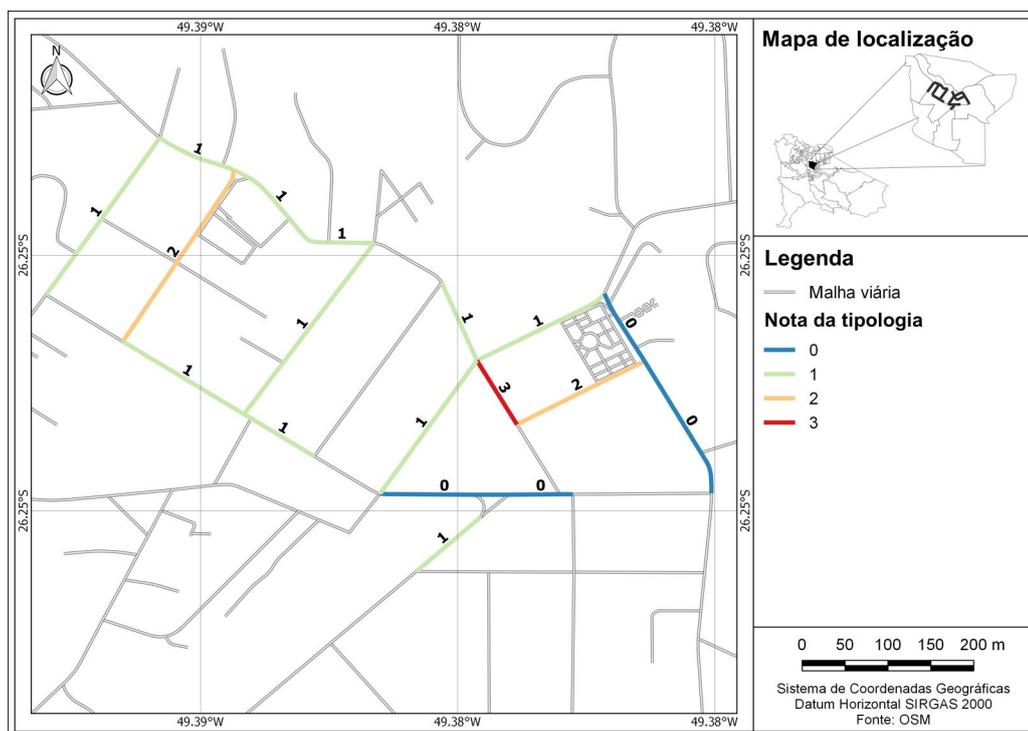


Figura 32: Declividade longitudinal dos segmentos

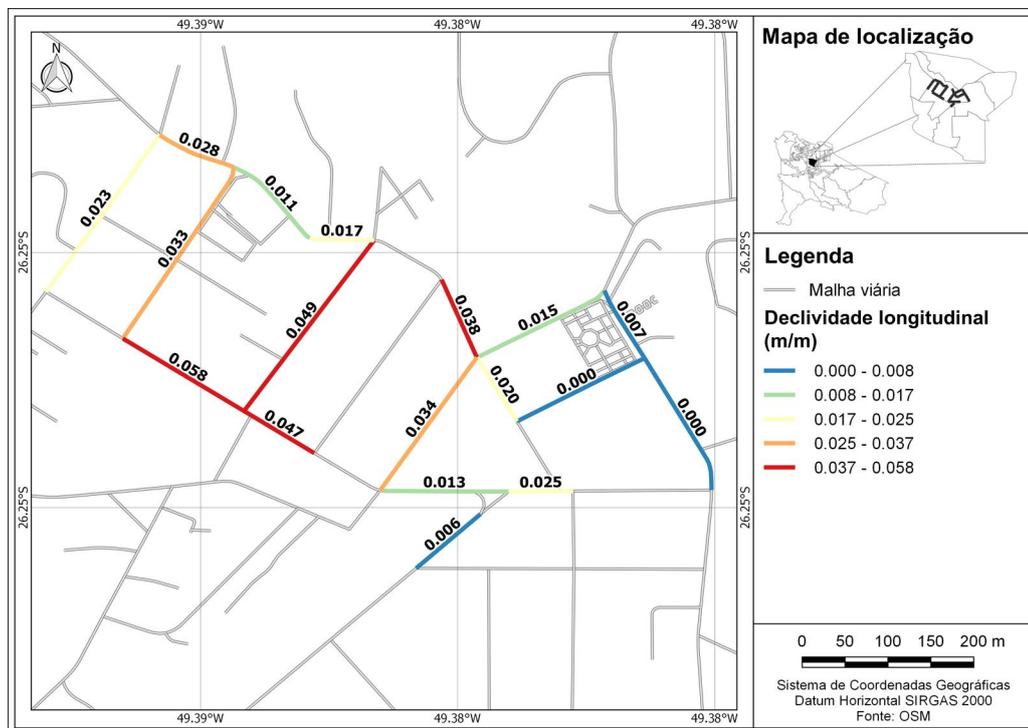


Figura 33: Trabalho despendido para percorrer os segmentos

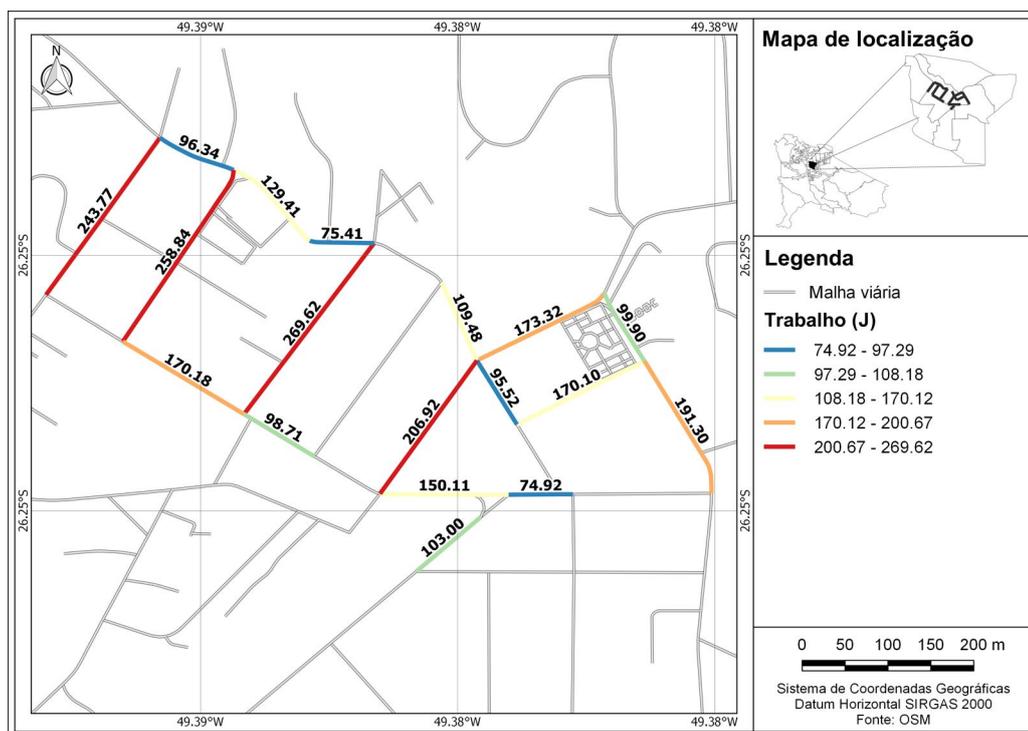


Figura 34: Conectividade angular dos segmentos

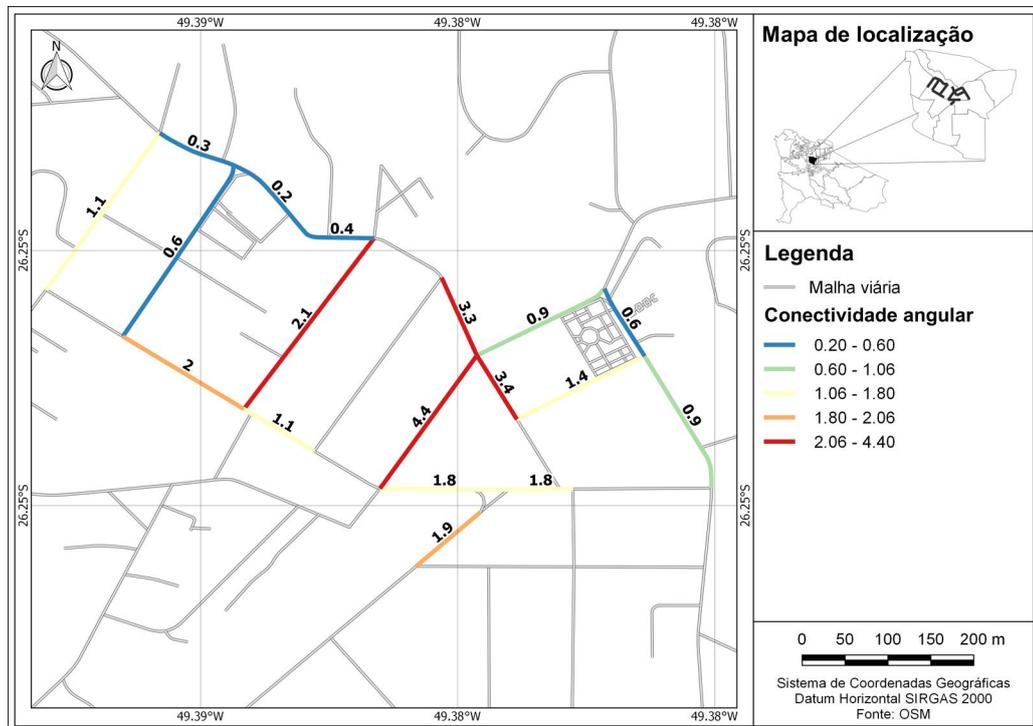


Figura 35: Conectividade dos segmentos

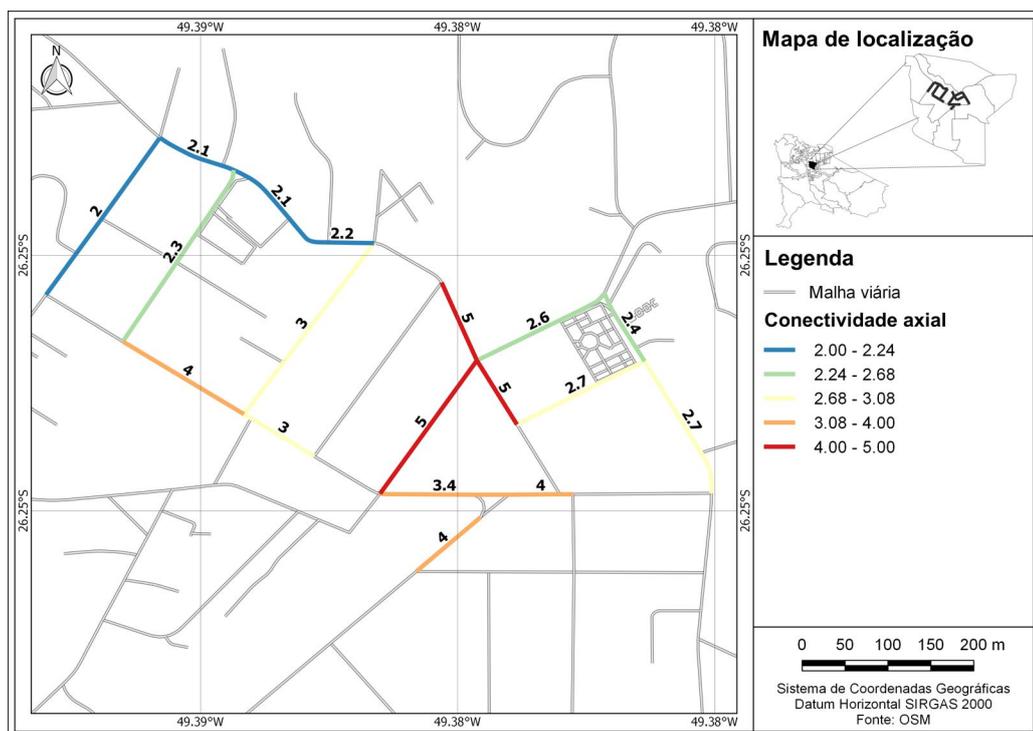
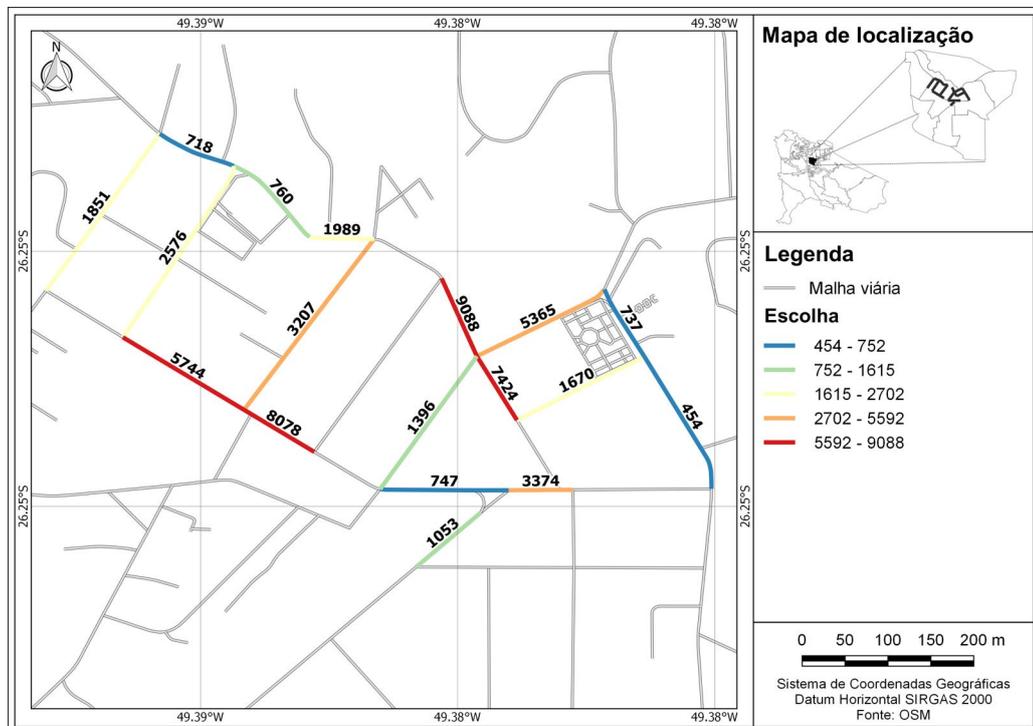


Figura 36: Escolha dos segmentos



5.3 Regressão linear múltipla

Nesta seção são apresentados os resultados parciais obtidos ao longo da seleção das variáveis cujas combinações de até seis elementos são testadas para determinação do modelo de regressão linear múltipla explicativo da demanda de pedestres na hora de pico na região central de São Bento do Sul.

Os resultados das regressões simples das variáveis que foram utilizadas para justificar a escolha de variáveis testadas para a regressão múltipla, com a identificação de suas categorias, Variáveis socioeconômicas (Socioec), Fatores de influência local (Local), Fatores de influência global (Global) e de seus indicadores estatísticos (R^2 , valor p e t), são apresentados em sua totalidade no Apêndice F, e as 50 variáveis com maior R^2 , cujas combinações de até cinco elementos foram testadas para elaboração do modelo são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17: Influência individual dos fatores influentes

