

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Bruno Moreira Felipe

**USO E APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA
ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE SÃO
PEDRO DO SUL, RS**

Santa Maria, RS
2022

Bruno Moreira Felipe

**USO E APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA ARBORIZAÇÃO
DE VIAS PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL, RS**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM - RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Coelho Eugenio
Coorientador: Prof. Dr. Fabiano de Oliveira Fortes

Santa Maria, RS
2022

Felippe, Bruno Moreira

Uso e aplicação de geotecnologias para estudo da arborização de vias públicas no município de São Pedro do Sul, RS / Bruno Moreira Felipe.- 2022.

93 f.; 30 cm

Orientador: Fernando Coelho Eugenio

Coorientador: Fabiano de Oliveira Fortes

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2022

1. RPAS 2. Sensoriamento remoto 3. Inventário florestal 4. Arborização urbana 5. Planejamento urbano I. Eugenio, Fernando Coelho II. Fortes, Fabiano de Oliveira III. Título.


Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Bruno Moreira Felipe


**USO E APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA ARBORIZAÇÃO
DE VIAS PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL, RS**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM - RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

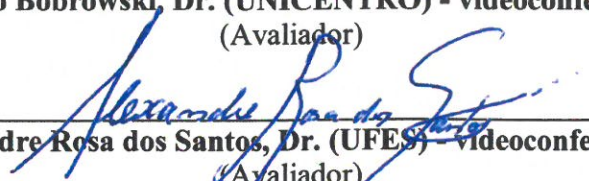
Aprovado em 07 de março de 2022:

Documento assinado digitalmente
 Fernando Coelho Eugenio
Data: 29/03/2022 15:47:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Fernando Coelho Eugenio, Dr. (UFSM) - videoconferência

Documento assinado digitalmente
 ROGERIO BOBROWSKI
Data: 29/03/2022 22:41:48-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

**Rogério Bobrowski, Dr. (UNICENTRO) - videoconferência
(Avaliador)**


**Alexandre Rosa dos Santos, Dr. (UFES) - videoconferência
(Avaliador)**

Santa Maria, RS
2022

DEDICATÓRIA

Dedico à Marina Bolzan.

AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho ocorreu, principalmente, pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo e, de uma maneira especial, agradeço:

A meu orientador Fernando Coelho Eugenio pela oportunidade concedida para trabalhar ao seu lado, pela confiança em mim depositada, pela disposição de seu tempo, e pelo ser humano alegre, incentivador e dedicado, grato pela orientação;

Ao professor Rogério Bobrowski e Fabiano Fortes que colaboraram ao meu desenvolvimento durante o curso e enriqueceram meu aprendizado;

Aos colegas do grupo LIDA-RPAS, principalmente a colega Sally Deborah, Roberta Fantinel, Mateus Schuch e demais colegas que continuam a se especializar e construir uma profissão mais técnica e reconhecida;

A Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de desenvolver e concretizar este estudo;

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade do aprendizado e pela dedicação do tempo na construção da Engenharia Florestal e de seres humanos;

Aos funcionários do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal por contribuírem para a fluidez das atividades na Universidade;

Enfim a todos àqueles que contribuem positivamente na construção do meu ser, a cada dia nessa jornada, um ser humano melhor.

“I was telling my dog how much i thank it for all the lessons I learned from him, and in the background was playing a Jazz saying “just love me”. I am grateful”

Bruno M. Felippe

RESUMO

USO E APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDO DA ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS NO MUNICÍPIO DE SÃO PEDRO DO SUL, RS

AUTOR: Bruno Moreira Felipe
ORIENTADOR: Fernando Coelho Eugenio

O diagnóstico da arborização viária é um elemento essencial no planejamento da floresta urbana. Desta maneira, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos para a obtenção de variáveis qualitativas e quantitativas das árvores presentes nas cidades. Portanto, o presente estudo tem por objetivo avaliar a aplicação de ferramentas baseadas em geotecnologias para a caracterização e obtenção de variáveis dendrométricas da arborização viária no município de São Pedro do Sul, RS. De modo inicial, realizou-se um censo dos indivíduos arbóreos presente nas vias públicas do município, para tal, coletou-se a posição geográfica e o respectivo nome popular de todas as árvores presentes nas calçadas do município. Os dados foram tabulados no Microsoft Excel[®] para a criação de uma tabela contendo a família, nome científico e posição geográfica do indivíduo. Feito isso, sortearam-se algumas ruas do município para a coleta de imagens aéreas com a utilização do *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS, em português, Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada) modelo Phantom 4 Pro[®]. Utilizou-se o software *Pix4D Mapper*[®] para gerar os seguintes dados: Ortofotomosaico, Modelo Digital de Superfície (MDS). Utilizou-se o aplicativo computacional QGIS versão 3.10 para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) e coleta dos dados de altura das árvores, assim como sua respectiva área de copa por meio da fotointerpretação. Para a segmentação automática das copas, utilizou-se o algoritmo *Meanshift* presente no aplicativo computacional ArcGIS Pro[®]. Realizou-se a comparação dos dados obtidos para altura e área de copa, comparando-se o inventário pelo método convencional e análise de imagem. A comparação dos dados e análise descritiva foram realizadas no software RStudio versão 4.1.0. Os dados foram validados por meio de análise de regressão linear e os modelos foram comparados a partir da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e Erro Médio Absoluto (MAE). Os resultados indicam que a utilização de geotecnologias em conjunto com os dados de campo permitiu a caracterização espacial e de diversidade da arborização viária municipal. Em relação às variáveis analisadas, observou-se que os métodos não apresentaram diferença significativa para a família Meliaceae ($p\text{-valor} > 0,05$) e para as espécies *Handroanthus chrysotrichus* e *Melia azedarach*, ($p\text{-valor} > 0,05$). Além disso, famílias Fabaceae e Bignoneaceae apresentaram altura média superior às demais famílias. Os valores de área de copa foram superiores para o método convencional ($p\text{-valor} < 0,05$), diferindo dos demais métodos. A segmentação automática não apresentou diferença significativa em comparação à fotointerpretação ($p\text{-valor} > 0,05$). Conclui-se que a utilização de geotecnologias auxilia no diagnóstico da floresta urbana, possibilitando a caracterização espacial e obtenção de variáveis quantitativas essenciais ao planejamento. Além disso, a utilização de dados obtidos por RPAS e as técnicas de processamento de imagens estão em rápida e constante expansão, demonstrando eficiência e potencial de uso na gestão da arborização viária.

Palavras-chave: RPAS. Sensoriamento Remoto. Inventário Florestal. Arborização Urbana. Planejamento Urbano.

ABSTRACT

USE AND APPLICATION OF GEOTECHNOLOGIES FOR THE STUDY OF PUBLIC ROAD ARBORIZATION IN THE MUNICIPALITY OF SÃO PEDRO DO SUL, RS

AUTHOR: Bruno Moreira Felipe
ADVISOR: Fernando Coelho Eugenio

The diagnosis of street afforestation is an essential element in urban forest planning. In this way, it becomes necessary to develop methods to obtain qualitative and quantitative variables from the trees present in cities. Therefore, the present study aims to evaluate the application of tools based on geotechnologies to characterize and obtain dendrometric variables of street afforestation in the municipality of São Pedro do Sul, RS. Initially, it started with a census of the trees on the municipality's public roads. Then, the collection of the geographic position and the popular name of all the municipality sidewalks trees occurred for this purpose. Finally, the data were tabulated in Microsoft Excel® to create a table containing the individual's family, scientific name, and geographic position. After that, the aerial images collection happened in randomly selected streets, using the Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) model Phantom 4 Pro®. Pix4D Mapper® software generated the following data: Orthophotomosaic, Digital Surface Model (MDS). The computer application QGIS version 3.10 generated the Digital Elevation Model (DEM) and collected data on the trees' height and their respective canopy area through photo interpretation. The Meanshift algorithm present in the ArcGIS Pro® computer application performed the automatic segmentation of the crowns. The height and canopy data inventory comparison happened using the conventional method and image analysis. RStudio software version 4.1.0 performed the data comparison and descriptive analysis. Data were validated using linear regression analysis, and the models were compared using Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE). The results indicate that using geotechnologies and field data allowed municipal street trees' spatial and diversity characterization. Regarding the variables analyzed, the methods showed no significant difference for the *Meliaceae* family (p -value > 0.05) and for the species *Handroanthus chrysotrichus* and *Melia azedarach*, (p -value > 0.05). In addition, Fabaceae and Bignoneaceae families had a higher average height than the other families. The canopy area values were higher for the conventional method (p -value < 0.05), differing from the other methods. Automatic segmentation showed no significant difference compared to photo interpretation (p -value > 0.05). The conclusion says that the use of geotechnologies helps diagnose the urban forest, enabling spatial characterization and obtaining essential quantitative variables for planning. In addition, the use of data obtained by RPAS and image processing techniques are rapidly and constantly expanding, demonstrating efficiency and potential for use in road afforestation management.

Keywords: Remote Sensing. Inventory Afforestation. Urban Planning. RPAS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I - ANÁLISES DIRETIVAS PARA O PROCESSO DE GESTÃO DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS EM SÃO PEDRO DO SUL, RS

- Figura 1 - Localização da área de estudo. (A) Brasil; (B) Rio Grande do Sul, Brasil; (C) Município de São Pedro do Sul e (D) Área urbana do município..... 33
- Figura 2 - Distribuição espacial da arborização viária nos bairros de São Pedro do Sul, RS 36
- Figura 3 - Comparação da evolução dos valores do índice de Shannon em relação ao número total de indivíduos considerando o índice de atenção (IAT) em (A), o índice de espécies invasoras (IEI) em (B), o índice de árvores nativas (IAN) em (C) e o índice de árvores invasoras em (D) 41

CAPÍTULO II - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS OBTIDAS POR RPAS NA ESTIMATIVA DA ALTURA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS

- Figura 1 - Localização da área de estudo com indicação de unidade amostral em São Pedro do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil 49
- Figura 2 - Fluxograma das principais etapas metodológicas utilizadas no estudo 50
- Figura 3 - Distribuição espacial da arborização viária analisada na área de estudo em São Pedro do Sul, RS..... 53
- Figura 4 - Curvas de distribuição da altura observada pelo hipsômetro *Vertex* e MDA na arborização viária de São Pedro do Sul, RS..... 58
- Figura 5 - Gráficos de *boxplot* das alturas das árvores observadas pelo MDA e hipsômetro *Vertex* na arborização viária de São Pedro do Sul, RS 59
- Figura 6 - Análise de regressão para as alturas das árvores observadas pelo MDA e hipsômetro *Vertex*..... 60

CAPÍTULO III - ESTIMATIVA DE ÁREA DE COPA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS POR MEIO DE IMAGENS OBTIDAS DE RPAS

- Figura 1 - Fluxograma das principais etapas metodológicas..... 66
- Figura 2 - Exemplo de diferentes escalas com enfoque na representação de indivíduos arbóreos presentes na área de estudo 68
- Figura 3 - Sobreposição de copas na arborização viária presente na área de estudo em São Pedro do Sul, RS..... 70
- Figura 4 - Limitações para estimativa de área de copa. (a) Espécie com morfologia diferente da fórmula utilizada na obtenção do parâmetro e (b) entrelaçamento das copas.. 72
- Figura 5 - Curvas de distribuição da área de copa observada por fotointerpretação e a sua comparação com os métodos propostos..... 75
- Figura 6 - Gráfico *boxplot* da área de copa para árvores individuais observadas pelos métodos propostos para a arborização viária de São Pedro do Sul, RS..... 76
- Figura 7 - Análise de regressão para as áreas de copa para árvores individuais observadas pelos métodos propostos para a arborização viária de São Pedro do Sul, RS 77

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - ANÁLISES DIRETIVAS PARA O PROCESSO DE GESTÃO DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS EM SÃO PEDRO DO SUL, RS

- Tabela 1 - Variáveis diretivas para o processo de gestão da arborização de calçadas na cidade de São Pedro do Sul, RS 35
- Tabela 2 - Distribuição quantitativa de cada espécie encontrada na arborização viária de São Pedro do Sul (RS), segundo a família, espécie, frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR) e origem (O) 37
- Tabela 3 - Proporção das cinco espécies vegetais de maior frequência em relação ao total de indivíduos encontrados na área urbana do município de São Pedro do Sul (RS) . 42

CAPÍTULO II - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS OBTIDAS POR RPAS NA ESTIMATIVA DA ALTURA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS

- Tabela 1 - Distribuição quali-quantitativa da arborização viária de São Pedro do Sul (RS), segundo a origem, frequência por espécie e família..... 54
- Tabela 2 - Comparação de métodos na obtenção de altura das famílias da arborização viária de São Pedro do Sul, RS 55
- Tabela 3 - Estatística descritiva dos valores obtidos para as alturas das árvores mensuradas pelos métodos propostos para as famílias 56
- Tabela 4 - Comparação de métodos na obtenção de altura de espécies da arborização viária de São Pedro do Sul, RS 57
- Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores obtidos para as alturas das árvores mensuradas pelos métodos propostos para as espécies mais frequentes 57

CAPÍTULO III - ESTIMATIVA DE ÁREA DE COPA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS POR MEIO DE IMAGENS OBTIDAS DE RPAS