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	valor-p	valor-t
Local	Nota da condição de pavimentação das calçadas	pavim	0,362	0,008	3,011
Socioec.	Quantidade de residentes	residentes	0,334	0,012	2,836
Local	Quantidade de buracos nas calçadas	n_buraco	0,323	0,014	-2,766
Socioec.	Quantidade de domicílios	domicilio	0,320	0,014	2,743
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 10m	n2_10m	0,312	0,016	2,691
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 100m	n1_100m	0,306	0,017	-2,655
Socioec.	Quantidade média de residentes por domicílio	res_por_do	0,298	0,019	2,607
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 100m	n2_100m	0,294	0,020	2,583
Local	Extensão de equipamentos de sombra/abrigo	ext_sombra	0,290	0,021	2,557
Socioec.	Renda média mensal total	rend_tot	0,281	0,024	-2,498
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 75m	n2_75m	0,273	0,026	2,453
Socioec.	Renda média mensal por residente	rend_res	0,249	0,035	-2,306
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 60m	n2_60m	0,247	0,036	2,292
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 75m	n1_75m	0,243	0,038	-2,268
Local	Nota da adequação da largura das calçadas	larg	0,243	0,038	2,263
Socioec.	Renda média mensal por domicílio	rend_dom	0,226	0,046	-2,160
Local	Nota da presença de equipamentos de sombra/abrigo	sombra	0,224	0,047	2,150

Continua na próxima página

Tabela 17 – Influência individual dos fatores influentes (continuação)

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	valor-p	valor-t
Local	Porcentagem da extensão de equipamentos de sombra/abrigo	porc_sombra	0,219	0,050	2,120
Global/US	Entropia das edificações em 100m	E_100m	0,217	0,051	2,107
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 60m	n1_60m	0,202	0,061	-2,014
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 25m	n2_25m	0,202	0,061	2,012
Local	Deslocamento vertical entre nós do segmento	desloc_vert	0,192	0,069	-1,950
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 30m	n2_30m	0,172	0,088	1,820
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 100m	c5_100m	0,168	0,091	1,797
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 100m	c2_100m	0,166	0,093	1,785
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 50m	c3_50m	0,163	0,097	1,764
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 60m	c3_60m	0,148	0,115	1,664
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 20m	n2_20m	0,147	0,116	1,664
Global/SE	Integração global	integr	0,147	0,116	1,662
Local	Declividade longitudinal	declividade	0,144	0,120	-1,644
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 50m	n1_50m	0,145	0,120	-1,644
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 100m	c3_100m	0,143	0,122	1,631
Global/SE	Conectividade axial	conect	0,138	0,129	1,599
Local	Esforço para atravessar as calçadas	esforco	0,137	0,131	-1,594
Global/US	Entropia das edificações em 25m	E_25m	0,127	0,147	1,525
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 25m	n1_25m	0,108	0,182	-1,395
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 10m	c5_10m	0,095	0,214	1,294
Global/SE	Conectividade angular	con_ang	0,093	0,220	1,278
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 30m	n1_30m	0,090	0,227	-1,256
Local	Largura útil das calçadas	larg_util	0,088	0,232	1,243
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 75m	c2_75m	0,087	0,235	1,233
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 60m	c1_60m	0,086	0,237	-1,230

Continua na próxima página

Tabela 17 – Influência individual dos fatores influentes (continuação)

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	valor-p	valor-t
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 25m	c1_25m	0,081	0,252	-1,190
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 10m	c2_10m	0,080	0,256	1,177
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 50m	n2_50m	0,079	0,259	1,171
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 20m	n1_20m	0,079	0,260	-1,168
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 50m	c5_50m	0,067	0,299	-1,074
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 10m	n5_10m	0,059	0,331	1,002
Global/US	Área construída de edificações industriais em 10m	c4_10m	0,059	0,333	-0,998
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 10m	n4_10m	0,059	0,333	-0,998
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 20m	n4_20m	0,055	0,347	-0,969

Assim, com as 50 variáveis selecionadas, foram testadas todas as combinações possíveis de até cinco elementos para elaboração de modelos de regressão linear múltipla. Os dez modelos com maior coeficiente de determinação ajustado são apresentados na Tabela 18.

O modelo explicativo do fluxo de pedestre na área central de São Bento do Sul é composto pelas variáveis de quantidade de domicílios, da área construída de edificações de uso misto, da quantidade de edificações de uso residencial, sendo as duas últimas relativas a um raio de 10 metros dos segmentos, da porcentagem de extensão de sombra/abrigo e a largura mínima útil das calçadas.

Os coeficientes das variáveis revelam que o aumento em uma unidade normalizada da variável domicílio, quando permanecem fixas todas as outras variáveis, acarreta no aumento de 107% do volume de pedestres na hora-pico, enquanto o aumento em uma unidade normalizada na quantidade de edificações de uso comercial num raio de 10 metros, aumenta o volume de pedestres em 53%, a largura mínima útil, 29,9%, a área construída das edificações de uso misto, 26,3% e a porcentagem da extensão de sombra, 24,7%.

As Tabelas 19 e 20 apresentam os indicadores estatísticos gerais e específicos do modelo explicativo, e a Figura 37 apresenta os gráficos de resíduos para cada variável componente do modelo de regressão.

Tabela 18: Dez modelos de regressão linear múltipla com maior R² ajustado

Equação de regressão	R ²	R ² aj
$y = -0,905 + 1,070 \cdot \text{domicilio} + 0,263 \cdot \text{c5_10m} + 0,530 \cdot \text{n2_10m} + 0,247 \cdot \text{porc_sombra} + 0,299 \cdot \text{larg_util}$	0,845	0,780
$y = -0,781 + 0,953 \cdot \text{residentes} + 0,269 \cdot \text{c5_10m} + 0,513 \cdot \text{n2_10m} + 0,250 \cdot \text{porc_sombra} + 0,307 \cdot \text{larg_util}$	0,841	0,774
$y = -0,871 + 1,065 \cdot \text{domicilio} + 0,253 \cdot \text{c5_10m} + 0,474 \cdot \text{n2_10m} + 0,233 \cdot \text{ext_sombra} + 0,304 \cdot \text{larg_util}$	0,822	0,748
$y = -1,746 + 1,919 \cdot \text{res_por_do} + 0,340 \cdot \text{c5_10m} + 0,489 \cdot \text{n2_10m} + 0,224 \cdot \text{porc_sombra} + 0,333 \cdot \text{larg_util}$	0,817	0,741
$y = -0,741 + 0,941 \cdot \text{residentes} + 0,260 \cdot \text{c5_10m} + 0,458 \cdot \text{n2_10m} + 0,234 \cdot \text{ext_sombra} + 0,311 \cdot \text{larg_util}$	0,816	0,740
$y = -1,172 + 1,321 \cdot \text{domicilio} + 0,279 \cdot \text{c3_50m} + 0,501 \cdot \text{n2_20m} + 0,305 \cdot \text{porc_sombra}$	0,766	0,694
$y = -0,144 + 0,549 \cdot \text{n2_25m} + 0,345 \cdot \text{pavim} + 0,232 \cdot \text{porc_sombra}$	0,743	0,688
$y = -0,955 + 1,121 \cdot \text{residentes} + 0,268 \cdot \text{c3_50m} + 0,482 \cdot \text{n2_25m} + 0,291 \cdot \text{porc_sombra}$	0,761	0,688
$y = -1,244 + 1,398 \cdot \text{domicilio} + 0,515 \cdot \text{n2_20m} + 0,267 \cdot \text{c3_60m} + 0,287 \cdot \text{porc_sombra}$	0,759	0,685
$y = -0,995 + 1,156 \cdot \text{residentes} + 0,287 \cdot \text{c3_50m} + 0,475 \cdot \text{n2_20m} + 0,308 \cdot \text{porc_sombra}$	0,757	0,682