- Tabela 1 - Comparação de métodos na obtenção de área de copa das espécies presentes na arborização viária de São Pedro do Sul, RS..... 73
- Tabela 2 - Estatística descritiva dos valores obtidos para as áreas de copas obtidas pelos métodos propostos para a amostra..... 74
- Tabela 3 - Comparação de métodos na obtenção de área de copa das famílias da arborização viária de São Pedro do Sul, RS..... 78
- Tabela 4 - Estatística descritiva dos valores obtidos para a área de copa das árvores pertencentes às famílias mensuradas pelos métodos propostos na área de estudo 80
- Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores obtidos para a área de copa das árvores pertencentes às famílias mensuradas pelos métodos propostos na área de estudo 81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| AGP III | Angiosperm Phylogeny Group III |
| CMOS | Complementary Metal-Oxide-Semiconductor |
| DAP | Diâmetro à Altura do Peito |
| EUA | Estados Unidos da América |
| GLONASS | Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema |
| GNSS | Sistema Global de Navegação por Satélite |
| GPS | Sistema de posicionamento global |
| IAT | Índice de Atenção |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| MDA | Modelo Digital de Altura |
| MDS | Modelo Digital de Superfície |
| MDT | Modelo Digital do Terreno |
| OBIA | Análise de Imagem Baseada em Objeto |
| RGB | Red, Green e Blue |
| RPAS | Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas |
| SFM | Structure From Motion |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO GERAL | 14 |
| 1.1 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 1.1.1 | Objetivo geral..... | 16 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos..... | 16 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 | FLORESTA URBANA E OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS..... | 17 |
| 2.1.1 | Ciclo hidrológico..... | 17 |
| 2.1.2 | Conforto térmico..... | 18 |
| 2.1.3 | Ciclo do carbono..... | 19 |
| 2.1.4 | Poluição, saúde e bem-estar..... | 19 |
| 2.2 | DIAGNÓSTICO DA FLORESTA URBANA..... | 20 |
| 2.3 | GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS COM FLORESTA URBANA..... | 21 |
| | REFERÊNCIAS | 24 |
| 3 | CAPÍTULO I - ANÁLISES DIRETIVAS PARA O PROCESSO DE GESTÃO DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS EM SÃO PEDRO DO SUL, RS | 31 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO..... | 31 |
| 3.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 32 |
| 3.2.1 | Caracterização da área de estudo..... | 32 |
| 3.2.2 | Coleta de dados..... | 33 |
| 3.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 35 |
| 3.4 | CONCLUSÃO..... | 43 |
| | REFERÊNCIAS | 44 |
| 4 | CAPÍTULO II - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS OBTIDAS POR RPAS NA ESTIMATIVA DA ALTURA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS | 47 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO..... | 47 |
| 4.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 48 |
| 4.2.1 | Caracterização da área de estudo..... | 48 |
| 4.2.2 | Levantamento Terrestre..... | 50 |
| 4.2.3 | Levantamento Aéreo..... | 51 |
| 4.2.3.1 | <i>Processamento das Imagens</i> | 51 |
| 4.2.4 | Análise Estatística..... | 52 |
| 4.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 52 |
| 4.3.1 | Descrição da amostra..... | 54 |
| 4.3.2 | Descrição por família..... | 55 |
| 4.3.3 | Descrição por espécies..... | 56 |
| 4.4 | CONCLUSÃO..... | 61 |
| | REFERÊNCIAS | 62 |
| 5 | CAPÍTULO III - ESTIMATIVA DE ÁREA DE COPA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS POR MEIO DE IMAGENS OBTIDAS DE RPAS | 64 |
| 5.1 | INTRODUÇÃO..... | 64 |
| 5.2 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 65 |
| 5.2.1 | Caracterização da área de estudo..... | 65 |
| 5.2.2 | Levantamento terrestre..... | 66 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.3 | Levantamento aéreo e fotointerpretação | 67 |
| 5.2.4 | Delimitação automática da copa | 68 |
| 5.2.5 | Descrição da análise estatística..... | 69 |
| 5.3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 70 |
| 5.3.1 | Análise estatística do total de árvores presentes na amostra | 73 |
| 5.3.2 | Análise estatística pelo agrupamento dos indivíduos em suas respectivas famílias | 78 |
| 5.4 | CONCLUSÃO..... | 81 |
| | REFERÊNCIAS..... | 83 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 86 |
| | REFERÊNCIAS..... | 87 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

A floresta urbana promove diversos benefícios à população. Entretanto, a magnitude dos benefícios proporcionados pelas árvores em ambiente urbano pode ser reduzida devido ao manejo inadequado e aos danos ocasionados pela interação com a população. Em suas diferentes tipologias, a floresta urbana é um componente importante ao desenvolvimento sustentável, entretanto, recebe pouca atenção e enfrenta diversos desafios, principalmente nos países em desenvolvimento (KONIJNENDIJK et al., 2004).

O crescimento populacional intenso nas cidades, a falta de planejamento e infraestrutura, aumentam a pressão sobre os recursos naturais e ocasionam inúmeros problemas ambientais relacionados ao aumento da temperatura, poluição do ar e redução na infiltração de águas pluviais, ocasionando maior escoamento superficial e causando agravamento das enchentes (SILVA; TRAVASSOS, 2008). Não obstante, a floresta urbana atua como agente atenuador a esses problemas, pois, fornece ao ambiente meios para regular a temperatura, o conforto térmico, o ciclo hidrológico, a poluição atmosférica e a qualidade do solo, propiciando uma melhor qualidade de vida, saúde e bem-estar da população (BERLAND et al., 2017; LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016; TSOKA et al., 2020; WOLF et al., 2020).

A magnitude dos benefícios promovidos pela floresta urbana pode ser obtida por meio da quantificação de parâmetros relacionados à estrutura destas florestas, e uma maneira de quantificar a estrutura da floresta urbana é por meio do inventário florestal (NOWAK et al., 2008). Não obstante, a aquisição de dados por meio do inventário florestal convencional é uma prática onerosa e custosa em tempo e esforço físico (ISIBUE; PINGEL, 2020; NOWAK et al., 2008).

Desta maneira, urge a necessidade de aplicação de métodos que possibilitem a aquisição dos parâmetros de interesse de forma rápida e menos onerosa. Tasoulas et al. (2013) relatam que a utilização de ferramentas baseadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitam a redução dos custos associados ao manejo e aumentam a eficiência dos órgãos gestores da arborização presente nas cidades.

A utilização de imagens aéreas a partir de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP's), do inglês *Remoted Piloted Aircraft Systems* (RPAS), é uma técnica que pode ser utilizada na redução do trabalho manual de forma significativa, uma vez que auxilia na obtenção de parâmetros da floresta urbana (HASSAAN et al., 2016). Eugenio et al. (2020), relatam que a utilização dos RPAS no setor florestal vem crescendo de modo exponencial nos

últimos anos devido a maior oferta de *hardwares* e *softwares* com uma melhor interface com o usuário, o que permite, uma interação mais acessível e uma coleta de dados de forma mais rápida e eficiente.

É importante destacar que os RPAS são utilizados, em sua maioria, para transporte de distintos sensores, o que viabiliza a aquisição de dados para estimativa e monitoramento de diversas variáveis que compõem a estrutura das florestas (GUIMARÃES et al., 2020). Os dados obtidos por esses sensores têm gerado informações relacionadas à fitossanidade (NÄSI et al., 2018), contagem e medição da altura de árvores (CUNHA NETO et al., 2021; HASSAAN et al., 2016), identificação de espécies (XU et al., 2020), diâmetro da copa (YILMAZ; GÜNGÖR, 2019), além de possibilitar a verificação da necessidade de intervenções, tais como poda ou replantio (DUAN et al., 2019).

Após a obtenção dos dados que resultarão na imagem da área estudada, uma das técnicas mais utilizadas nos estudos em floresta urbana é a fotointerpretação em tela, a qual consiste na criação de polígonos em torno das copas das árvores, entretanto, há um dispêndio de tempo maior do usuário na sua identificação e delimitação. Um contraponto é a utilização de algoritmos de aprendizado de máquina que permitem a classificação e a Análise de Imagem Baseada em Objetos (OBIA, em inglês, *Object-based Image Analysis*), o que possibilita a medição de parâmetros da copa em árvores individuais de forma automatizada com maior precisão e efetividade na determinação da estrutura florestal (YURTSEVEN et al., 2019), além da diminuição do tempo de análise.

Com o entendimento da importância da floresta no ecossistema urbano e na qualidade de vida da população, torna-se necessário considerar seu papel no planejamento das cidades. Portanto, faz-se necessário a utilização de novos métodos menos onerosos e que mantenham a confiança nos valores estimados. Diante do exposto, os avanços nos *hardwares*, *softwares* e nas técnicas de processamento de imagens, os RPAS surgem como ferramentas alternativas ao diagnóstico e planejamento florestal, auxiliando na coleta de dados para estimativa de variáveis e na quantificação dos benefícios proporcionados pela floresta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a utilidade e precisão de ferramentas baseadas em geotecnologias para o diagnóstico e obtenção de variáveis dendrométricas da arborização viária no município de São Pedro do Sul, RS.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a distribuição espacial e densidade das árvores nas vias públicas no município de São Pedro do Sul a partir do censo arbóreo das vias públicas;
- Estimar a altura de árvores individuais por meio da utilização de imagens de alta resolução obtidas por RPAS;
- Estimar área de copa de árvores individuais por meio da segmentação automática em imagens de alta resolução obtidas por RPAS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FLORESTA URBANA E OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

As árvores presentes em meio urbano interagem com o ambiente no qual estão inseridas, influenciando e sofrendo influências deste meio. Em suas diferentes tipologias (parques, praças, arborização de calçadas, dentre outras), a floresta urbana promove inúmeros benefícios e contribui para a melhoria da qualidade de vida nas cidades (BIONDI, 2015; ROELAND et al., 2019). Desta maneira, diversos autores buscam entender e avaliar os benefícios promovidos pela floresta urbana e seus impactos na regulação do microclima, redução do escoamento superficial, poluição (LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016), saúde e bem-estar (WOLF et al., 2020).

2.1.1 Ciclo hidrológico

A floresta urbana pode atuar como agente modificador dos processos presentes no ciclo hidrológico. Dentre os efeitos, podem ser citados maior efetividade na redução do escoamento pluvial pela interceptação da água das chuvas, evapotranspiração, melhoria da infiltração de água no solo e por meio da interação com outros componentes da infraestrutura verde (BERLAND et al., 2017).

O dossel florestal é um componente importante na interceptação da água da chuva, sendo capaz de reduzir em até 62% do escoamento superficial comparado à pavimentação asfáltica (ARMSON; STRINGER; ENNOS, 2013). Asadian e Weiler (2009) citam que a estrutura das copas afeta o volume de água interceptado pelo dossel. Por sua vez, Xiao e McPherson (2002) mencionam que a interceptação das águas pluviais pode variar de acordo com as espécies e porte das árvores.

A floresta urbana promove biorretenção, onde contribui para a manutenção e recarga de águas subterrâneas e na remoção de poluentes (BRAGA, 2017). A biorretenção é principalmente atribuída à infiltração, porém a evapotranspiração contribui de forma significativa ao processo (TIRPAK; HATHAWAY; FRANKLIN, 2019; WADZUK; HICKMAN; TRAVER, 2015), colaborando de forma efetiva no balanço hídrico de áreas urbanas.

Com o entendimento dos efeitos da vegetação no ambiente urbano, torna-se possível planejar sua ocupação respeitando os limites de uso, colaborando para a redução dos impactos hidrológicos gerados pela urbanização (KUEHLER; HATHAWAY; TIRPAK, 2017).

2.1.2 Conforto térmico

Conforme divulgado pela Organização das Nações Unidas (ONU), o ano de 2021 foi considerado um dos anos mais quentes já registrados, mesmo sobre o efeito do fenômeno La Niña (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2022). Levando em consideração os extremos climáticos a qual a terra está sujeita, torna-se fundamental proporcionar um clima mais agradável à população.

Martini, Biondi e Batista (2020) destaca que os benefícios proporcionados pelas florestas no microclima urbano vão além do bem-estar físico, e também apresentam benefícios nas esferas social e econômica. A arborização de vias públicas promove conforto térmico aos pedestres e melhora o desempenho de energia das construções (TSOKA et al., 2020).

Os efeitos do calor em ambiente urbano podem ser amenizados através da correta utilização da infraestrutura verde (NORTON et al., 2015), reduzindo os potenciais riscos à saúde de pessoas sensíveis à estas condições (VENTER; KROG; BARTON, 2020). Vias públicas com maior porcentagem de cobertura de copa apresentam menor temperatura do ar, reduzindo os efeitos do estresse pelo calor e promovendo um microclima mais agradável (HUANG et al., 2020; JEONG; PARK; SONG, 2016; KARIMI et al., 2020; MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2020; SANUSI et al., 2016; ZHOU; CAO; WANG, 2019).

Os efeitos na temperatura e umidade podem ser sentidos de forma mais efetiva sob a copa das árvores, porém árvores isoladas promovem menor conforto térmico (FADHLURRAHMAN; NASRULLAH, 2020). Conforme Karimi et al. (2020) árvores de grande porte proporcionam maior conforto térmico. Além disso, árvores com maior índice de área foliar reduzem a temperatura de forma mais expressiva devido a maior interceptação da radiação solar (FADHLURRAHMAN; NASRULLAH, 2020; NAPOLI et al., 2016).

De forma geral a população compreende alguns benefícios proporcionados pela floresta urbana, tais como o fornecimento de sombra e conforto térmico (OLIVEIRA et al., 2020; ROPPA et al., 2007). Desta maneira, pode-se realizar o planejamento e manejo adequado da vegetação nas cidades com o objetivo de promover os benefícios proporcionados pela floresta nas cidades.

2.1.3 Ciclo do carbono

O manejo do dióxido de carbono (CO₂) é considerado peça chave na mitigação do efeito estufa e nas mudanças climáticas. Durante a fotossíntese, a floresta urbana absorve o CO₂ e influencia na dinâmica do carbono da atmosfera (NOWAK et al., 2013). O entendimento da dinâmica do carbono em floresta urbana é importante para criar estratégias de manejo de modo a mitigar as emissões de CO₂ em ambiente urbano (REN et al., 2019).

Diversos estudos buscam quantificar o estoque de carbono em floresta urbana para melhor compreensão de sua função no ciclo de carbono e nas mudanças climáticas (HUTYRA; YOON; ALBERTI, 2011; LI et al., 2020; NOWAK et al., 2013). Estima-se que nos Estados Unidos a floresta urbana absorve anualmente cerca de 36,7 milhões de toneladas de carbono, quantidade avaliada em aproximadamente 4,8 bilhões de dólares (NOWAK; GREENFIELD, 2018).

Batista et al. (2020) mencionam que o teor de carbono em fragmentos florestais urbanos é semelhante aos encontrados em ambientes menos antropizados. Desta maneira, países desenvolvidos têm implementado programas de plantios de árvores em grande escala no meio urbano, demonstrando a importância da floresta urbana nas políticas de neutralização de carbono (LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016).

Entende-se que mesmo que a floresta urbana seja capaz de absorver e armazenar o dióxido de carbono, os desafios que envolvem o controle e mitigação das emissões de CO₂ antropogênicas devem envolver diferentes ecossistemas. Conforme Battin et al. (2009) os ecossistemas aquáticos, ou aqueles que possuem uma interface terrestre e aquática, possui sua contribuição no ciclo do carbono, devendo ser incorporado em estratégias e estimativa do fluxo.

2.1.4 Poluição, saúde e bem-estar

A arborização de ruas proporciona benefícios ambientais, econômicos e psicossociais. Os benefícios psicossociais promovidos pela floresta urbana afetam o humor e a vontade das pessoas, alterando seu condicionamento físico e mental Bobrowski (2015). O conforto ambiental proporcionado pelas árvores possui relação com a disponibilidade de sombra e ambientes visualmente agradáveis e relaxantes (SANTOS; TEIXEIRA, 2001).

Os efeitos positivos da floresta urbana melhoram a cognição e restauram a concentração, além de reduzir a ansiedade e o estresse, podendo afetar o sistema imunológico

e funções cardiovasculares (WOLF et al., 2020). Ambientes florestados podem auxiliar no relaxamento e favorecer o aumento de emoções positivas (LEE et al., 2009), além de melhorar o humor e atuar como um ambiente restaurador da atenção (SHIN et al., 2011).

Áreas verdes podem contribuir para a retenção de materiais particulados da atmosfera melhorando a qualidade do ar e reduzindo os efeitos nocivos destas partículas à saúde humana (SU et al., 2019), influenciando na remoção dos poluentes Ozônio (O₃), Material Particulado (PM₁₀), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Cobalto (CO) (NOWAK; CRANE; STEVENS, 2006). Calfapietra et al. (2016) mencionam que há um interesse crescente no entendimento do fluxo de Ozônio (O₃) e sua remoção pela vegetação urbana.