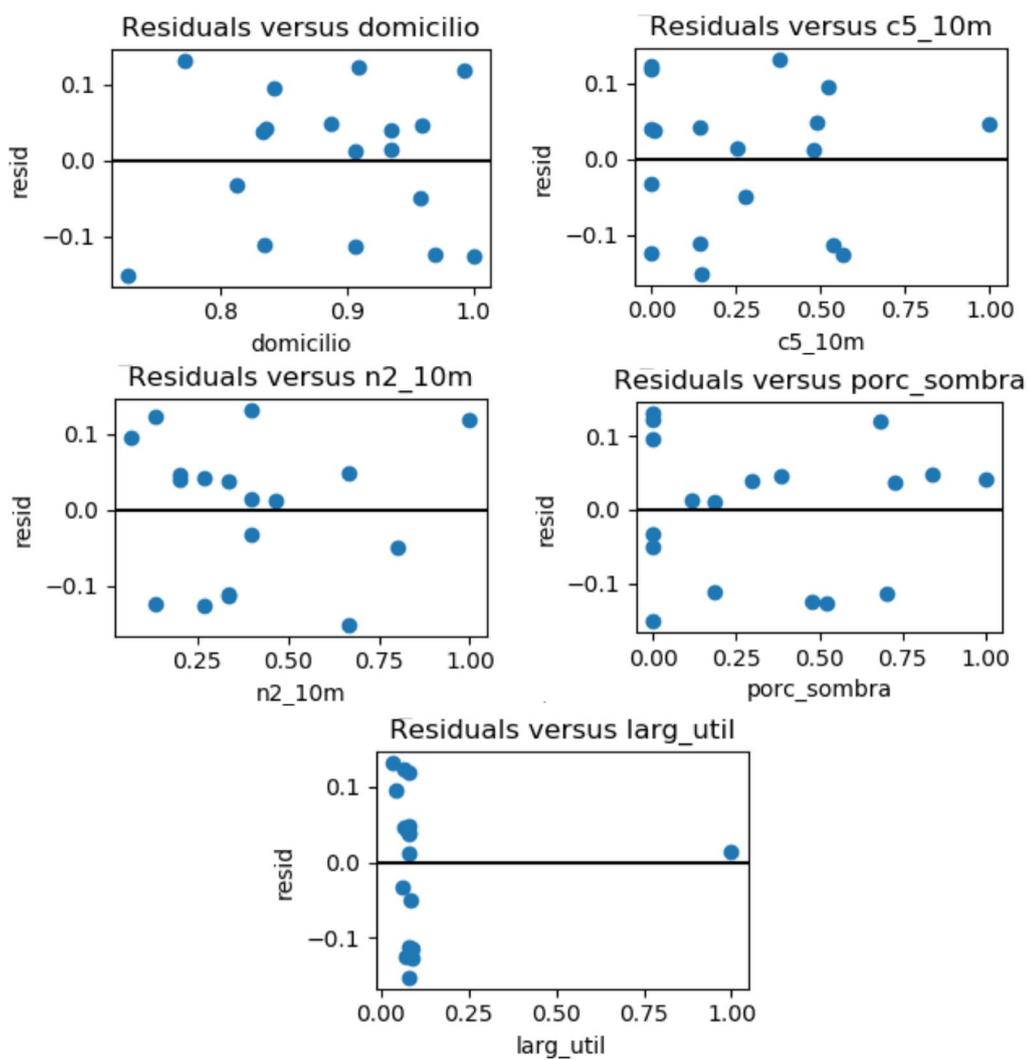
Tabela 19: Resultados estatísticos gerais do modelo explicativo

R ²	0,845
R ² aj	0,780
Estatística F	13,07
Probabilidade da estatística F	0,000165
Número de observações	18

Tabela 20: Resumo dos resultados estatísticos específicos do modelo explicativo

Variáveis	Erro padrão	Valor-t	Valor-p	Inf. 95%	Sup. 95%
Interseção	0,327	-2,766	0,017	-1,618	-0,192
domicilio	0,381	2,807	0,016	0,239	1,900
c5_10m	0,099	2,640	0,022	0,046	0,479
n2_10m	0,111	4,781	0,000	0,288	0,771
porc_sombra	0,085	2,902	0,013	0,062	0,433
larg_util	0,128	2,331	0,038	0,020	0,579

Figura 37: Gráficos de resíduos das variáveis independentes



6 Considerações finais

A teoria sobre a influência do ambiente construído no fluxo de pedestres foi comprovada pelo trabalho, uma vez que o modelo de maior significância, com R^2 considerado alto, contempla fatores de quase todas as categorias analisadas, com exceção das medidas sintáticas.

Dentre as variáveis socioeconômicas, a quantidade de domicílios por setor censitário foi a única contemplada pelo modelo. Contudo o segundo modelo com maior R^2 ajustado contempla todas as mesmas variáveis, com exceção da quantidade de domicílios, que é substituída pela quantidade de residentes. Outra variação do mesmo modelo, substitui a variável *domiclio* pela quantidade média de residentes por domicílio, sendo as variáveis relacionadas à quantidade de pessoas mais relevantes que aquelas relacionadas à renda.

Dentre os fatores globais, foram incluídos no modelo duas variáveis de uso do solo, dadas pela quantidade de edificações de uso comercial (*n2_10m*) e pela soma das áreas construídas das edificações de uso misto (*c5_10m*), ambas interceptadas pelo *buffer* de dez metros, partindo dos segmentos. Neste sentido, duas considerações devem ser feitas sobre as categorias de uso do solo inclusas no modelo: a diferença entre a área construída e a quantidade de edificações, e o tamanho do *buffer* interceptante incluso no modelo.

As categorias inclusas no modelo são de uso comercial e misto, o que é esperado devido à alta rotatividade de pessoas nesses locais e, também, dadas as características da área central, com grande parte da área de estudo dentro de uma zona exclusiva destas categorias. Contudo, a categoria de uso comercial foi incluída por meio de sua variável de quantidade, enquanto a categoria de uso misto foi incluída por meio de sua variável de área construída. Esse resultado pode ser consequência das características da distribuição das unidades residenciais e comerciais dentro de suas respectivas edificações. A quantidade de domicílios não pode ser totalmente explicada pela variável de quantidade de edificações de uso residencial ou misto, uma vez que a região não apresenta edificações residenciais unifamiliares de grande porte, mas sim edifícios residenciais multifamiliares com diversos apartamentos por andar. Assim, a área construída residencial pode representar melhor a quantificação de domicílios do que a quantidade de edificações. Para as edificações de uso comercial, são raras as ocorrências de prédios comerciais e, na maior parte das vezes, uma área construída elevada significa um grande empreendimento comercial e não necessariamente a aglomeração de empreendimentos comerciais.

Quanto ao raio dos *buffers*, percebe-se que, entre os dez modelos mais significativos, os *buffers* de menor raio (10, 20, 25, 50 metros) são inclusos com mais frequência do que raios maiores (60, 75 e 100 metros). Essa consideração fortalece a ideia de que o método de mensuração mais relevante é a consideração, por segmento, apenas das edificações que possuem abertura para os respectivos segmentos, método não aplicado neste trabalho.

Dentre os fatores locais, foram inclusos no modelo a porcentagem de extensão dos equipamentos de sombra e abrigo em relação à extensão dos segmentos e a largura mínima útil das calçadas do segmento. O dia em que foi realizado a contagem era um dia ensolarado e, nestes dias, é comum as pessoas procurarem abrigos da luz e do calor ao longo do dia. Para o caso dos fatores locais, é questionada a relação causal com o fluxo de pedestres, uma vez que as pessoas podem procurar os segmentos com maiores larguras para caminhar, ao mesmo tempo que a Prefeitura pode ter ciência sobre as calçadas mais movimentadas e cobrar dos proprietários lindeiros maiores larguras ou mesmo realizar suas reformas, conforme Lei nº 1676/2006. Da mesma forma, como a existência de equipamentos de sombra e abrigo é frequentemente relacionada à existência de edificações comerciais, sua inclusão no modelo pode ser causal ou apenas relacional.

Quanto à hora de pico encontrada, percebe-se que os segmentos de calçadas selecionados para sua determinação possuem baixo volume de pedestres em relação aos outros segmentos analisados e, também, que seu resultado é diferente dos horários de picos observados frequentemente (começo da manhã e final da tarde). Idealmente, é desejada a inclusão de novos postos de contagem nos segmentos de maior volume de tráfego de pedestres contemplando um período maior de tempo (6h-20h), em mais de um dia para determinação com maior confiança da hora de pico na área de estudo.

O uso de códigos em linguagem de programação viabilizaram a elaboração de todas as regressões possíveis com as 50 variáveis selecionadas em combinações de até cinco elementos, e a própria seleção das variáveis testadas e componentes do modelo. Aliado aos códigos em linguagem de programação, a utilização do PostgreSQL e do PostGIS no processamento de dados cuja unidade de análise era diferente àquela utilizada para o trabalho foi fundamental para a utilização destes dados. Foi fundamental também para a significância do modelo, uma vez que três das cinco variáveis componentes do modelo são resultantes do processamento por meio destas ferramentas.

De forma geral, este estudo pode ser utilizado para a avaliação de mudanças pretendidas na cidade quanto ao impacto gerado nas viagens pedonais e, também, para a construção de propostas que têm como objetivo o incentivo ao transporte pedonal.

Apesar de que os resultados deste trabalho representam apenas os segmentos analisados na área central do município de São Bento do Sul, o procedimento apresentado no trabalho pode ser replicado por outros autores de forma a amplificar o debate sobre o comportamento de pedestres, assim como pelas equipes técnicas das prefeituras de forma a avaliar o custo-benefício das mudanças pretendidas pelo poder público.

Assim, é reforçada a importância da manutenção de informações sobre a malha de calçadas do município e de sua manutenção, com a mesma importância que é dada ao sistema de transportes motorizados e, também, a importância da revisão da atribuição de responsabilidade da construção e manutenção das calçadas aos proprietários lindeiros.

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

A limitação na quantidade de amostras, tanto em relação à quantidade de postos de contagem, quanto à duração destas, diminuem a confiabilidade do estudo e ignoram os diferentes comportamentos em outros horários do dia, dada a variabilidade do comportamento dos pedestres ao longo do dia, ao longo da semana e ao longo do ano. Em horários no final da tarde, por exemplo, espera-se que a influência da sombra nas calçadas não seja tão significativa, mas que a iluminação pública o seja.

O aumento da duração das contagens e consequente identificação dos comportamentos ao longo do dia daria suporte à tomadas de decisão para ampliar as viagens pedonais em diferentes períodos, visando o compartilhamento do espaço público e, consequentemente, o aumento da segurança pública. E ainda, o aumento da quantidade e distribuição de postos de contagem, para determinação da hora de pico e do volume na hora de pico, ao longo do mesmo bairro ou de diferentes bairros e municípios, permitiria uma compreensão mais abrangente sobre o comportamento dos pedestres, em situações diversas.

Apesar de não fazer parte dos objetivos do trabalho, a análise acerca das atividades estacionárias dos pedestres, isso é, da quantidade de pedestres parados nos espaços públicos e das atividades exercidas por estes, é fundamental para a compreensão do fenômeno da apropriação do espaço pelas pessoas. Este permite um entendimento mais aprofundado sobre a dinâmica cultural

da área de estudo e, por conseguinte, a elaboração de propostas que incentivam a apropriação dos espaços públicos pelo seu uso efetivo, além do uso para transporte.

Outra análise fora do escopo deste trabalho, mas que contribui para o conhecimento acerca do comportamento dos pedestres, é a de atração e produção de viagens pedonais dos segmentos, abordando principalmente os fatores de influência global, e variáveis dependentes de fluxo de pedestres baseadas em uma Matriz O/D. Caso haja possibilidade de utilização de variáveis dependentes globais (origem e destino) e locais (volume de tráfego em determinado segmento), a análise pode englobar a caracterização das variáveis em fatores de influência local, que influenciam nas rotas de passagem, ou global, que atraem essas viagens.

Neste trabalho, não foram utilizados dados socioeconômicos como a idade e gênero dos habitantes da área de estudo. No caso da utilização de variáveis dependentes de fluxo de pedestres baseada em Matriz O/D, estes dados poderiam gerar classificações para elaboração de modelos explicativos por grupos de pessoas, relacionando as viagens realizadas por estes grupos com as variáveis relativas ao ambiente construído. Estes resultados são interessantes para avaliar a diversidade de comportamentos e de critérios para tomada de decisão utilizados por diferentes grupos sociais, de forma a procurar criar um ambiente que corresponda à necessidade da maior parte de cidadãos possível.

A falta de significância estatística das medidas sintáticas no modelo explicativo podem ser consequência da falta da transformação logarítmica nas variáveis. Estudos de Hillier B.; Penn (1993) e Cambra, Moura e Gonçalves (2017), por exemplo, utilizam a linearização das variáveis por transformação logarítmica e apresentam melhores resultados para as variáveis linearizadas do que para as não-linearizadas. Assim, o teste de linearização por transformação logarítmica, entre outras, pode ser realizado para tentar obter um modelo ainda mais significativo.

Por fim, dados os recursos disponíveis para este trabalho, não foi possível realizar uma verificação minuciosa dos erros, assim como uma validação dos resultados do modelo conforme procedimento indicado por Ortúzar e Willumsen (2011). Em trabalhos futuros, é importante ser reservada uma parte dos recursos para estas atividades de forma a garantir a credibilidade do estudo perante a área de investigação do tema deste trabalho.

Referências

- Alves, P. Mobilidade urbana sustentável: diretrizes da política brasileira. *Cadernos Adenauer XV nº2*, 2014.
- Amancio, M. A. *Relacionamento entre a forma urbana e as viagens a pé*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, 2005.
- Andrade, V.; Linke, C. C. *Cidades de pedestres: A caminhabilidade no Brasil e no mundo*. [S.l.]: Babilonia Cultura Editorial, 2017.
- Cambra, P.; Moura, F.; Gonçalves, A. On the correlation of pedestrian flows to urban environment measures: A space syntax and walkability analysis comparison case. In: . [S.l.: s.n.], 2017.
- Campos, V. B. G. *Mobilidade sustentável: relacionando transporte e uso do solo*. Dissertação (Mestrado), 2005.
- Cervero, R.; Kockelman, K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1997.
- Daros, E. J. *O Pedestre: 13 condições para torná-lo feliz*. 2000.
- DNIT. *Manual de estudos de tráfego*. [S.l.], 2006.
- Fajardo, W. Caminhabilidade e vitalidade urbana. In: _____. [S.l.]: Babilonia Cultura Editorial, 2017. cap. 8, p. 52–58.
- FHWA. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software*. [S.l.: s.n.], 2004.
- FHWA. *Traffic Monitoring Guide*. [S.l.], 2013.
- Fogliatto, F. S. Estratégias para modelagem de dados multivariados na presença de correlação. *Gestão e Produção*, 2000.
- Gazola, S. *Construção de um modelo de regressão para avaliação de imóveis*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2002.
- Ghidini, R. A caminhabilidade: medida urbana sustentável. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*, 2011.
- Greene-Roesel, R.; Diogenes, M.; Ragland, D. Estimating pedestrian accident exposure: Protocol report. *Institute of Transportation Studies, UC Berkeley, Institute of Transportation Studies, Research Reports, Working Papers, Proceedings*, 01 2007.
- Hillier, B.; Lida, S. Network and psychological effects in urban movement. In: Cohn, A. G.; Mark, D. M. (Ed.). *Spatial Information Theory*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 475–490. ISBN 978-3-540-32020-3.
- Hillier B.; Penn, A. H. J. G. T. X. J. Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. *Environment and Planning B: planning and design*, v. 20, n. n. 1, p. 29–66, 1993.
- Hoffmann, R. *Análise de regressão: uma introdução à econometria*. [S.l.]: Editora HUCITEC, 2016.
- IBGE. *Censo demográfico*. [S.l.], 2010.
- ITDP. *Índice de caminhabilidade: ferramenta*. [S.l.], 2018.

- Jacobs, J. *Morte e vida de grandes cidades*. [S.l.]: Editora WMF Martins Fontes, 1961.
- Klarqvist, B. *A space syntax glossary*. *Nordisk Arkitekturforskning*, 1993.
- Li, M. H. K. C. J. N. J. N. W. *Applied Linear Statistical Models*. [S.l.]: McGraw-Hill/Irwin, 2004.
- Malatesta, M. Caminhabilidade e segurança: o desafio do desenho urbano nas cidades brasileiras. In: _____. [S.l.]: Babilonia Cultura Editorial, 2017. cap. 6, p. 35–41.
- MCidades. *Gestão integrada mobilidade urbana*. [S.l.], 2006.
- Neves, C. E. T. *Análise da relação entre o ambiente construído e a escolha pelo modo a pé por meio de modelo espacial de escolha discreta*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Brasília, 2019.
- Ortúzar, J. de D.; Willumsen, L. *Modelling Transport*. Wiley, 2011. ISBN 9781119993520. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=qWa5MyS4CiwC>>.
- Penn, A. T. M. D. D. O. A. From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 28, p. 103–121, 2001.
- Penn, K. A. A. T. B. H. S. I. A. *Space Syntax Methodology*. 4a edição. ed. London: [s.n.], 2014.
- Pereira, R. H. M. et al. *O uso da sintaxe espacial na análise do desempenho do transporte urbano: limites e potencialidades*. [S.l.], 2011.
- Petesch, E. M. C. F. G. L. M.; Vorvick, T. *Bicycle and pedestrian data collection manual*. [S.l.], 2017.
- Seabra, L. O.; Taco, P. W. G.; Dominguez, E. M. Sustentabilidade em transportes: do conceito às políticas públicas de mobilidade urbana. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*, 2013.
- Sebrae/SC. *Santa Catarina em Números: São Bento do Sul*. 2010. Estudos e Pesquisas.
- TRB. *Guidebook on Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection*. Washington, DC: Transportation Research Board (TRB), 2014. Disponível em: <<https://www.nap.edu/catalog/22223/guidebook-on-pedestrian-and-bicycle-volume-data-collection>>.
- Turner, A. From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 34, p. 539–555, 2007.
- Vargas, J. C.; Netto, V. M. Condições urbanas de caminhabilidade. In: _____. [S.l.]: Babilonia Cultura Editorial, 2017. cap. 14, p. 96–102.
- Vasconcellos, E. A. de. Andar nas cidades de Brasil. In: _____. [S.l.]: Babilonia Cultura Editorial, 2017. cap. 4, p. 22 – 27.
- Zacharias, J. Pedestrian Behavior and Perception in Urban Walking Environments. *Journal of Planning Literature*, 2001.
- Zampieri, F. L. L. *O fenômeno social do movimento de pedestres em centros urbanos*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS), 2012.