A floresta urbana é capaz de modificar as características físico-químicas e atividades enzimáticas no solo (LEMANOWICZ et al., 2020) e atua na remoção de metais pesados das águas pluviais (LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016). Além disso, a vegetação atenua a poluição sonora produzida nas cidades. Dentre os fatores que afetam a atenuação dos ruídos, podem-se citar a composição de espécies, espessura da vegetação, distância e frequência do ruído (FERRINI et al., 2020; KALANSURIYA; PANNILA; SONNADARA, 2009).

Dentre os diversos benefícios proporcionados pela floresta urbana à qualidade de vida, ressalta-se que as praças são uma tipologia de área verde que fornece diversos benefícios sociais e integram a população ao ambiente (VIEZZER, 2015). Conforme a autora as praças se tornam uma opção de lazer urbano e de fácil acesso, proporcionando também benefícios estéticos e ecológicos ao ambiente.

2.2 DIAGNÓSTICO DA FLORESTA URBANA

Martins e Cândido (2015) elucidam que a cidade é constituída por uma aglomeração de pessoas, edificações, equipamentos, e pela dinâmica das atividades realizadas em determinado local. Os autores consideram a floresta urbana como um indicador positivo de sustentabilidade, a qual está inserida no equilíbrio ecológico do ecossistema urbano, capaz de suportar as pressões do consumo e das atividades humanas.

O diagnóstico e planejamento adequado da implantação e manejo da floresta urbana são importantes para a obtenção dos benefícios ecossistêmicos promovidos pela vegetação nas cidades e para evitar conflitos com os equipamentos de infraestrutura urbana (BOBROWSKI, 2011). Desta forma, o planejamento da arborização viária é indispensável para o

desenvolvimento urbano e requer inicialmente um inventário quali-quantitativo para o conhecimento da situação existente (COLETTI; MÜLLER; WOLSKI, 2008).

Oliveira e Tavares (2012) classificam as variáveis do inventário em floresta urbana de acordo com os aspectos florísticos, fisiológicos, quantificação e mensuração, mapeamento, localização e relação com os equipamentos urbanos. Desta maneira, torna-se essencial a construção de um banco de dados para auxiliar na avaliação e manejo da arborização de vias públicas (SILVA FILHO et al., 2002).

Dentre as variáveis relacionadas à estrutura das florestas, a altura dos indivíduos arbóreos em conjunto com outros atributos permite a obtenção de informações sobre volume, biomassa e estoque de carbono (WANG et al., 2019). O conhecimento da biomassa florestal é fundamental para a tomada de decisões sobre o manejo dos recursos florestais, sendo importante para entender os aspectos funcionais da floresta, da ciclagem de nutrientes e fluxo de energia (RATUCHNE et al., 2016). Desta maneira, torna-se necessário seu conhecimento para quantificar o estoque de CO₂ armazenado na floresta urbana pela fotossíntese (NOWAK et al., 2013), permitindo compreender sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas (REIS et al., 2019).

A compreensão das relações interdimensionais das árvores permite prever o espaço exigido pela árvore ao longo do seu desenvolvimento (DURLO, 2001). Desta forma, o acompanhamento da dinâmica das copas presentes na arborização viária permite compreender parcialmente as características comportamentais das espécies e identificar o estágio de amadurecimento da floresta (BOBROWSKI; BIONDI, 2012). As variáveis dendrométricas relacionadas às copas das árvores possibilitam a criação de índices morfométricos úteis ao planejamento e manejo da arborização (BOBROWSKI; BIONDI, 2017).

Uma das formas mais efetivas e rápidas de se fazer o diagnóstico da floresta urbana é com a utilização de geotecnologias, pois permitem uma análise espacial da cidade. Conforme Ward e Johnson (2007), as geotecnologias são ferramentas úteis para a coleta, análise e geração de informações, podendo rápida e efetivamente solucionar diversas questões referentes à floresta urbana.

2.3 GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS COM FLORESTA URBANA

As ferramentas baseadas em geotecnologias têm sido utilizadas na solução de problemas e consideradas aliadas das cidades inteligentes (SILVA; SOUZA; PAULA, 2021). As técnicas aplicadas em ambiente SIG possibilitam a obtenção do padrão de distribuição

espacial e serviços ecossistêmicos produzidos pela floresta urbana. Essas ferramentas permitem relacionar o planejamento da floresta com as demais estruturas e usos do solo urbano, auxiliando na implantação da floresta com o desenvolvimento urbano (PAULEIT; DUHME, 2000).

Em relação à arborização viária, o SIG possibilita a integração e visualização dos componentes urbanos com as árvores, permitindo a geração de informações sobre as árvores e suas interrelações a partir de dados básicos (SCHUCH, 2006).

Destaca-se que a maior parte dos estudos da floresta urbana realizados na América Latina e Caribe predominam os relacionados aos parâmetros biofísicos das árvores, em sua maioria baseado na coleta de dados em campo (58%) seguido por análise de dados geoespaciais (16%), além de sensoriamento remoto e fotografias aéreas (13%) (BARONA et al., 2020). Essas informações indicam que há uma tendência na utilização de ferramentas que utilizam geotecnologias aplicadas à floresta urbana.

Os recentes avanços no campo do sensoriamento remoto, nos sensores utilizados e nos métodos de processamento possibilitam afirmar que se trata de uma ferramenta apropriada para análise e quantificação da floresta urbana em diversas escalas espaciais e temporais (LI et al., 2019). Desta maneira, a utilização dessa ferramenta tem contribuído para a identificação e mapeamento dos serviços ecossistêmicos fornecidos pela floresta urbana (SANESI et al., 2019).

Os *Remoted Piloted Aircraft Systems* (RPAS) têm apresentado algumas vantagens em relação aos sistemas tradicionais de sensoriamento remoto. Estas plataformas oferecem versatilidade em sua utilização e possibilitam a aquisição de informações com alta resolução espacial e temporal em escala regional e local (GUIMARÃES et al., 2020; PAJARES, 2015).

Gambella et al. (2016) afirmam que a partir de 2004 o interesse sobre a utilização de técnicas baseadas em RPAS para aplicação no setor florestal aumentou de forma crescente. Segundo Eugenio et al. (2020) o número de publicações associadas às aplicações de RPAS em estudos florestais cresceu de maneira exponencial entre 2010 e 2020, principalmente pela publicação de artigos científicos produzidos por autores dos EUA e China.

Os RPAS demonstram serem ferramentas úteis no processo de manejo dos recursos florestais, apresentando algumas características que favorecem seu uso, tais como: (i) flexibilidade no planejamento de aquisição dos dados; (ii) capacidade para acoplar diferentes sensores; (iii) utilização em operações em tempo real e (iiii) baixo custo operacional com alta intensidade de coleta de dados (GUIMARÃES et al., 2020).

Dentre os estudos na área florestal que utilizam essas plataformas, destacam-se os relacionados à estimativa de parâmetros e inventário florestal, seguido por aplicações na área da conservação, monitoramento de incêndios e identificação de pragas e doenças (EUGENIO et al., 2020). De acordo com Li et al. (2019) a crescente quantidade de imagens de alta resolução adquiridas por plataformas aéreas ou satélites permitem a quantificação e modelagem precisa dos serviços ecossistêmicos promovidos pela floresta urbana.

Conforme Walker e Briggs (2007) as imagens de alta resolução, juntamente com as técnicas avançadas de classificação baseada em objeto possibilitam a identificação da estrutura da floresta urbana, permitindo o entendimento da configuração espacial e composição de espécies em áreas urbanizadas.

Os estudos baseados na utilização dos RPAS em árvores individuais da floresta urbana indicam a possibilidade de identificação e contagem de árvores (HASSAAN et al., 2016; LIN et al., 2015), estimativa de altura (BIRDAL; AVDAN; TÜRK, 2017), identificação de pragas (NÄSI et al., 2018) e obtenção do DAP (ISIBUE; PINGEL, 2020), permitindo a geração de informações de forma remota.

Com o aumento da resolução espacial e facilidade no acesso a essas imagens, o método de classificação de imagem baseado em objeto vem ganhando espaço e possibilitando a automatização no processamento da imagem (BLASCHKE, 2010). Conforme relatado por Li e Shao (2014), a Análise de Imagem Baseada em Objeto (OBIA) possibilita a geração de resultados mais precisos na classificação de imagens de alta resolução em áreas urbanas.

Dentre as técnicas aplicadas à classificação de imagens baseadas em objeto se destacam a classificação pelo método supervisionado e não-supervisionado. Fassnacht et al. (2016) destacam que segmentação e classificação de imagens podem ser realizadas por meio de diferentes algoritmos, apontando uma tendência no uso de classificadores baseados em redes neurais e árvores de decisão.

A utilização de algoritmos para segmentação e identificação de árvores localizadas em área urbana, a partir de imagens aéreas, pode ser eficiente e reduzir o trabalho manual de forma significativa (HASSAAN et al., 2016). Além disso, a utilização de métodos híbridos de classificação de imagens em áreas vegetadas, tais como a combinação de algoritmos, demonstram bons resultados na diferenciação de objetos, corrigindo limitações na resolução espectral dos sensores (FENG; LIU; GONG, 2015). Sendo assim, muitas questões sobre o manejo da floresta urbanas podem ser rapidamente direcionadas com a utilização dessas ferramentas, aumentando a eficiência dos órgãos gestores.

REFERÊNCIAS

- ASADIAN, Y.; WEILER, M. A new approach in measuring rainfall interception by urban trees in Coastal British Columbia. **Water Quality Research Journal**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 16–25, 1 fev. 2009.
- ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 282-286, 1 jan. 2013.
- BARONA, C. O. et al. Trends in urban forestry research in Latin America & the Caribbean: a systematic literature review and synthesis. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 47, p. 126544, 2020.
- BATISTA, D. B. et al. Aporte de serapilheira e teor de carbono orgânico em um fragmento florestal urbano. **Nature and Conservation**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 22-30, jul. 2020.
- BATTIN, T. J. et al. The boundless carbon cycle. **Nature Geoscience**, [s.l.], v. 2, p. 598-600, 2009.
- BERLAND, A. et al. The role of trees in urban stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 162, p. 167-177, jun. 2017.
- BIONDI, D. **Floresta urbana**. Curitiba: O Autor, 2015. 202 p.
- BIRDAL, A. C.; AVDAN, U.; TÜRK, T. Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, Deakin, v. 8, n. 2, p. 1144-1156, dez. 2017.
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 2-16, jan. 2010.
- BOBROWSKI, R. **Estrutura e dinâmica da arborização de ruas de Curitiba, Paraná, no período 1984-2010**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2011.
- BOBROWSKI, R. A floresta urbana e a arborização de ruas. *In*: BIONDI, D. (Org.). **Floresta urbana**. Curitiba: [s.n.], 2015. p. 81-108.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Distribuição e dinâmica da área de copa na arborização de ruas de Curitiba, Paraná, Brasil, no período de 1984-2010. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2012.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Morfometria de espécies florestais plantadas nas calçadas. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 1-16, mar. 2017.
- BRAGA, R. M. B. **Estudo da remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de biorretenção**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e

Saneamento) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

CALFAPIETRA, C. et al. Removal of Ozone by Urban and Peri-Urban Forests: Evidence from Laboratory, Field, and Modeling Approaches. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 224-233, 2016.

COLETTI, E. P.; MÜLLER, N. G.; WOLSKI, S. S. Diagnóstico da arborização das vias públicas do município de Sete de Setembro - RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 110-122, jun. 2008.

CUNHA NETO, E. M. et al. Using high-density UAV-Lidar for deriving tree height of *Araucaria Angustifolia* in an Urban Atlantic Rain Forest. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 63, p. 127197, ago. 2021

DUAN, T. et al. Research on precise maintenance method for green belt of municipal road based on UAV image sequence. **Journal of Physics: Conference Series**, [s.l.], v. 1187, n. 4, p. 042078, abr. 2019.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, mar. 2001.

EUGENIO, F. C. et al. Remotely piloted aircraft systems and forests: a global state of the art and future challenges. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 1-12, may 2020.

FADHLURRAHMAN, M. M.; NASRULLAH, N. Study of Thermal Comfort under the Shade of Varied Tree Canopy Form and Distance from the Stem. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2020.

FASSNACHT, F. E. et al. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 186, p. 64-87, dez. 2016.

FENG, Q.; LIU, J.; GONG, J. UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 107-1094, jan. 2015.

FERRINI, F. et al. Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context. **Sustainability**, [s.l.], v. 12, n. 10, p. 4247, jan. 2020.

GAMBELLA, F. et al. Forest and UAV: a bibliometric review. **Contemporary Engineering Sciences**, [s.l.], v. 9, p. 1359-1370, 2016.

GUIMARÃES, N. et al. Forestry remote sensing from unmanned aerial vehicles: a review focusing on the data, processing and potentialities. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 12, n. 6, p. 1046, jan. 2020.

HASSAAN, O. et al. Precision forestry: trees counting in urban areas using visible imagery based on an unmanned aerial vehicle. **IFAC-PapersOnLine**, [s.l.], v. 49, n. 16, p. 16-21, 1 jan. 2016.

- HUANG, Z. et al. Impacts of tree canopy cover on microclimate and human thermal comfort in a shallow street canyon in Wuhan, China. **Atmosphere**, Downsview, v. 11, n. 6, p. 588, 2020.
- HUTYRA, L. R.; YOON, B.; ALBERTI, M. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle, WA region: urban terrestrial carbon stocks. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, n. 2, p. 783-797, fev. 2011.
- ISIBUE, E. W.; PINGEL, T. J. Unmanned aerial vehicle based measurement of urban forests. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 48, p. 126574, fev. 2020.
- JEONG, M.-A.; PARK, S.; SONG, G.-S. Comparison of human thermal responses between the urban forest area and the central building district in Seoul, Korea. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v.15, p. 133-148, 2016.
- KALANSURIYA, C. M.; PANNILA, A. S.; SONNADARA, D. U. J. Effect of roadside vegetation on the reduction of traffic noise levels. In: CONFERENCE: INSTITUTE OF PHYSICS SRI LANKA, 2009, Sri Lanka. **Conference Paper...** Sri Lanka: Institute of Physics Sri Lanka, 2009. v. 25. p. 6.
- KARIMI, A. et al. Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park. **Energy Reports**, [s.l.], v. 6, p. 1670-1684, nov. 2020.
- KONIJNENDIJK, C. C. et al. Urban and peri-urban forestry in a development context - Strategy and implementation. **Arboriculture and Urban Forestry**, Champaign, v. 30, n. 5, p. 269-275, set. 2004.
- KUEHLER, E.; HATHAWAY, J.; TIRPAK, A. Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. **Ecohydrology**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. e1813, 2017.
- LEE, J. et al. Restorative effects of viewing real forest landscapes, based on a comparison with urban landscapes. **Scandinavian Journal of Forest Research**, Stockholm, v. 24, n. 3, p. 227-234, jun. 2009.
- LEMANOWICZ, J. et al. The role of an urban park's tree stand in shaping the enzymatic activity, glomalin content and physicochemical properties of soil. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 741, p. 140446, nov. 2020.
- LI, L. et al. Estimating Urban Vegetation Biomass from Sentinel-2A Image Data. **Forests**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 125, fev. 2020.
- LI, X.; SHAO, G. Object-Based Land-Cover Mapping with High Resolution Aerial Photography at a County Scale in Midwestern USA. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 6, n. 11, p. 11372-11390, nov. 2014.
- LI, X. et al. Remote sensing in urban forestry: recent applications and future directions. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 1144, 14 may 2019.
- LIN, Y. et al. Use of UAV oblique imaging for the detection of individual trees in residential environments. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 404-412, 2015.

- LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 119-124, 2016.
- MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Thermal comfort provided by street trees in cities. **Arboricultural Journal**, Dorchester on Thames, v. 42, n. 3, p. 153-164, may 2020.
- MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. Análise da Sustentabilidade Urbana no contexto das Cidades: proposição de critérios e indicadores. In: ENCONTRO DA ANPAD, 37., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2013. Disponível em: http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2013_EnANPAD_GCT2482.pdf. Acesso em: 6 set. 2020.
- NAPOLI, M. et al. Modeling Tree Shade Effect on Urban Ground Surface Temperature. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 146-156, 2016.
- NÄSI, R. et al. Remote sensing of bark beetle damage in urban forests at individual tree level using a novel hyperspectral camera from UAV and aircraft. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 30, p. 72-83, mar. 2018.
- NORTON, B. A. et al. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 134, p. 127-138, fev. 2015.
- NOWAK, D. J. et al. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services, **Arboriculture & Urban Forestry**, [s.l.], v. 34, n. 6, p. 347-358, 2008.
- NOWAK, D. J. et al. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 178, p. 229-236, jul. 2013.
- NOWAK, D. J.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 4, n. 3/4, p. 115-123, abr. 2006.
- NOWAK, D. J.; GREENFIELD, E. J. US Urban Forest Statistics, Values, and Projections. **Journal of Forestry**, Washington, v. 116, n. 2, p. 164-177, mar. 2018.
- OLIVEIRA, S. S. J. et al. Percepção da população sobre arborização urbana em Paragominas, Pará / Perception of the population on urban afforestation in Paragominas, Pará. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 7, p. 51691-51701, jul. 2020.
- OLIVEIRA, G. S.; TAVARES, A. A. Levantamento e caracterização das variáveis utilizadas em estudos sobre arborização urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 75-87, set. 2012.
- PAJARES, G. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 81, n. 4, p. 281-330, abr. 2015.
- PAULEIT, S.; DUHME, F. GIS assessment of Munich's urban forest structure for urban planning. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 26, n. 3, p. 133-141, 2000.

RATUCHNE, L. C. et al. Estado da Arte na Quantificação de Biomassa em Raízes de Formações Florestais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, p. 450-462, jun. 2016.

REIS, A. R. N. et al. Estoques de carbono e dióxido de carbono equivalente em árvores de rua de cidades brasileiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 14, p. 26-35, out. 2019.

REN, Z. et al. Changes in spatio-temporal patterns of urban forest and its above-ground carbon storage: Implication for urban CO₂ emissions mitigation under China's rapid urban expansion and greening. **Environment International**, New York, v. 129, p. 438-450, ago. 2019.

ROELAND, S. et al. Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. **Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 30, n. 6, p. 1981-1996, dez. 2019.

ROPPA, C. et al. Diagnóstico da percepção dos moradores sobre a arborização urbana na vila estação colônia – bairro Camobi, Santa Maria – RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 11, 2007.

SANESI, G. et al. Remote sensing of urban forests. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 20, p. 2383, jan. 2019.

SANUSI, R. et al. Street Orientation and Side of the Street Greatly Influence the Microclimatic Benefits Street Trees Can Provide in Summer. **Journal of Environmental Quality**, Madyson, v. 45, n. 1, p. 167-174, 2016.

SANTOS, N. R. Z.; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de vias públicas: Ambiente x vegetação**. 1. ed. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2001. 135 p.

SCHUCH, M. I. S. **Arborização urbana: uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SHIN, W. S. et al. The influence of interaction with forest on cognitive function. **Scandinavian Journal of Forest Research**, Stockholm, v. 26, n. 6, p. 595-598, dez. 2011.

SILVA FILHO, D. F. et al. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 5, p. 629-642, out. 2002.

SILVA, L. S. E; TRAVASSOS, L. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. **Cadernos Metr pole**, São Paulo, n. 19, p. 27-47, 2008.

SILVA, T. H. F. E; SOUZA, V. C. O.; PAULA, M. M. V. A Systematic Mapping of Literature on the Use of Geotechnologies in Smart Cities in the Government area. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMA O, 17., 7 jun. 2021. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi/article/view/17698>. Acesso em: 9 dez. 2021.

SU, K. et al. Inversion and Effect research on dust distribution of urban forests in Beijing. **Forests**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 418, may 2019.

TASOULAS, E. et al. Development of a GIS application for urban forestry management planning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT, 6., 2013. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2013. v. 8. p. 70-80.

TIRPAK, R. A.; HATHAWAY, J. M.; FRANKLIN, J. A. Investigating the hydrologic and water quality performance of trees in bioretention mesocosms. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 576, p. 65-71, set. 2019.

TSOKA, S. et al. Urban warming and cities' microclimates: investigation methods and mitigation strategies—a review. **Energies**, [s.l.], v. 13, n. 6, p. 1414, jan. 2020.

VENTER, Z. S.; KROG, N. H.; BARTON, D. N. Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 709, p. 136193, mar. 2020.

VIEZZER, J. A floresta urbana e o papel das praças. In: BIONDI, D. (Org.). **Floresta urbana**. Curitiba: [s.n.], 2015. p. 109-124.

WADZUK, B. M.; HICKMAN, J. M.; TRAVER, R. G. Understanding the Role of Evapotranspiration in Bioretention: Mesocosm Study. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 04014002, may 2015.

WALKER, J. S.; BRIGGS, J. M. An Object-oriented Approach to Urban Forest Mapping in Phoenix. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 73, n. 5, p. 577-583, may 2007.

WANG, Y. et al. Is field-measured tree height as reliable as believed – A comparison study of tree height estimates from field measurement, airborne laser scanning and terrestrial laser scanning in a boreal forest. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 147, p. 132-145, jan. 2019.

WARD, K. T.; JOHNSON, G. R. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 15-22, fev. 2007.

WOLF, K. L. et al. Urban trees and human health: a scoping review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s.l.], v. 17, n. 12, p. 4371, jan. 2020.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **2021 one of the seven warmest years on record**. Geneva, 2022. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>. Acesso em: 31 jan. 2022.

YILMAZ, V.; GÜNGÖR, O. Estimating crown diameters in urban forests with Unmanned Aerial System-based photogrammetric point clouds. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 40, n. 2, p. 468-505, 17 jan. 2019.

YURTSEVEN, H. et al. Determination and accuracy analysis of individual tree crown parameters using UAV based imagery and OBIA techniques. **Measurement**, [s.l.], v. 145, p. 651-664, out. 2019.

XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. **Urban Ecosystems**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 291-302, dez. 2002.

XU, Z. et al. Tree species classification using UAS-based digital aerial photogrammetry point clouds and multispectral imageries in subtropical natural forests. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 92, p. 102173, out. 2020.

ZHOU, W.; CAO, F.; WANG, G. Effects of Spatial Pattern of Forest Vegetation on Urban Cooling in a Compact Megacity. **Forests**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 282, mar. 2019.

3 CAPÍTULO I - ANÁLISES DIRETIVAS PARA O PROCESSO DE GESTÃO DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS EM SÃO PEDRO DO SUL, RS

3.1 INTRODUÇÃO

As árvores presentes em meio urbano interagem com o ambiente no qual estão inseridas, influenciando e sofrendo influências deste meio. Em suas diferentes tipologias (parques, praças, arborização de calçadas, dentre outras), a floresta urbana promove inúmeros benefícios e contribui para a melhoria da qualidade de vida nas cidades (BIONDI, 2015; ROELAND et al., 2019). Desta maneira, diversos autores buscam entender e avaliar os benefícios promovidos pela floresta urbana e seu impacto no ciclo hidrológico, conforto térmico, poluição (LIVESLEY; MCPHERSON; CALFAPIETRA, 2016), saúde e bem-estar (WOLF et al., 2020).

O planejamento adequado da implantação e manejo da floresta urbana é importante para a obtenção dos benefícios promovidos pela vegetação nas cidades e para evitar conflitos com os equipamentos de infraestrutura urbana (BOBROWSKI, 2011). Entretanto, devido à pressão causada na vegetação durante o processo de urbanização, diversos estudos relacionados à floresta urbana têm sido realizados como forma de mitigar os efeitos negativos ocasionados pela falta de planejamento (MARIA; BIONDI; ZAMPRONI, 2019).

Em inventários florestais utilizados na caracterização da arborização viária, são frequentemente utilizados os índices de Shannon-Wiener e Odum, que expressam a diversidade de espécies e auxiliam no conhecimento da situação existente, subsidiando o planejamento de intervenções futuras de modo a promover a adequação de espécies e indivíduos (BIZ et al., 2016; MARIA; BIONDI; ZAMPRONI, 2019).

Dentre as espécies presentes nas vias públicas é possível observar com frequência um grande número de espécies exóticas e exóticas invasoras em municípios da região sul (BOENI; SILVEIRA, 2011; NESI, 2020; SANTOS et al., 2019). Conforme SEMA (RIO GRANDE DO SUL, 2013), as espécies exóticas são aquelas capazes de sobreviver e se reproduzir fora da sua área natural de distribuição. Por sua vez, as espécies exóticas invasoras se adaptam e invadem o ambiente de espécies nativas, produzindo alterações nos processos ecológicos, composição e riqueza de espécies, tendendo a se tornar dominante.

Os Sistemas de Informações geográficas (SIG) auxiliam na obtenção de informações sobre a arborização viária, permitindo a incorporação de dados sobre variáveis contínuas e discretas em bancos de dados georreferenciados, possibilitando a realização de análises

complexas e facilitando a visualização e síntese dos resultados (VIGNOLA JÚNIOR, 2015). A utilização dessas ferramentas pode auxiliar na tomada de decisões, uma vez que permite o cruzamento de informações importantes ao manejo da arborização de vias públicas, tais como a localização das árvores e os conflitos com equipamentos urbanos (MAYER; OLIVEIRA FILHO; BOBROWSKI, 2015).

Devido à necessidade do conhecimento da arborização viária como auxílio ao planejamento e desenvolvimento urbano mais sustentável, o presente estudo tem como objetivo identificar as áreas prioritárias para a intervenção na vegetação e verificar a influência das espécies exóticas nos índices de diversidade da arborização viária.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

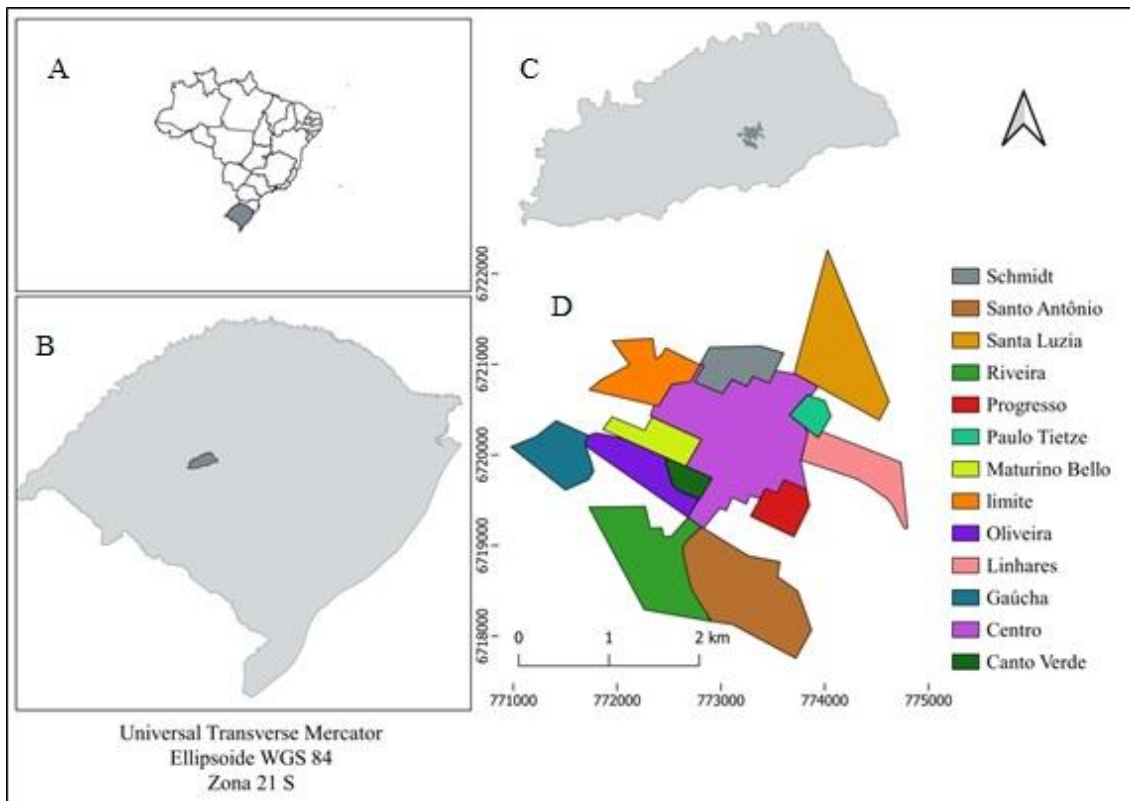
3.2.1 Caracterização da área de estudo

Esta pesquisa foi realizada na cidade de São Pedro do Sul, a qual está localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O município possui aproximadamente 16.368 habitantes e uma economia baseada no setor de serviços e agropecuária, estando inserido nos Biomas da Mata Atlântica e Pampa (IBGE, 2010). O município pertence à região de transição entre o Planalto e a Depressão Central, sendo recoberto pela Floresta Estacional Decidual que possui um papel importante na formação dos solos locais e atua como corredor ecológico (PEDRON; DALMOLIN, 2011).

Segundo a classificação Köppen, o clima da região onde o município está inserido é classificado como Cfa – subtropical úmido com verões quentes e precipitações bem distribuídas durante o ano, variando entre 100 mm e 170 mm mensais. As temperaturas mínimas e máximas nos meses mais frios variam entre -3 °C e 18 °C, com temperatura média no mês mais quente superior a 22 °C (ALVARES et al., 2013).

Atualmente o município não possui um plano de arborização urbana, nem equipe responsável pelas intervenções na vegetação, ficando a manutenção da arborização viária a cargo da própria população, sem considerações técnicas.

Figura 1 - Localização da área de estudo. (A) Brasil; (B) Rio Grande do Sul, Brasil; (C) Município de São Pedro do Sul e (D) Área urbana do município



Fonte: Autor (2022).