A Script para processamento dos dados socioeconômicos

O script utilizado para atribuição dos dados socioeconômicos aos segmentos do banco de dados georreferenciado é apresentado a seguir.

```
1
2 import psycopg2
3
4 colunas = [ "domicilio", "residentes", "res_por_do", "rend_tot", "rend_dom",
5             "rend_res" ]
6
7 col_fonte = [ "dom", "res", "res_dom", "rend_tot", "rend_dom", "rend_res" ]
8
9 con = psycopg2.connect("host=localhost dbname=tcc_fer user=postgres password
10                        =fer" )
11
12 con.set_isolation_level(psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
13
14 with con:
15     cur = con.cursor()
16
17     cur.execute( "SELECT gid FROM base ORDER BY gid" )
18     base_gids = cur.fetchall()
19
20     for base_gid in base_gids:
21
22         cur.execute( "SELECT ST_AsText(ST_Buffer(geom, 500)) FROM base WHERE gid
23                     =%s" % base_gid[0] )
24         link_buffer = cur.fetchall()[0][0]
25
26         cur.execute( "SELECT ST_Area(ST_GeomFromText('%s'))" % link_buffer )
27         area_total = float( cur.fetchall()[0][0] )
28
29         print( "link_buffer = %s" % link_buffer )
30         print( "area total = %s" % area_total )
31
32         cur.execute( "SELECT gid FROM setores WHERE ST_Intersects(
33                     ST_GeomFromText('%s'), geom)" % link_buffer )
34         setores_gids = cur.fetchall()
35
36         for i,coluna in enumerate( colunas ):
```

```

30
31     soma_numerador = 0.0
32
33     for setores_gid in setores_gids:
34
35         cur.execute( "SELECT \"%s\" FROM setores WHERE gid=%s" % ( col_fonte
36 [i], setores_gid[0] ) )
37         valor_atr = float( cur.fetchall()[0][0] )
38
39         cur.execute( "SELECT ST_Area(ST_Intersection(ST_GeomFromText('%s'),
40 (SELECT geom FROM setores WHERE gid=%s)))" % ( link_buffer, setores_gid
41 [0] ) )
42         area_intersecao = float( cur.fetchall()[0][0] )
43
44         print( "intercepta com: %s; area de intersecao = %s" % ( setores_gid
45 [0], area_intersecao ) )
46
47         soma_numerador += valor_atr * area_intersecao
48
49     valor_final = soma_numerador / area_total
50
51     cur.execute( "UPDATE base SET %s=%s WHERE gid=%s" % ( colunas[i],
52 valor_final, base_gid[0] ) )
53
54 con.close()
55
56 print( "FIM" )

```

B Script para processamento dos dados de uso do solo

Assim como a atribuição dos dados socioeconômicos, a atribuição dos dados de uso do solo foi realizada por meio de script que se conecta com a base de dados georreferenciada do PostGIS, conforme apresentado a seguir.

```
1
2 import psycopg2
3
4 colunas = [ "c1", "c2", "c3", "c4", "c5", "n1", "n2", "n3", "n4", "n5" ]
5 col_fonte = [ "ac1", "ac2", "ac3", "ac4", "ac5", "n1", "n2", "n3", "n4", "n5"
6               " ]
7
8 con = psycopg2.connect("host=localhost dbname=tcc_fer user=postgres password
9                        =fer" )
10
11 con.set_isolation_level(psycopg2.extensions.ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
12
13 with con:
14     cur = con.cursor()
15
16     cur.execute( "SELECT gid FROM base_SIRGAS ORDER BY gid" )
17     base_SIRGAS_gids = cur.fetchall()
18
19     for base_SIRGAS_gid in base_SIRGAS_gids:
20
21         cur.execute( "SELECT ST_AsText(ST_Buffer(geom, 60)) FROM base_SIRGAS
22                     WHERE gid=%s" % base_SIRGAS_gid[0] )
23         link_buffer = cur.fetchall()[0][0]
24
25         print( "link_buffer = %s" % link_buffer )
26
27         cur.execute( "SELECT gid FROM usosolo_SIRGAS WHERE ST_Intersects(
28                     ST_GeomFromText('%s'), geom)" % link_buffer )
29         usosolo_SIRGAS_gids = cur.fetchall()
30
31         for i,coluna in enumerate( colunas ):
```

```

28
29     soma_numerador = 0.0
30
31     for usosolo_SIRGAS_gid in usosolo_SIRGAS_gids:
32
33         cur.execute( "SELECT \"%s\" FROM usosolo_SIRGAS WHERE gid=%s" % (
col_fonte[i], usosolo_SIRGAS_gid[0] ) )
34         valor_atr = float( cur.fetchall()[0][0] )
35
36         soma_numerador += valor_atr
37
38         valor_final = soma_numerador
39
40         cur.execute( "UPDATE base_SIRGAS SET %s=%s WHERE gid=%s" % ( colunas[i
], valor_final, base_SIRGAS_gid[0] ) )
41
42
43 con.close()
44
45 print( "FIM" )

```

C Script para atribuição das notas das calçadas

O script utilizado para atribuição das notas dos indicadores, conforme indicado por ITDP (2018) e apresentado na seção 2.2.3 é apresentado a seguir.

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Tue Feb  4 14:06:22 2020
4
5 @author: fernanda.mallon
6 """
7
8 #import pandas as pd
9 import numpy as np
10
11
12 dados_calc = np.genfromtxt('dados_calçadas_real.csv', delimiter =';')
13 dados_calc
14 print("%s" %dados_calc)
15
16 #Largura
17 larg_util = dados_calc[:,13]
18 A = np.zeros((45,1), dtype=int)
19 nota_larg = []
20 for i in range(len(A)):
21     if larg_util[i]<1.5:
22         nota_larg.append(0)
23     if 2>larg_util[i]>=1.5:
24         nota_larg.append(2)
25     if larg_util[i]>=2:
26         nota_larg.append(3)
27 print("nota largura = %s" %nota_larg)
28
29
30 #Tipologia da Rua
31 tipo_rua = dados_calc[:,1]
32 veloc_via = dados_calc[:,2]
33 nota_tipo = []
```

```

34 for i in range(len(A)):
35     if tipo_rua[i]==1:
36         nota_tipo.append(3)
37     if tipo_rua[i]==2 and veloc_via[i]<=20:
38         nota_tipo.append(2)
39     if tipo_rua[i]==3 and veloc_via[i]<=30:
40         nota_tipo.append(2)
41     if tipo_rua[i]==2 and 20<veloc_via[i]<=30:
42         nota_tipo.append(1)
43     if tipo_rua[i]==3 and 30<veloc_via[i]<=50:
44         nota_tipo.append(1)
45     if tipo_rua[i]==2 and veloc_via[i]>30:
46         nota_tipo.append(0)
47     if tipo_rua[i]==3 and veloc_via[i]>50:
48         nota_tipo.append(0)
49 print("nota tipologia = %s" %nota_tipo)
50
51
52 #Sombra e Abrigo
53 ext_sombra = dados_calc[:,12]
54 ext_trecho = dados_calc[:,11]
55 nota_sombra = []
56 cobertura = []
57 for i in range(len(A)):
58     cobertura.append(ext_sombra[i] / ext_trecho[i])
59 print("cobertura = %s" %np.round(cobertura,1))
60 for i in range(len(A)):
61     if cobertura[i]<0.25:
62         nota_sombra.append(0)
63     if 0.5>cobertura[i]>=0.25:
64         nota_sombra.append(1)
65     if 0.75>cobertura[i]>=0.5:
66         nota_sombra.append(2)
67     if cobertura[i]>=0.75:
68         nota_sombra.append(3)
69 print("nota sombra = %s" %nota_sombra)
70

```

```

71
72 #Pavimentacao
73 pavim = dados_calc[:,10]
74 n_buraco = dados_calc[:,9]
75 nota_pav = []
76 for i in range(len(A)):
77     if pavim[i]==0:
78         nota_pav.append(0)
79     if pavim[i]==1 and n_buraco[i]==0:
80         nota_pav.append(3)
81     if pavim[i]==1 and 0<n_buraco[i]<=5:
82         nota_pav.append(2)
83     if pavim[i]==1 and 5<n_buraco[i]<=10:
84         nota_pav.append(1)
85     if pavim[i]==1 and n_buraco[i]>10:
86         nota_pav.append(0)
87 print("nota pavimentacao = %s" %nota_pav)
88
89
90 #Travessias
91 tipo_trav = dados_calc[:,3]
92 fx_ped = dados_calc[:,4]
93 em_niv = dados_calc[:,5]
94 piso_tatil = dados_calc[:,6]
95 espera_2fxs = dados_calc[:,7]
96 tempo_sem = dados_calc[:,8]
97 pontuacao = []
98
99 nota_trav = []
100 for i in range(len(dados_calc)):
101     if tipo_trav[i]==2:
102         pontuacao.append(100)
103     if fx_ped[i] == 1:
104         pontuacao.append(30)
105     if fx_ped[i] == 0:
106         pontuacao.append(0)
107     if em_niv[i] == 1:

```

```

108     pontuacao.append(25)
109     if em_niv[i] != 1:
110         pontuacao.append(0)
111     if piso_tatil[i] == 1:
112         pontuacao.append(15)
113     if piso_tatil[i] != 1:
114         pontuacao.append(0)
115     if tipo_trav[i]==0 and tempo_sem[i]==1:
116         pontuacao.append(30)
117     if tipo_trav[i]==0 and tempo_sem[i]!=1:
118         pontuacao.append(0)
119     if tipo_trav[i]==1 and espera_2fxs[i]==1:
120         pontuacao.append(30)
121     if tipo_trav[i]==1 and espera_2fxs[i]!=1:
122         pontuacao.append(0)
123 pontuacao = np.reshape(pontuacao,(i+1,4))
124 print("pontuacao por atributo=%s" %pontuacao)
125 pontuacao = np.sum(pontuacao, axis=1)
126 print("pontuacao das travessias = %s" %pontuacao)
127 for i in range(len(dados_calc)):
128     if pontuacao[i] >=85:
129         nota_trav.append(3)
130     if pontuacao[i]<85:
131         nota_trav.append(0)
132 print("nota das travessias = %s" %nota_trav)

```

D Script para obtenção das elevações dos nós da malha viária

O script utilizado para obtenção da elevações nos nós da malha viária é apresentado a seguir.

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Tue Feb  4 14:41:47 2020
4
5 @author: fernanda.mallon
6 """
7
8 api_key = "AIzaSyB70aIq9fQp00WNFEoHkDFgu0Gzkw0tBk0"
9 import osmnx as ox, networkx as nx, numpy as np
10 ox.config(log_console=True, use_cache=True)
11
12 # get the street network
13 place_names = ["Sao Bento do Sul, Santa Catarina, Brasil"]
14 G = ox.graph_from_place(place_names, network_type='all')
15
16 # add elevation to each of the nodes, using the google elevation API, then
17     calculate edge grades
18 G = ox.add_node_elevations(G, api_key)
19 G = ox.add_edge_grades(G)
20
21
22 edge_grades = [data['grade_abs'] for u, v, k, data in ox.get_undirected(G).
23     edges(keys=True, data=True)]
24
25 # project the street network to UTM
26 G_proj = ox.project_graph(G)
27
28 # save the retrieved and projected data as a shapefile
29 ox.save_graph_shapefile(G_proj, encoding="utf-8")
```

E Script para cálculo, análise estatística e seleção dos melhores modelos de RLM entre todos os modelos possíveis

O script para cálculo, pré-seleção e análise estatística de todos os modelos de regressão possíveis é apresentado a seguir.

```
1
2 import pandas as pd
3 import sqlite3 as lite
4 import statsmodels.formula.api as sm
5 import itertools
6 import numpy as np
7
8
9 analises = [ "demanda_hr" ]
10
11 con = lite.connect( "database.sqlite" )
12 with con:
13     cur = con.cursor()
14
15     cur.execute( "DROP TABLE IF EXISTS data" )
16     cur.execute( "CREATE TABLE data (analise text, combinacao text, r_squared
17         real, adj_r_squared real, p_values text, t_values text, regressao text,
18         valido integer)" )
19
20 data = pd.read_csv( "variaveis_RLS.csv", sep=',')
21 print( data )
22 variaveis = list( data.columns )[2:]
23
24 print( variaveis )
25
26 for analise in analises:
27
28     for i in range( 1, 3 ):
29         for subconjunto in itertools.combinations( variaveis, i ):
```

```

28     print(subconjunto)
29
30     model = sm.ols( "%s ~ %s" % ( analise, "+".join( list( subconjunto )
) ), data, missing='drop' ).fit()
31     coeficientes = model._results.params
32
33     p_values = model.pvalues
34     t_values = model.tvalues
35
36     passou = True
37     for value in range( len( p_values ) ):
38         if value > 0 and ( p_values[value] > 0.05 or t_values[value] < abs
(2.0) ):
39             passou = False
40
41     if passou == True:
42
43         regressao = "y = %s + " % coeficientes[0]
44         conta = 0
45         for item in list( subconjunto ):
46             regressao += "%s * %s + " % ( coeficientes[conta+1], list(
subconjunto )[conta] )
47             conta += 1
48
49         regressao = regressao[ 0:len( regressao ) - 3 ]
50         r_squared = model.rsquared
51         adj_r_squared = model.rsquared_adj
52
53         p_values_string = ",".join( [ str(valor) for valor in p_values ] )
54         t_values_string = ",".join( [ str(valor) for valor in t_values ] )
55
56         print( "%s: r^2 = %s" % ( analise, r_squared ) )
57         print( "%s: adj_r^2 = %s" % ( analise, adj_r_squared ) )
58         print( "regressao: %s" % regressao )
59         combinacao = ",".join( list( subconjunto ) )
60

```

```

61         cur.execute( "INSERT INTO data (analise, combinacao, r_squared,
adj_r_squared, p_values, t_values, regressao, valido) VALUES ('%s','%s',
        '%s', %s, '%s', '%s', '%s', 1)" % ( analise, combinacao, r_squared,
adj_r_squared, p_values_string, t_values_string, regressao ) )
62         cur.execute( "SELECT combinacao, r_squared, adj_r_squared,
p_values, t_values, regressao FROM data WHERE valido=1" )
63         resultados = cur.fetchall()
64         df = pd.DataFrame(resultados)
65         df.to_csv('resultado_RLM.csv')
66     else:
67         cur.execute( "INSERT INTO data (analise , valido) VALUES ('%s', 0)
" % analise )
68         print("Modelo rejeitado.")
69
70
71
72     print( "===== " )
73     print( "ANALISE = %s" % analise )
74
75     cur.execute( "SELECT combinacao, adj_r_squared, regressao FROM data
WHERE analise='%s' ORDER BY adj_r_squared DESC LIMIT 1" % ( analise ) )
76     result = cur.fetchall()
77
78     if len( result ) > 0:
79
80         print( "Melhor regressao encontrada com a seguinte combinacao de
variaveis:" )
81         print( result[0][0] )
82         print( "r^2 ajustado = %s" % result[0][1] )
83         print( "Regressao:" )
84         print( result[0][2] )
85
86     else:
87
88         print( "Nao foi feita regressao por falta de dados." )
89
90

```

```
91 print( "===== " )
92 print( "===== " )
93 cur.execute( "SELECT COUNT(*) FROM data" )
94 print( "Total de regressoes analisadas = %s" % cur.fetchall()[0][0] )
95
96 con.close()
97
98 print( "FIM!" )
```