3.2.2 Coleta de dados

O método proposto para o inventário das espécies vegetais foi o censo florestal por caminhamento, no qual foram coletadas as posições geográficas de todas as espécies vegetais presentes nas vias públicas da cidade. O levantamento foi realizado entre maio e julho de 2020 por um técnico e um assistente. Os dados foram tabulados com refinamentos para revisão e identificação das nomenclaturas botânicas. Buscou-se identificar as famílias, gêneros e espécies conforme a classificação do *Angiosperm Phylogeny Group* (APG III), utilizando-se os sites de busca Flora Digital e Sistema de Informação Sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBR) para a obtenção dos nomes científicos atualizados.

Os limites dos bairros foram obtidos a partir do georreferenciamento de um arquivo fornecido pela Secretaria Municipal de Planejamento, possibilitando a extração dos vetores contendo os limites dos bairros em ambiente SIG, no aplicativo computacional QGIS versão 3.10. A extração dos vetores das vias municipais foi realizada com o auxílio da ferramenta

livre *Open Street Map* (OSM), onde posteriormente foi realizado um refinamento nos vetores extraídos e obtidos os comprimentos de cada segmento a partir da calculadora de campo.

De posse dos dados do censo, foi criado um arquivo vetorial de pontos das espécies vegetais presentes na cidade, possibilitando assim, a extração da densidade de diversidade de espécies nas vias públicas nos bairros. A diversidade de espécies por bairro foi determinada a partir do índice de *Shannon-Wiener* (H').

$$H' = - \sum SI (\ln Pi) \quad (1)$$

Em que: H' : índice de Shannon; s : número de espécies; e pi : proporção da amostra contendo indivíduos da espécie i .

A fim de gerar informações úteis ao processo de gestão da arborização da cidade, determinou-se a distribuição das árvores e arbustos em relação ao comprimento total das vias, estabelecendo-se o número de indivíduos por quilômetro de rua (árvm/km), bem como a diversificação por espécies e árvores nativas e exóticas invasoras.

Os dados de árvm/km foram analisados por comparação à escala de atenção estabelecida por Iwama (2014), visando direcionar atenção para os bairros mais deficitários em arborização na cidade. Os dados de diversificação foram determinados por meio da metodologia proposta por Bobrowski, Aguiar e Cuchi (2020), em que se decompõem a diversidade total de espécies e o número de árvores e arbustos em quantidades proporcionais de espécies e árvores nativas e exóticas invasoras, para fornecer informações mais adequadas ao processo de gestão da diversidade comparativa entre bairros, eliminando informações mascaradas com a presença de exóticas invasoras.

A partir do número total de espécies e de arbustos e árvores nativas e exóticas invasoras determinou-se o índice de espécies nativas, o índice de espécies invasoras, índices de árvores e arbustos nativos e o índice de árvores invasoras (BOBROWSKI; AGUIAR; CUCHI, 2020).

Para permitir análises gráficas os dados destes índices foram convertidos em classes, sendo que para os índices de natividade foram adotadas cinco classes (Classe Alta – > 75; Classe Média – 50 - 75; Classe Baixa – 25 - 50; Classe Muito Baixa – < 25) e para os índices de invasoras outras cinco classes (Classe Muito Alta – > 75; Classe Alta – 50 - 75; Classe Média – 25 - 50; Classe Baixa – < 25), utilizadas tanto para os dados relacionados às espécies, quanto às árvores e arbustos.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No inventário da arborização viária de São Pedro do Sul, foram percorridos 81,71 km de vias públicas, com um total de 3365 indivíduos distribuídos em 14 bairros. Foi obtido um índice médio de 41,18 indivíduos por quilômetro de via, variando entre 78,16 para o bairro mais arborizado (Paulo Tietze) e 21,24 para o bairro menos arborizado (Linhares). Identificou-se a densidade média de exemplares por quilômetro de via para cada bairro, assim como para a média geral. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os bairros de São Pedro do Sul, RS.

Tabela 1 - Variáveis diretas para o processo de gestão da arborização de calçadas na cidade de São Pedro do Sul, RS

| Bairros | Vias (km) | Nº de Espécies | Nº de Árvores | N/km | Distância média (m) | Shannon (H') | IAT |
|----------------|--------------|----------------|---------------|--------------|---------------------|--------------|-------------|
| Paulo Tietze | 1,59 | 29 | 124 | 78,16 | 12,79 | 2,73 | Média |
| Maturino Bello | 6,59 | 58 | 514 | 77,94 | 12,83 | 3,12 | Média |
| Gaúcha | 3,71 | 41 | 254 | 68,41 | 14,62 | 2,93 | Média |
| Oliveira | 5,07 | 43 | 315 | 62,14 | 16,09 | 2,87 | Média |
| Riveira | 9,86 | 51 | 496 | 50,33 | 19,87 | 3,01 | Alta |
| Santa Luzia | 5,12 | 38 | 236 | 46,10 | 21,69 | 2,93 | Alta |
| Canto Verde | 1,81 | 20 | 74 | 40,89 | 24,46 | 2,42 | Alta |
| Schmidt | 2,81 | 25 | 105 | 37,35 | 26,78 | 2,67 | Muito Alta |
| Centro | 26,06 | 66 | 796 | 30,55 | 32,73 | 3,17 | Muito Alta |
| Progresso | 2,34 | 19 | 71 | 30,40 | 32,90 | 2,07 | Muito Alta |
| Nova Alemanha | 3,97 | 24 | 96 | 24,15 | 41,41 | 2,50 | Muito Alta |
| Santo Antônio | 8,55 | 38 | 194 | 22,70 | 44,05 | 2,85 | Muito Alta |
| Linhares | 4,24 | 26 | 90 | 21,24 | 47,09 | 2,89 | Muito Alta |
| Total | 81,71 | 91 | 3365 | 41,18 | 24,28 | 3,22 | Alta |

Fonte: Autor (2022).

Vias (km): Comprimento de vias em quilômetros; Nº de espécies: Número de espécies; Nº de árvores; N/km: Árvores por quilômetro de via; Distância média (m): Distância média entre indivíduos em metros; Shannon (H'): Índice de diversidade de Shannon – Wiener; IAT: Índice de Atenção de Iwama (2014).

O bairro Linhares possui um conjunto de vias sem a presença de árvores, esse fato ocorre porque mesmo estando dentro do limite urbano, as vias se tratam de estradas rurais, compostas por propriedades rurais, sem a presença de passeios ou casas. O mesmo pode ser observado nas regiões periféricas dos bairros Santo Antônio e Riveira.

Dentre os bairros com maior densidade de espécies por quilômetro de via, apenas o bairro Maturino Bello apresentou boa diversidade de espécies. O mapa de distribuição espacial buscou ilustrar a distribuição de árvores e arbustos presente na malha viária municipal (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição espacial da arborização viária nos bairros de São Pedro do Sul, RS



Fonte: Autor (2022).

Ao analisar a Figura 2 é possível observar a distribuição da arborização no sistema viário, evidenciando os locais com maior e menor concentração de indivíduos. Essa visualização possibilita identificar locais passíveis de intervenção, seja para a identificação de conflitos ou para implantação de novos indivíduos.

Observa-se que ocorre uma distribuição irregular das árvores nas vias públicas da área urbana do município, onde algumas vias apresentam alta densidade e outras vias não apresentam nenhum indivíduo. Em locais com maior concentração de ruas comerciais na região central da cidade há menor densidade arbórea, ocasionada possivelmente devido à maior intensidade na modificação da paisagem ao longo do tempo, provocada pelas intervenções para a instalação de infraestrutura, conflitos com os elementos visuais presentes

nas fachadas comerciais e por haver um grande volume de carga e descarga de mercadorias. Essa distribuição irregular de espécies vegetais também foi observada em outros municípios (BIZ et al., 2016; BORGES et al., 2018).

Dentre o total de indivíduos localizados na malha viária da cidade 98 não foram passíveis de serem identificados. Os indivíduos identificados pertenciam a 34 famílias, 74 gêneros e 91 espécies, sendo a família Fabaceae de maior representatividade (19,55%), seguida pela família Oleaceae, com apenas uma espécie e 15,66% dos indivíduos levantados. As famílias Meliaceae e Bignoniaceae também apresentaram densidade de indivíduos superior a 10% (Tabela 2).

Tabela 2 - Distribuição quantitativa de cada espécie encontrada na arborização viária de São Pedro do Sul (RS), segundo a família, espécie, frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR) e origem (O)

(continua)

| Família | Espécie | FA | FR (%) | O |
|---|---|-----|--------|----|
| Fabaceae | <i>Acacia mearnsii</i> De Wild. | 3 | | EI |
| | <i>Ateleia glazioviana</i> Baill. | 1 | | E |
| | <i>Bauhinia forficata</i> Link. | 7 | | N |
| | <i>Bauhinia variegata</i> L. | 19 | | E |
| | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> Benth. | 40 | | N |
| | <i>Cassia fistula</i> L. | 24 | | E |
| | <i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf. | 8 | | E |
| | <i>Erythrina cristagalli</i> L. | 3 | 19,55 | N |
| | <i>Inga marginata</i> Willd. | 398 | | N |
| | <i>Inga vera</i> Willd. | 11 | | N |
| | <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit | 4 | | EI |
| | <i>Libidibia ferrea</i> (Mart. Ex Tul.) L.P. Queiroz | 1 | | N |
| | <i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan | 16 | | N |
| <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | 47 | | N | |
| <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake | 15 | | N | |
| <i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze | 32 | | EI | |
| Oleaceae | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton | 527 | 15,66 | EI |
| Meliaceae | <i>Cedrela fissilis</i> Vell. | 10 | 12,30 | N |
| | <i>Melia azedarach</i> L. | 404 | | EI |
| Bignoniaceae | <i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S. Mill | 21 | | N |
| | <i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos | 189 | | N |
| | <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos | 55 | 11,50 | N |
| | <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don | 118 | | E |
| | <i>Jacaranda puberula</i> Cham. | 4 | | N |
| Lythraceae | <i>Lagerstroemia indica</i> L. | 298 | 8,97 | E |
| | <i>Punica granatum</i> L. | 4 | | E |
| Myrtaceae | <i>Eucalyptus</i> sp. | 12 | | E |
| | <i>Eugenia involucrata</i> DC. | 10 | 5,88 | N |

(continuação)

| | | | | |
|-----------------|---|-----|------|----|
| | <i>Eugenia pyriformis</i> Cambess | 1 | | N |
| | <i>Eugenia uniflora</i> L. | 47 | | N |
| | <i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand | 9 | | N |
| | <i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel | 2 | | N |
| | <i>Psidium cattleianum</i> Afzel. ex Sabine | 15 | | N |
| | <i>Psidium guajava</i> L. | 81 | | EI |
| | <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels | 20 | | EI |
| | <i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston | 1 | | E |
| Lauraceae | <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl | 13 | | E |
| | <i>Cinnamomum burmannii</i> (Ness & T. Ness) | 117 | | EI |
| | <i>Ocotea catharinensis</i> Mez | 3 | 4,46 | N |
| | <i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees | 3 | | N |
| | <i>Persea americana</i> Mill. | 14 | | E |
| Moraceae | <i>Ficus auriculata</i> Lour. | 12 | | E |
| | <i>Ficus benjamina</i> L. | 26 | 3,63 | E |
| | <i>Ficus elastica</i> Roxb. | 22 | | E |
| | <i>Morus</i> sp. | 62 | | E |
| Rutaceae | <i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle | 3 | | E |
| | <i>Citrus x limonia</i> Osbeck | 67 | | E |
| | <i>Citrus x reticulata</i> Blanco | 3 | 3,48 | E |
| | <i>Citrus x sinensis</i> (L.) Osbeck | 43 | | E |
| | <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam. | 1 | | N |
| Rhamnaceae | <i>Hovenia dulcis</i> Thunb. | 78 | 2,32 | EI |
| Arecaceae | <i>Archontophoenix cunninghamiana</i> (H. Wendl.) H. Wendl. e Drude | 11 | | EI |
| | <i>Butia eriospatha</i> (Mart. ex Drude) Becc. | 9 | 1,84 | N |
| | <i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F. Cook | 5 | | E |
| | <i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman | 37 | | N |
| Malvaceae | <i>Brachychiton populneus</i> (Schott & Endl.) R.Br. | 4 | | E |
| | <i>Hibiscus mutabilis</i> L. | 44 | 1,55 | E |
| | <i>Luehea divaricata</i> Mart. | 4 | | N |
| Rosaceae | <i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl. | 16 | | EI |
| | <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch | 27 | 1,31 | E |
| | <i>Pyrus communis</i> L. | 1 | | E |
| Verbenaceae | <i>Aloysia gratissima</i> (Gillies e Hook.) Tronc. | 1 | 0,92 | N |
| | <i>Duranta erecta</i> L. | 30 | | E |
| Anacardiaceae | <i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand | 1 | | N |
| | <i>Mangifera indica</i> L. | 8 | 0,65 | E |
| | <i>Schinus molle</i> L. | 1 | | N |
| | <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi | 12 | | N |
| Salicaceae | <i>Casearia sylvestris</i> Sw. | 9 | 0,56 | N |
| | <i>Salix babylonica</i> L. | 10 | | E |
| Annonaceae | <i>Annona sylvatica</i> A. St.-Hil. | 15 | 0,45 | N |
| Cupressaceae | <i>Cupressus</i> sp. | 4 | 0,33 | E |
| | <i>Thuja</i> sp. | 7 | | E |
| Melastomataceae | <i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn. | 3 | 0,33 | N |
| | <i>Tibouchina mutabilis</i> (Vell.) Cogn. | 8 | | N |
| Caricaceae | <i>Carica papaya</i> L. | 9 | 0,27 | E |

| | | | | (conclusão) |
|---------------|---|------|--------|-------------|
| Juglandaceae | <i>Carya illinoensis</i> (Wangenh) K. Koch | 7 | 0,21 | E |
| Proteaceae | <i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex Roem. e Schult. | 6 | 0,18 | E |
| Sapindaceae | <i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., A. Juss. e Cambess.) Radlk. | 5 | 0,18 | N |
| | <i>Cupania vernalis</i> Cambess. | 1 | | N |
| Araliaceae | <i>Schefflera arboricola</i> (Hayata) Merr. | 4 | 0,12 | E |
| Apocynaceae | <i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K. Schum. | 3 | 0,09 | E |
| Pinaceae | <i>Pinus</i> sp. | 3 | 0,09 | EI |
| Platanaceae | <i>Platanus ×hispanica</i> Mill. ex Münchh. | 2 | 0,06 | E |
| Adoxaceae | <i>Sambucus nigra</i> L. | 1 | 0,03 | N |
| Araucariaceae | <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze | 1 | 0,03 | N |
| | | | | E |
| Asparagaceae | <i>Beaucarnea recurvata</i> Lem. | 1 | 0,03 | |
| Ebenaceae | <i>Diospyros kaki</i> L.f. | 1 | 0,03 | E |
| Oxalidaceae | <i>Averrhoa carambola</i> L. | 1 | 0,03 | E |
| Rubiaceae | <i>Uncaria tomentosa</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) DC. | 1 | 0,03 | N |
| Desconhecidas | | 98 | 2,91 | |
| Total | | 3365 | 100,00 | |

Fonte: Autor (2022).

A densidade e composição espacial das espécies variaram de acordo com o espaço disponível, tais como o plantio de árvores junto às placas e esquinas. Observou-se também a distribuição de exemplares na área central de passeios com canteiros pequenos ou ausentes, evidenciando a disposição diversificada entre espécies e espaço. As copas apresentaram variabilidade em sua arquitetura devido ao manejo, além de diversas condições fitossanitárias.

As espécies de origem exótica apresentaram maior densidade entre as identificadas, com 63,98%, enquanto os exemplares de origem nativa somaram 33,11% e os não identificados 2,91% do total. A família Fabaceae apresentou maior número de espécies (17) e maior frequência de espécimes (19,55%) na arborização viária.

Dentre as principais espécies observadas para a família, verificou-se que a espécie *Inga marginata* Willd. foi a de maior frequência, estando entre as principais espécies utilizadas na arborização da cidade. A grande frequência de indivíduos e espécies pertencentes à família Fabaceae pode ser observada em outros estudos relacionados à arborização viária (AQUA; MÜLLER, 2015; NESI, 2020; SOUSA et al., 2019).

Essa alta frequência da família nos estudos de arborização viária pode ser atribuída pela sua ampla distribuição geográfica e por ser considerada como uma das três maiores famílias de plantas em número de espécies (CANTUÁRIA et al., 2017). Os resultados indicam uma grande diversidade e abundância de espécies da família no meio urbano,

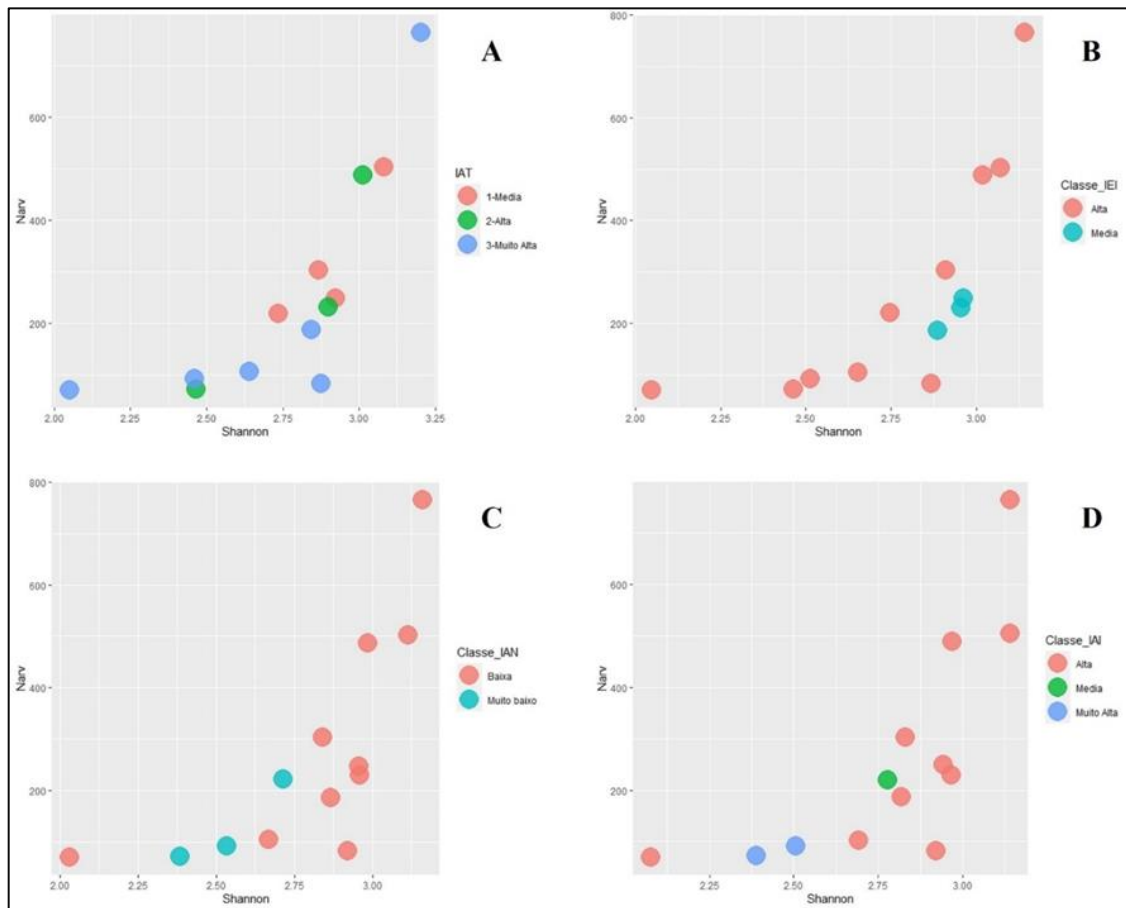
distribuídas em diversas regiões do Brasil, evidenciando a grande importância e interação das espécies com a população urbana.

No geral, a cidade apresentou índice de diversidade *Shannon-Wiener* (3,22). O Centro apresentou o maior valor para o índice de *Shannon* (3,17) e o bairro Progresso, expressou o menor valor para o índice, com *Shannon* (2,07). Observou-se que os valores do índice de *Shannon-Wiener* obtidos para os bairros, no geral, não apresentaram alta diversidade. Porém os bairros Maturino Bello, Riveira e Centro apresentaram índice superior a três, considerado como boa diversidade de espécies (MARIA; BIONDI; BOBROWSKI, 2016).

Apesar dos valores de diversidade relativamente altos para alguns bairros, estes valores não são distribuídos de forma homogênea nas ruas, uma vez que áreas maiores tendem a apresentar maior número de árvores e conseqüentemente um índice de diversidade maior. Desta maneira, o índice de atenção (Figura 3A) considera o tamanho da área em seu cálculo, demonstrando que mesmo locais com alta densidade e alto índice de diversidade podem necessitar de atenção.

Por outro lado, observa-se que a diversidade de espécies está representada essencialmente por espécies vegetais exóticas invasoras (Figura 3B) e que à medida que os valores de diversidade aumentam a composição da arborização com espécies invasoras se destaca (Figura 3D) em detrimento das espécies nativas (Figura 3C).

Figura 3 - Comparação da evolução dos valores do índice de Shannon em relação ao número total de indivíduos considerando o índice de atenção (IAT) em (A), o índice de espécies invasoras (IEI) em (B), o índice de árvores nativas (IAN) em (C) e o índice de árvores invasoras em (D)



Fonte: Autor (2022).

A partir do índice de atenção (IAT), estabelecido por Iwama (2014), verificou-se que todos os bairros necessitam de atenção em relação à densidade de árvores por quilômetro de via, onde os bairros que necessitam de muito alta atenção possuem menos de 40 ár/km e os bairros que necessitam de alta e média atenção possuem valores entre 40-60 e 60-80 ár/km, respectivamente.

Para a criação do IAT, considerou-se o potencial máximo de árvores por quilômetro de via, porém ao analisar a arborização municipal percebe-se que este potencial é reduzido devido à variabilidade no espaço disponível para plantio, sendo limitado pelos demais elementos da infraestrutura urbana, tais como passeios estreitos, grande número de entrada de garagens, distribuição de placas, postes e tubulações.

A elevada composição de espécies exóticas na arborização viária ilustra uma preferência popular por qualidades encontradas nessas espécies, que retrata uma indiferença

em relação à sua origem e possivelmente busca apenas os benefícios proporcionados pelas árvores. Boeni e Silveira (2011) mencionam que a maioria das cidades brasileiras apresenta a composição arbórea pouco diversificada, com predomínio de espécies exóticas.

A utilização de espécies vegetais exóticas adaptadas à região pode ser viável, uma vez que essas espécies podem possuir características que favoreçam sua implantação e adequação ao local proposto (LACERDA; LIRA FILHO, SANTOS, 2019). Aqua e Müller (2015) mencionam que a utilização expressiva das espécies *Ligustrum lucidum* W.T. Ailton e *Lagerstroemia indica* L. evidenciam a preferência por espécies rústicas com rápido desenvolvimento e refletem o histórico de utilização nos municípios do Rio Grande do Sul.

Além disso, Aqua e Müller (2015) ressaltam que a utilização de espécies exóticas por vezes acontece devido ao modismo, facilidade de aquisição das mudas pela população ou pela taxa de crescimento acelerada. Desta maneira, entende-se que a explicação pela preferência das espécies observadas pode estar ligada a vários fatores, tais como a conveniência ou mesmo fatores culturais.

Por outro lado, as espécies exóticas invasoras são indesejáveis na arborização viária, pois podem comprometer a composição e diversidade de espécies em remanescentes florestais (BOBROWSKI; BIONDI; FLORESTAL, 2013). A partir da análise do índice é possível verificar a necessidade de um incremento do número de espécies nativas na composição da arborização viária, aumentando assim a representatividade das árvores nativas no índice de diversidade. Além disso, pode-se manejar a arborização buscando um equilíbrio entre densidade e diversidade de espécies. Observa-se que as cinco espécies mais frequentes na área urbana representam 53,97% do total da população (Tabela 3).

Tabela 3 - Proporção das cinco espécies vegetais de maior frequência em relação ao total de indivíduos encontrados na área urbana do município de São Pedro do Sul (RS)

| Espécie | F _A | F _R (%) |
|---|----------------|--------------------|
| <i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Ailton | 527 | 15,66 |
| <i>Melia azedarach</i> L. | 404 | 12,01 |
| <i>Inga marginata</i> Willd. | 398 | 11,83 |
| <i>Lagerstroemia indica</i> L. | 298 | 8,86 |
| <i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex A.DC.) Mattos | 189 | 5,62 |
| Total | 1816 | 53,97 |

Fonte: Autor (2022).

F_A: Frequência absoluta de indivíduos; F_R: Frequência relativa de indivíduos, expresso em percentagem.

As espécies *Ligustrum Lucidum* e *Melia azedarach* foram incluídas na lista de espécies exóticas invasoras do estado do RS, estabelecida pela Portaria n° 79/2013, da Secretária Estadual do Meio Ambiente (SEMA) (RIO GRANDE DO SUL, 2013) e possuem princípios tóxicos, podendo ser consideradas potencialmente nocivas à saúde (SOUZA et al., 2011). Conforme Bobrowski, Biondi e Florestal (2013) a espécie de maior ocorrência na área urbana do município, *Ligustrum Lucidum* W.T. Ailton, é considerada uma espécie frequentemente plantada nas cidades brasileiras.

Motter e Müller (2012) obtiveram valores semelhantes para a proporção entre nativas e exóticas no município de Tuparendi - RS, com alta representatividade das espécies *Ligustrum lucidum* W.T. Ailton e *Lagerstroemia indica* L. Os autores mencionam que é comum a uniformidade quanto ao emprego de algumas espécies nas cidades brasileiras, dando ênfase a um número reduzido de espécies a partir de experiências de outros municípios.

3.4 CONCLUSÃO

A área urbana do município apresenta grande frequência de indivíduos pertencentes a poucas espécies vegetais, principalmente às espécies exóticas. As espécies exóticas invasoras possuem grande influência nos valores obtidos para o índice de diversidade, aumentando à medida que os valores do índice de diversidade aumentam.

A partir do mapa de distribuição da arborização viária é possível identificar regiões com alta densidade de vegetação, sugerindo-se como locais prioritários para a identificação de conflitos e intervenção na arborização.

O inventário da arborização viária é um passo importante para o entendimento da situação existente e planejamento de ações de manejo da arborização viária. Além disso, os Sistemas de Informações Geográficas e as ferramentas de geoprocessamento possuem grande potencial para auxiliar no planejamento e gestão da arborização de vias públicas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2014.
- AQUA, M. D.; MÜLLER, N. T. G. Diagnóstico da arborização urbana de duas vias na cidade de santa rosa – RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 141-155, jun. 2015.
- BIONDI, D. **Floresta urbana**. Curitiba: O Autor, 2015. 202 p.
- BIZ, S. et al. Indicadores de diversidade para a arborização viária do bairro centro norte da cidade de dois vizinhos – paraná. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 10, n. 3, p. 1-13, jan. 2016.
- BOBROWSKI, R. **Estrutura e dinâmica da arborização de ruas de Curitiba, Paraná, no período 1984-2010**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2011.
- BOBROWSKI, R.; AGUIAR, J. T.; CUCHI, T. How to qualify the vegetation in public squares to help the management of urban ecosystem services? **Ciência & Natura**, Santa Maria, v. 42, p. e80, 2020.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D.; FLORESTAL, E. Espécies não tradicionais e espécies indesejáveis na composição da arborização de ruas. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], v. 9, p. 1293-1304, 2013.
- BOENI, B. O.; SILVEIRA, D. Diagnóstico da arborização urbana em bairros do município de Porto Alegre, RS, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 189-206, set. 2011.
- BORGES, D. A. B. et al. Análise da arborização urbana na cidade de Patos/PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 1343-1359, out. 2018.
- CANTUÁRIA, P. C. et al. Ocorrência de fabaceae da área de proteção ambiental da fazendinha, Macapá, Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 49-52, jun. 2017.
- IBGE. **Panorama 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-pedro-do-sul/panorama>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- IWAMA, A. Y. Indicador de arborização urbana como apoio ao planejamento de cidades brasileiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 156-172, 2014.
- LACERDA, R. M. A.; LIRA FILHO, J. A.; SANTOS, R. V. Indicação de espécies de porte arbóreo para a arborização urbana no semi-árido paraibano. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 51, maio 2019.

- LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 119-124, 2016.
- MARIA, T. R. B. C.; BIONDI, D.; BOBROWSKI, R. Inventário florístico quali-quantitativo das vias públicas de Itanhaém -SP. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 11, n. 4, p. 79-97, dez. 2016.
- MARIA, T. R. B. C.; BIONDI, D.; ZAMPRONI, K. Spacial indexes and biological diversity of itanhaém, São Paulo, Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 2, p. 267-276, mar. 2019.
- MAYER, C.; OLIVEIRA FILHO, P.; BOBROWSKI, R. Análise espacial de conflitos da arborização de vias públicas: caso Irati, Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 11-20, jan./mar. 2015.
- MOTTER, N.; MÜLLER, N. G. Diagnóstico da arborização urbana no município de Tuparendi-RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 27-33, dez. 2012.
- NESI, J. **Componentes arbóreos em vias públicas**: análise da floresta urbana de Guarapuava, Paraná. 2020. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D. Solos da região do rebordo do Planalto Meridional no Rio Grande do Sul. In: SCHUMACHER, M. V. et al. (Orgs.). **A Floresta estacional subtropical**. Caracterização e ecologia no rebordo do planalto meridional. Santa Maria: [s.n.], 2011. p. 33-51.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Portaria SEMA nº 79 de 31 de outubro de 2013**. Reconhece a lista de espécies exóticas invasoras RS e demais classificações, normas e outras providencias. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201612/23180118-portaria-sema-79-de-2013-especies-exoticas-invasoras-rs.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- ROELAND, S. et al. Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. **Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 30, n. 6, p. 1981-1996, dez. 2019.
- SANTOS, F. D. et al. Situação da arborização urbana no município de Frederico Westphalen, RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 14, n. 1, p. 53-62, maio 2019.
- SOUSA, L. A. et al. Levantamento quali-quantitativo da arborização urbana no município de Buriticupu, MA. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 14, n. 1, p. 42-52, maio 2019.
- SOUZA, A. R. C. et al. Identificação das espécies ornamentais nocivas na arborização urbana de Santiago/RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 44-57, jun. 2011.