F Tabela de resultados das regressões lineares simples com todas as variáveis

Tabela 21: Influência individual dos fatores influentes

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	Valor-p	Valor-t
Local	Nota da condição de pavimentação das calçadas	pavim	0,362	0,008	3,011
Socioec.	Quantidade de residentes	residentes	0,334	0,012	2,836
Local	Quantidade de buracos nas calçadas	n_buraco	0,323	0,014	-2,766
Socioec.	Quantidade de domicílios	domicilio	0,320	0,014	2,743
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 10m	n2_10m	0,312	0,016	2,691
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 100m	n1_100m	0,306	0,017	-2,655
Socioec.	Quantidade média de residentes por domicílio	res_por_do	0,298	0,019	2,607
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 100m	n2_100m	0,294	0,020	2,583
Local	Extensão de equipamentos de sombra/abrigo	ext_sombra	0,290	0,021	2,557
Socioec.	Renda média mensal total	rend_tot	0,281	0,024	-2,498
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 75m	n2_75m	0,273	0,026	2,453
Socioec.	Renda média mensal por residente	rend_res	0,249	0,035	-2,306
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 60m	n2_60m	0,247	0,036	2,292
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 75m	n1_75m	0,243	0,038	-2,268
Local	Nota da adequação da largura das calçadas	larg	0,243	0,038	2,263
Socioec.	Renda média mensal por domicílio	rend_dom	0,226	0,046	-2,160
Local	Nota da presença de equipamentos de sombra/abrigo	sombra	0,224	0,047	2,150
Local	Porcentagem da extensão de equipamentos de sombra/abrigo	porc_sombra	0,219	0,050	2,120
Global/US	Entropia das edificações em 100m	E_100m	0,217	0,051	2,107
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 60m	n1_60m	0,202	0,061	-2,014
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 25m	n2_25m	0,202	0,061	2,012
Local	Deslocamento vertical entre nós do segmento	desloc_vert	0,192	0,069	-1,950
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 30m	n2_30m	0,172	0,088	1,820
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 100m	c5_100m	0,168	0,091	1,797

Continua na próxima página

Tabela 21 – Influência individual dos fatores influentes (continuação)

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	Valor-p	Valor-t
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 100m	c2_100m	0,166	0,093	1,785
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 50m	c3_50m	0,163	0,097	1,764
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 60m	c3_60m	0,148	0,115	1,664
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 20m	n2_20m	0,147	0,116	1,664
Global/SE	Integração global	integr	0,147	0,116	1,662
Local	Declividade longitudinal	declividade	0,144	0,120	-1,644
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 50m	n1_50m	0,145	0,120	-1,644
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 100m	c3_100m	0,143	0,122	1,631
Global/SE	Conectividade axial	conect	0,138	0,129	1,599
Local	Esforço para atravessar as calçadas	esforco	0,137	0,131	-1,594
Global/US	Entropia das edificações em 25m	E_25m	0,127	0,147	1,525
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 25m	n1_25m	0,108	0,182	-1,395
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 10m	c5_10m	0,095	0,214	1,294
Global/SE	Conectividade angular	con_ang	0,093	0,220	1,278
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 30m	n1_30m	0,090	0,227	-1,256
Local	Largura útil das calçadas	larg_util	0,088	0,232	1,243
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 75m	c2_75m	0,087	0,235	1,233
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 60m	c1_60m	0,086	0,237	-1,230
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 25m	c1_25m	0,081	0,252	-1,190
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 10m	c2_10m	0,080	0,256	1,177
Global/US	Quantidade de edificações comerciais em 50m	n2_50m	0,079	0,259	1,171
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 20m	n1_20m	0,079	0,260	-1,168
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 50m	c5_50m	0,067	0,299	-1,074
Continua na próxima página					

Tabela 21 – Influência individual dos fatores influentes (continuação)

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	Valor-p	Valor-t
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 10m	n5_10m	0,059	0,331	1,002
Global/US	Área construída de edificações industriais em 10m	c4_10m	0,059	0,333	-0,998
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 10m	n4_10m	0,059	0,333	-0,998
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 20m	n4_20m	0,055	0,347	-0,969
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 50m	c1_50m	0,055	0,350	-0,962
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 50m	n4_50m	0,051	0,368	-0,927
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 30m	c1_30m	0,049	0,376	-0,912
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 25m	c2_25m	0,044	0,406	0,853
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 30m	n3_30m	0,043	0,409	-0,848
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 20m	c1_20m	0,043	0,411	-0,844
Global/US	Entropia das edificações em 30m	E_30m	0,040	0,426	0,818
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 75m	c1_75m	0,034	0,464	-0,750
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 25m	n4_25m	0,032	0,475	-0,732
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 20m	c2_20m	0,030	0,495	0,698
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 30m	n4_30m	0,029	0,497	-0,696
Global/US	Entropia das edificações em 75m	E_75m	0,029	0,498	0,693
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 60m	c2_60m	0,027	0,512	0,670
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 20m	c5_20m	0,026	0,523	0,653
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 100m	n3_100m	0,026	0,523	0,653
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 25m	n3_25m	0,025	0,527	-0,646
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 10m	c1_10m	0,024	0,536	0,632
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 75m	c5_75m	0,023	0,545	0,618

Continua na próxima página

Tabela 21 – Influência individual dos fatores influentes (continuação)

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	Valor-p	Valor-t
Global/SE	Inteligibilidade	intelig	0,023	0,547	0,615
Global/SE	Escolha	escolha	0,022	0,556	0,601
Local	Trabalho despendido para atravessar o trecho	trabalho	0,0219	0,558	-0,599
Local	Extensão longitudinal dos segmentos	extensao	0,022	0,559	-0,597
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 60m	n3_60m	0,020	0,580	-0,565
Global/US	Área construída de edificações residenciais em 100m	c1_100m	0,018	0,595	-0,542
Local	Nota das travessias contidas no segmento	trav	0,018	0,597	0,539
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 75m	n3_75m	0,016	0,615	-0,514
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 50m	n3_50m	0,014	0,641	-0,476
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 30m	n5_30m	0,014	0,641	0,475
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 50m	c2_50m	0,014	0,645	0,470
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 20m	n3_20m	0,013	0,648	-0,466
Global/US	Entropia das edificações em 60m	E_60m	0,013	0,656	0,454
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 60m	n4_60m	0,009	0,706	-0,385
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 75m	c3_75m	0,009	0,711	0,377
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 10m	c3_10m	0,009	0,715	0,372
Global/US	Entropia das edificações em 20m	E_20m	0,008	0,719	0,366
Global/US	Quantidade de edificações residenciais em 10m	n1_10m	0,008	0,723	-0,360
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 20m	n5_20m	0,008	0,723	0,360
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 75m	n4_75m	0,006	0,756	-0,316
Global/US	Área construída de edificações comerciais em 30m	c2_30m	0,005	0,775	0,290
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 25m	n5_25m	0,005	0,783	0,280
Global/US	Entropia das edificações em 50m	E_50m	0,004	0,799	0,259
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 75m	n5_75m	0,004	0,804	-0,252
Continua na próxima página					

Tabela 21 – Influência individual dos fatores influentes (continuação)

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	Valor-p	Valor-t
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 50m	n5_50m	0,003	0,823	-0,228
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 100m	n5_100m	0,002	0,851	0,191
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 60m	c5_60m	0,002	0,856	0,185
Global/US	Quantidade de edificações industriais em 100m	n4_100m	0,002	0,860	-0,179
Global/US	Área construída de edificações industriais em 20m	c4_20m	0,002	0,861	-0,178
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 30m	c3_30m	0,002	0,867	-0,170
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 25m	c5_25m	0,002	0,877	0,157
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 25m	c3_25m	0,001	0,905	-0,121
Global/US	Área construída de edificações industriais em 100m	c4_100m	0,001	0,912	0,113
Global/US	Área construída de edificações industriais em 30m	c4_30m	0,001	0,916	0,108
Local	Tipologia das vias	tipo	0,001	0,919	-0,103
Global/US	Entropia das edificações em 10m	E_10m	0,001	0,920	-0,102
Global/US	Área construída de equipamentos públicos em 20m	c3_20m	0,000	0,944	-0,071
Global/US	Área construída de edificações industriais em 75m	c4_75m	0,000	0,946	0,069
Global/US	Área construída de edificações industriais em 50m	c4_50m	0,000	0,947	-0,067
Global/US	Área construída de edificações industriais em 25m	c4_25m	0,000	0,949	0,065
Global/US	Área construída de edificações de uso misto em 30m	c5_30m	0,000	0,953	-0,060
Global/US	Área construída de edificações industriais em 60m	c4_60m	0,000	0,963	0,048
Global/US	Quantidade de equipamentos públicos em 10m	n3_10m	0,000	0,975	0,032

Continua na próxima página

Tabela 21 – Influência individual dos fatores influentes (continuação)

Categoria	Nome do fator influente	Variável	R²	Valor-p	Valor-t
Global/US	Quantidade de edificações de uso misto em 60m	n5_60m	0,000	0,991	-0,011