VIGNOLA JÚNIOR, R. ArbVias: método de avaliação da arborização no sistema viário urbano. **Paisagem e Ambiente**, São Paulo, n. 35, p. 89, out. 2015.

WOLF, K. L. et al. Urban trees and human health: a scoping review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s.l.], v. 17, n. 12, p. 4371, jan. 2020.

4 CAPÍTULO II - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS OBTIDAS POR RPAS NA ESTIMATIVA DA ALTURA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS

4.1 INTRODUÇÃO

O planejamento da arborização viária é indispensável para o desenvolvimento urbano e requer inicialmente um inventário quali-quantitativo para o conhecimento da situação existente (COLETTI; MÜLLER; WOLSKI, 2008). Conforme Bobrowski (2011) um planejamento adequado proporciona os benefícios produzidos pela vegetação nas cidades e evita conflitos com os equipamentos de infraestrutura urbana.

A coleta de dados a campo em inventário florestal em floresta urbana pelo método convencional tem sido utilizada em sua maioria para pequenas áreas (NOWAK et al., 2008). Destaca-se que a aquisição de dados por meio do inventário florestal convencional é uma prática onerosa, demandando trabalho e tempo intensivo às atividades (ISIBUE; PINGEL, 2020).

Oliveira e Tavares (2012) mencionam que a utilização de variáveis como altura total e cobertura de copa são realizados para identificar possíveis conflitos com equipamentos de infraestrutura e mobiliário urbano. Entretanto, diversas informações podem ser geradas a partir do conhecimento da altura e área de copa das árvores urbanas, possibilitando a estimativa de determinados serviços ecossistêmicos (HUANG et al., 2020; SANQUETTA et al., 2018).

Portanto, urge a necessidade da aplicação de novos métodos que possibilitem a obtenção de variáveis de interesse para populações maiores, de modo que possa ser realizada a estimativa de parâmetros para maiores áreas sem aumentar os custos com a coleta de dados. Desta maneira, as técnicas baseadas na utilização de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) estão em rápida expansão e estão relacionadas ao estado-da-arte no sensoriamento remoto (LIN et al., 2015).

A altura das árvores tem sido estimada a partir de metodologias que empregam sensores ativos, baseados na tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR) e sensores passivos, por meio de técnicas conhecidas como *Structure from motion* (SfM), que possibilitam a reconstrução da arquitetura das árvores mensuradas (CUNHA NETO et al., 2021; JURADO et al., 2020).

Os maiores desafios na realização de inventários florestais em áreas urbanas são ocasionados devido à complexidade das áreas, onde a diversidade e forma das árvores refletem a heterogeneidade da floresta urbana (LIN et al., 2015), tornando-se um desafio a obtenção dessas variáveis de forma precisa e com custo reduzido. Diante do exposto, o presente estudo objetiva estimar a altura de árvores individuais em uma floresta urbana a partir da técnica *Structure from motion* (SfM) em imagens obtidas por RPAS.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

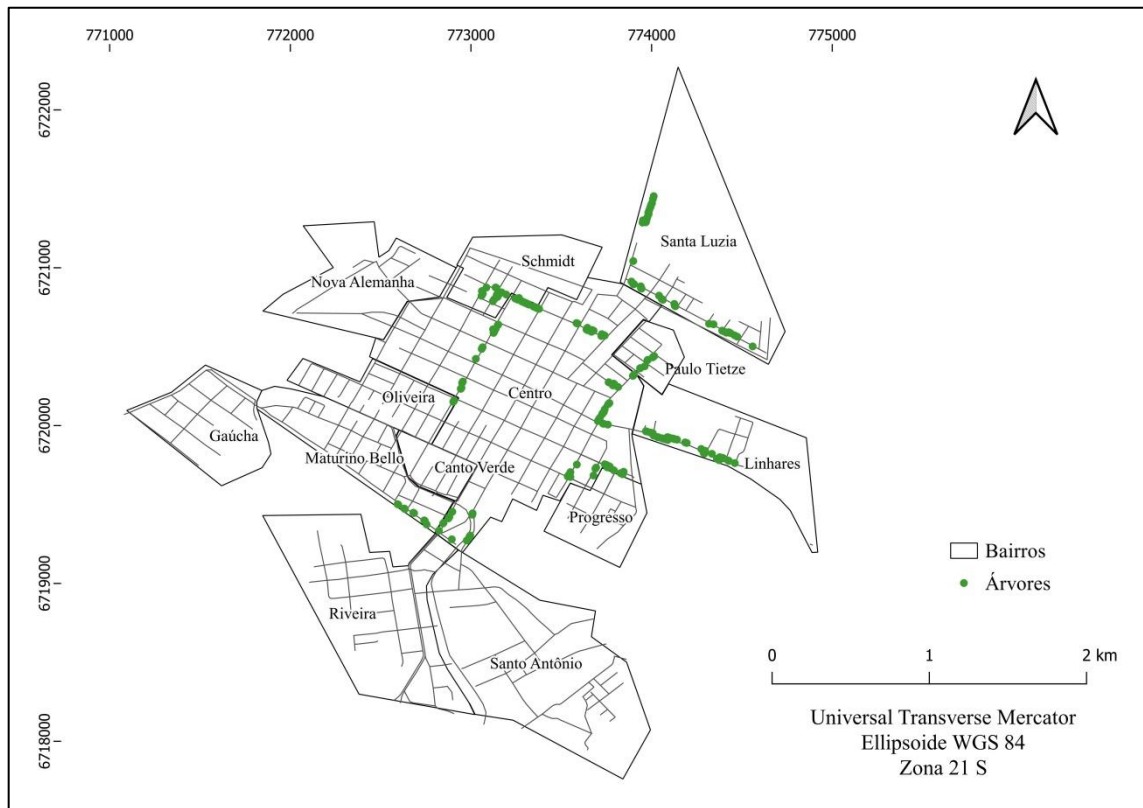
4.2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em algumas ruas da área urbana de São Pedro do Sul, a qual está localizada na região central do Estado do Rio Grande do Sul. O município possui aproximadamente 16.368 habitantes e uma economia baseada no setor de serviços e agropecuária, estando inserido nos Biomas da Mata Atlântica e Pampa (IBGE, 2010). Inserido na região de transição entre o Planalto e a Depressão Central, o município é recoberto pela Floresta Estacional Decidual que possui um papel importante na formação dos solos locais e atua como corredor ecológico (PEDRON; DALMOLIN, 2011).

Segundo a classificação Köppen o clima da região é classificado como Cfa – subtropical úmido com verões quentes e precipitações bem distribuídas durante o ano, variando entre 100 mm e 170 mm mensais. As temperaturas máximas e mínimas nos meses mais frios variam entre -3 °C e 18 °C, com temperatura média no mês mais quente superior a 22 °C (ALVARES et al., 2014).

Buscou-se avaliar aproximadamente 10% do comprimento total das vias públicas da área urbana. Desta maneira, percorreu-se aproximadamente 6,58 km, avaliando-se todas as árvores encontradas nas vias públicas amostradas (Figura 1).

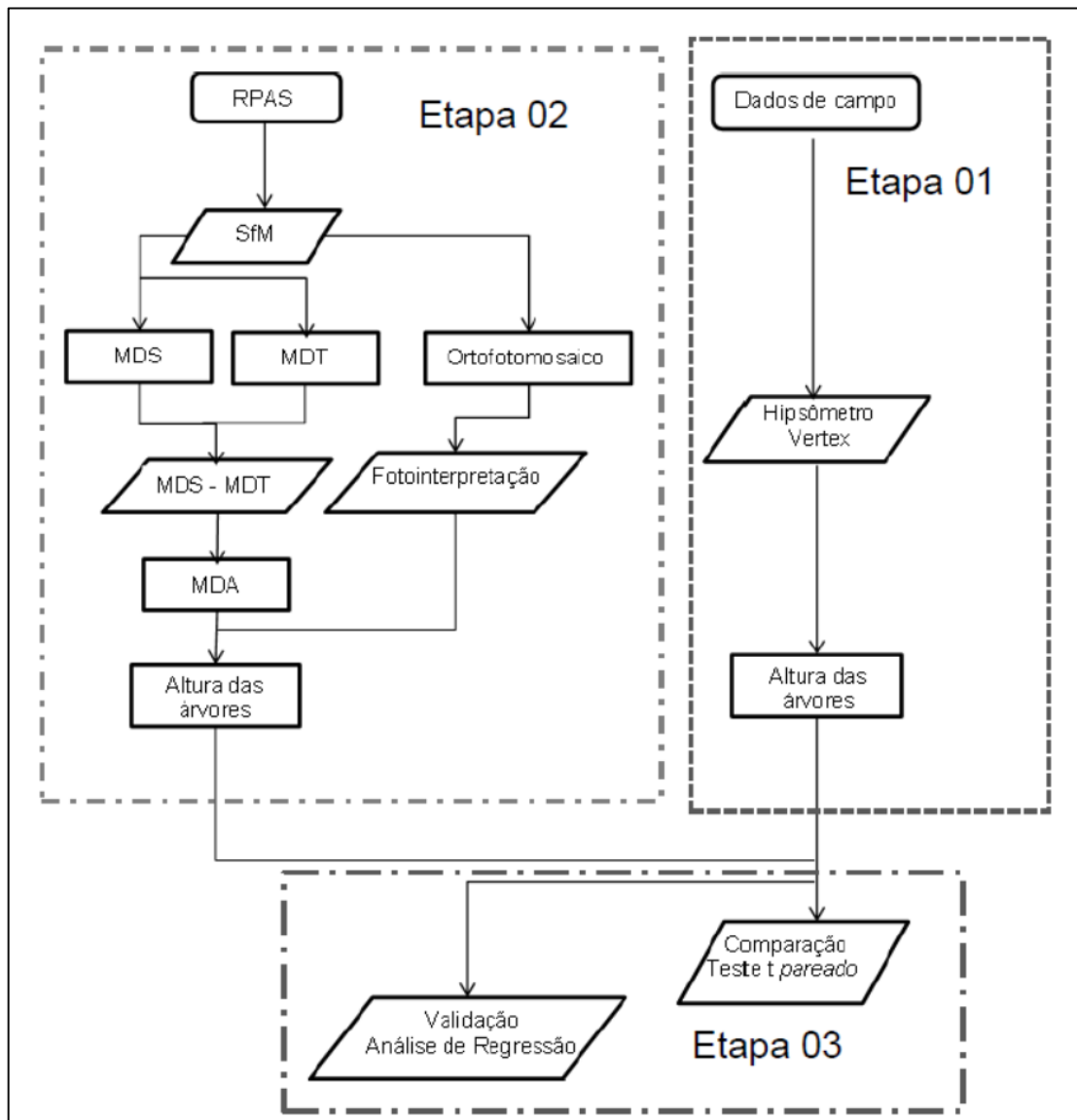
Figura 1 - Localização da área de estudo com indicação de unidade amostral em São Pedro do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil



Fonte: Autor (2022).

Para melhor entendimento da metodologia utilizada, a mesma foi dividida em três etapas, sendo: Etapa 1 – Levantamento terrestre, Etapa 2 – Levantamento aéreo, Etapa 3 – Análise estatística. A Figura 2 apresenta as principais etapas envolvidas na metodologia do presente estudo.

Figura 2 - Fluxograma das principais etapas metodológicas utilizadas no estudo



Fonte: Autor (2022).

Onde: RPAS: Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada; SfM: Structure from Motion; MDT: Modelo Digital do Terreno; MDS: Modelo Digital de Superfície; MDA: Modelo Digital de Altura.

4.2.2 Levantamento Terrestre

Foi realizado o inventário florestal das árvores encontradas nas vias públicas amostradas, conforme descrito no Capítulo II. O levantamento foi realizado entre janeiro e fevereiro de 2021. Os dados foram tabulados com refinamentos para revisão e identificação das nomenclaturas botânicas. Buscou-se identificar as famílias, gêneros e espécies conforme a classificação *Angiosperm Phylogeny Group* (APG III).

A posição geográfica foi coletada com o auxílio de um *Global Navigation Satellite System* (GNSS) portátil da marca Garmin eTrex® 10. Desta maneira, a altura das árvores foi obtida com a utilização de um hipsômetro *Haglöf Vertex IV* e um transponder instalado a 1,3 metros do solo, mirando-se inicialmente no transponder e posteriormente no ponto mais elevado, representando o topo das árvores.

4.2.3 Levantamento Aéreo

As imagens aéreas foram obtidas no dia 29/01/2021 entre às 09h00m e 15h00m com a utilização do RPAS modelo *Phantom® 4 Pro* (DJI, 2019), equipado com um sensor RGB (CMOS) de 20 megapixels. O plano de voo foi executado no aplicativo *Drone Deploy®* com altura de voo de 100 m e sobreposição longitudinal de 80% e lateral de 70%, esses parâmetros foram utilizados por meio da experiência prévia do operador.

4.2.3.1 Processamento das Imagens

O processamento inicial das imagens foi realizado no aplicativo computacional *Pix4Dmapper®*, obtido por meio de uma licença gratuita para uso estudantil, onde foi realizada a calibração automática dos parâmetros internos da câmera e gerado o ortofotomosaico juntamente com a classificação e filtragem da nuvem de pontos e geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT).

Para a análise da altura, foi utilizado o aplicativo computacional *QGIS* versão 3.10, onde foi realizado recorte das imagens geradas com um *buffer* de 15 m a partir do vetor contendo o traçado das ruas. Desta maneira, inseriu-se um arquivo vetorial de pontos para a identificação das árvores presentes na arborização viária. O Modelo Digital de Altura (MDA) foi obtido com a ferramenta “*Calculadora Raster*” no *QGIS*, subtraindo o MDT do MDS.

A altura individual de cada árvore foi obtida a partir do recorte do MDA pelo arquivo vetorial contendo a área da copa de interesse, fotointerpretada na ortofoto, extraindo assim o ponto de maior cota sobre a área recortada. Desta maneira, os valores de altura foram salvos em planilha para posterior análise.

4.2.4 Análise Estatística

A altura obtida pelo hipsômetro *Vertex IV* foi considerada a verdadeira, pois o equipamento possui uma boa confiança nas amostragens (SILVA et al., 2012), tornando-se a referência na comparação dos valores obtidos. Desta maneira, utilizou-se o *teste-t pareado* a 95% de significância para identificar se houve diferença entre os métodos, a partir da comparação dos valores obtidos pelos pares observados, conforme a equação 1.

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{n}} \sim t_{v=n-1} \quad (1)$$

Em que: t: teste t pareado; \bar{d} : média das diferenças entre os pares; S_d : desvio padrão das diferenças entre os pares e n: número de pares.

A partir da relação entre os dados observados, buscou-se descrever seu comportamento por meio de uma análise de regressão linear. Observou-se também, o Erro Médio Absoluto (MAE) e Quadrado Médio do Erro (RMSE) para o modelo criado, descrito nas equações 2 e 3.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j| \quad (2)$$

Em que: MAE: erro médio absoluto; y_j : valor estimado; \hat{y}_j : valor verdadeiro; n: total de observações.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad (3)$$

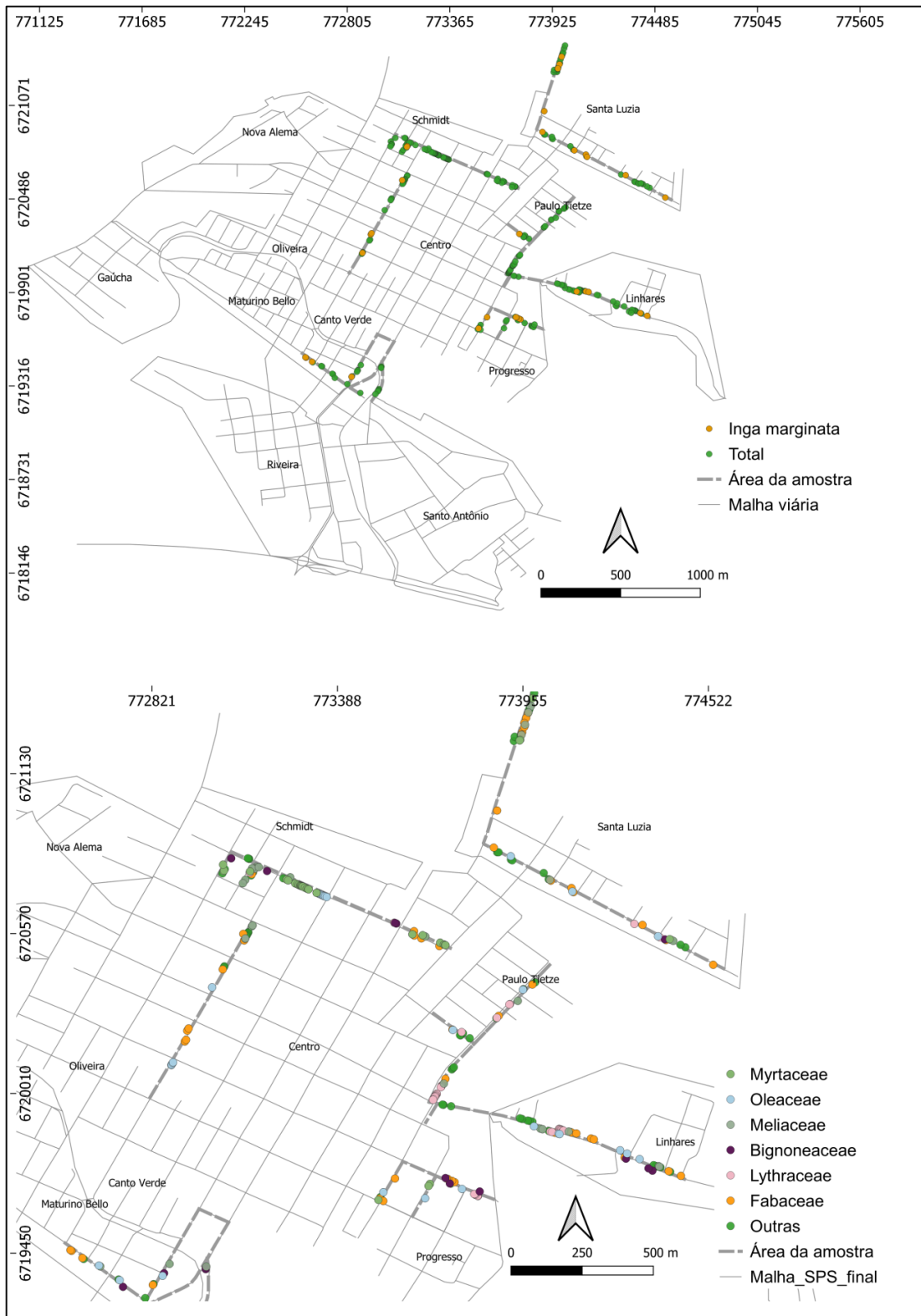
Em que: RMSE: quadrado médio do erro; y_j : valor estimado; \hat{y}_j : valor verdadeiro; n: total de observações.

Foram comparadas as médias, frequência e significâncias para as famílias e para o total. Os testes de comparação de médias e correlação dos dados foram conduzidos no software livre RStudio (R CORE TEAM, 2022). Realizou-se a representação gráfica da das observações pelos métodos meio de um gráfico de *boxplot*.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição espacial das espécies encontradas na arborização presente no estudo pode ser observada na Figura 3. Destaca-se que as vias públicas possuem uma alta diversidade de famílias, não seguindo padrões específicos de distribuição das espécies.

Figura 3 - Distribuição espacial da arborização viária analisada na área de estudo em São Pedro do Sul, RS



Fonte: Autor (2022).

4.3.1 Descrição da amostra

Ao total foram mensuradas 253 árvores, com maior expressão para as famílias Lythraceae, Fabaceae, Meliaceae e Oleaceae. Destaca-se que as famílias Lythraceae e Oleaceae, foram compostas por apenas uma espécie, sendo estas *Lagerstroemia indica* L. (Lythraceae) e *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (Oleaceae), respectivamente. A família Meliaceae foi composta por quase sua totalidade pela espécie *Melia azedarach* L. (97,05%, n = 33).

Tabela 1 - Distribuição quali-quantitativa da arborização viária de São Pedro do Sul (RS), segundo a origem, frequência por espécie e família

| (continua) | | | | | |
|------------|--------------|---|--------|-------|---|
| Família | Espécie | F _r | Fa (%) | Oigem | |
| 1 | Lythraceae | <i>Lagerstroemia indica</i> L. | 56 | 22,13 | E |
| | | <i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake | 1 | | N |
| | | <i>Caesalpinia peltophoroides</i> Benth. | 1 | | N |
| | | <i>Delonix regia</i> (Hook.) Raf. | 2 | | E |
| | | <i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub. | 2 | | N |
| 10 | Fabaceae | <i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan | 2 | 20,55 | N |
| | | <i>Tipuana tipu</i> (Benth.) Kuntze | 2 | | E |
| | | <i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong | 2 | | N |
| | | <i>Bauhinia variegata</i> L. | 4 | | E |
| | | <i>Cassia fistula</i> L. | 5 | | E |
| | | <i>Inga marginata</i> Willd. | 31 | | N |
| 2 | Meliaceae | <i>Cedrela fissilis</i> Vell. | 1 | 13,44 | N |
| | | <i>Melia azedarach</i> L. | 33 | | E |
| 1 | Oleaceae | <i>Ligustrum lucidum</i> W.T. Aiton | 32 | 12,65 | E |
| | | <i>Jacaranda puberula</i> Cham. | 1 | | N |
| 4 | Bignoniaceae | <i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos | 4 | 6,72 | N |
| | | <i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos | 6 | | N |
| | | <i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don | 6 | | E |
| | | <i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston | 1 | | E |
| 4 | Myrtaceae | <i>Psidium cattleianum</i> Afzel. ex Sabine | 4 | 3,95 | N |
| | | <i>Psidium guajava</i> L. | 2 | | N |
| | | <i>Eugenia uniflora</i> L. | 3 | | N |
| 1 | Lauraceae | <i>Cinnamomum burmannii</i> (Ness & T. Ness) | 9 | 3,56 | E |
| | | <i>Ficus benamina</i> L. | 1 | | E |
| 3 | Moraceae | <i>Ficus auriculata</i> Lour. | 1 | 3,56 | E |
| | | <i>Morus</i> sp. | 7 | | E |
| 2 | Arecaceae | <i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman | 4 | 2,37 | N |
| | | <i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F. Cook | 2 | | E |
| 1 | Proteaceae | <i>Grevillea robusta</i> A. Cunn. ex Roem. e Schult. | 5 | 1,98 | E |

| (conclusão) | | | | | |
|-------------|---------------|--------------------------------------|-----|------|----|
| 2 | Rutaceae | <i>Citrus x limonia Osbeck</i> | 2 | 1,98 | E |
| | | <i>Citrus x sinensis (L.) Osbeck</i> | 3 | | E |
| 1 | Verbenaceae | <i>Duranta erecta L.</i> | 4 | 1,58 | E |
| 1 | Rhamnaceae | <i>Hovenia dulcis Thunb.</i> | 4 | 1,58 | E |
| 2 | Malvaceae | <i>Hibiscus mutabilis L.</i> | 3 | 1,58 | E |
| | | <i>Luehea divaricata Mart.</i> | 1 | | N |
| 1 | Salicaceae | <i>Salix babylonica L.</i> | 1 | 0,4 | E |
| 1 | Cupressaceae | <i>Thuja sp.</i> | 1 | 0,4 | E |
| - | Desconhecidas | Desconhecida | 4 | 1,58 | NA |
| Total | | | 253 | 100 | - |

Fonte: Autor (2022).

Em que: F_a: Frequência absoluta por família; F_i: Número de indivíduos por espécie.

4.3.2 Descrição por família

O desempenho dos métodos apresentou diferenças significativas para as famílias de acordo com o *teste-t pareado*, indicando que a comparação pareada das alturas obtidas Modelo Digital de Altura (MDA) foram inferiores aos obtidos pelo Hipsômetro *Vertex*. Conforme pode ser observado na Tabela 2, não foi identificada diferença significativa entre os métodos apenas para a família Meliaceae, a qual possui a menor média nas diferenças dos valores observados. A Tabela 3 ilustra os valores descritivos das alturas para as famílias.

Tabela 2 - Comparação de métodos na obtenção de altura das famílias da arborização viária de São Pedro do Sul, RS

| Família | Teste t-pareado | | | Média das diferenças |
|--------------|-----------------|-----|------------|----------------------|
| | Valor de T | GL | Valor de p | |
| Lythraceae | 3,88 | 55 | < 0,001 | 0,44 |
| Fabaceae | 4,81 | 52 | < 0,001 | 0,59 |
| Meliaceae | 1,95 | 32 | 0,059* | 0,33 |
| Oleaceae | 2,49 | 32 | 0,017 | 0,39 |
| Bignoniaceae | 2,35 | 16 | 0,031 | 0,69 |
| Outras | 3,46 | 62 | < 0,001 | 0,49 |
| Total | 7,85 | 252 | < 0,001 | 0,48 |

Fonte: Autor (2022)

Em que: GL: graus de liberdade; * não houve diferença significativa.

Tabela 3 - Estatística descritiva dos valores obtidos para as alturas das árvores mensuradas pelos métodos propostos para as famílias

| Famílias | UA | Vertex | | MDA | | RMSE | MAE |
|--------------|-----|--------|------|-------|------|------|------|
| | | Média | DP | Média | DP | | |
| Lythraceae | 56 | 4,34 | 0,9 | 3,89 | 1,0 | 0,79 | 0,60 |
| Fabaceae | 53 | 6,46 | 2,15 | 5,86 | 1,86 | 0,77 | 0,60 |
| Meliaceae | 33 | 5,17 | 1,78 | 4,84 | 1,74 | 0,91 | 0,65 |
| Oleaceae | 32 | 5,78 | 1,10 | 5,39 | 1,23 | 0,84 | 0,61 |
| Bignoniaceae | 17 | 6,64 | 2,51 | 5,95 | 2,45 | 1,12 | 0,80 |
| Outras | 62 | 5,53 | 2,35 | 5,05 | 2,20 | 1,02 | 0,73 |
| Total | 253 | 5,52 | 2,01 | 5,04 | 1,89 | 0,91 | 0,66 |

Fonte: Autor (2022)

Em que: Média: altura média; DP: Desvio padrão; UA: Unidade Amostral; Vertex: hipsômetro Vertex; MDA: Modelo Digital de Altura, MAE: Erro Médio Absoluto; RMSE: Raiz do Erro Quadrático Médio.

A altura obtida pelo MDT é importante na reconstrução da estrutura da vegetação, permitindo assim a obtenção da altura da árvore de forma mais precisa (GOLDBERGS et al., 2018). De acordo com Wallace et al. (2016), árvores com copas mais densas podem ocasionar inconsistências na representação da superfície do terreno, promovendo diferenças nas estimativas de altura. Entretanto, o presente estudo sugere que apenas os pontos próximos de determinada cobertura são incluídos na nuvem de pontos, uma vez que árvores com copas “ralas” não foram captadas pelo MDS.

4.3.3 Descrição por espécies

Dentre as 253 unidades amostrais que compuseram a análise, 157 pertenciam às famílias mais frequentes do município. Os valores médios e desvio padrão obtidos pelos métodos podem ser visualizados por espécie na Tabela 4. O hipsômetro não apresentou diferença significativa para as espécies *Handroanthus chrysotrichus* e *Melia azedarach* Tabela 5.

Tabela 4 - Comparação de métodos na obtenção de altura de espécies da arborização viária de São Pedro do Sul, RS

| Espécies | Teste t-pareado | | | Média das diferenças |
|---|-----------------|-----|------------|----------------------|
| | Valor de T | GL | Valor de p | |
| <i>Lagerstroemia indica L.</i> | 3,88 | 55 | < 0,001 | 0,44 |
| <i>Inga marginata Willd.</i> | 4,64 | 30 | < 0,001 | 0,56 |
| <i>Melia azedarach L.</i> | 1,88 | 31 | 0,069* | 0,33 |
| <i>Ligustrum lucidum W.T. Aiton</i> | 2,49 | 32 | 0,017 | 0,39 |
| <i>Handroanthus chrysotrichus (Mart. ex DC.) Mattos</i> | -0,77 | 5 | 0,474* | -0,27 |
| Outras | 5,21 | 95 | < 0,001 | 0,6 |
| Total | 7,85 | 252 | < 0,001 | 0,48 |

Fonte: Autor (2022)

*não houve diferença significativa.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores obtidos para as alturas das árvores mensuradas pelos métodos propostos para as espécies mais frequentes

| Espécies | UA | Vertex | | MDA | | RMSE | MAE |
|---|-----|--------|-------|-------|-------|------|------|
| | | Média | DP | Média | DP | | |
| <i>Lagerstroemia indica L.</i> | 56 | 4,34 | ±0,90 | 3,89 | ±1,00 | 0,79 | 0,60 |
| <i>Inga marginata Willd.</i> | 31 | 5,96 | ±1,49 | 5,40 | ±1,45 | 0,64 | 0,48 |
| <i>Melia azedarach L.</i> | 32 | 4,99 | ±1,46 | 4,66 | ±1,42 | 0,90 | 0,64 |
| <i>Ligustrum lucidum W.T. Aiton</i> | 32 | 5,78 | ±1,10 | 5,39 | ±1,23 | 0,84 | 0,61 |
| <i>Handroanthus chrysotrichus (Mart. ex DC.) Mattos</i> | 06 | 4,88 | ±1,72 | 5,15 | ±2,11 | 0,74 | 0,66 |
| Outros | 96 | 6,22 | ±2,60 | 5,63 | ±2,37 | 1,01 | 0,74 |
| Total | 253 | 5,52 | ±2,01 | 5,04 | ±1,89 | 0,91 | 0,66 |

Fonte: Autor (2022).

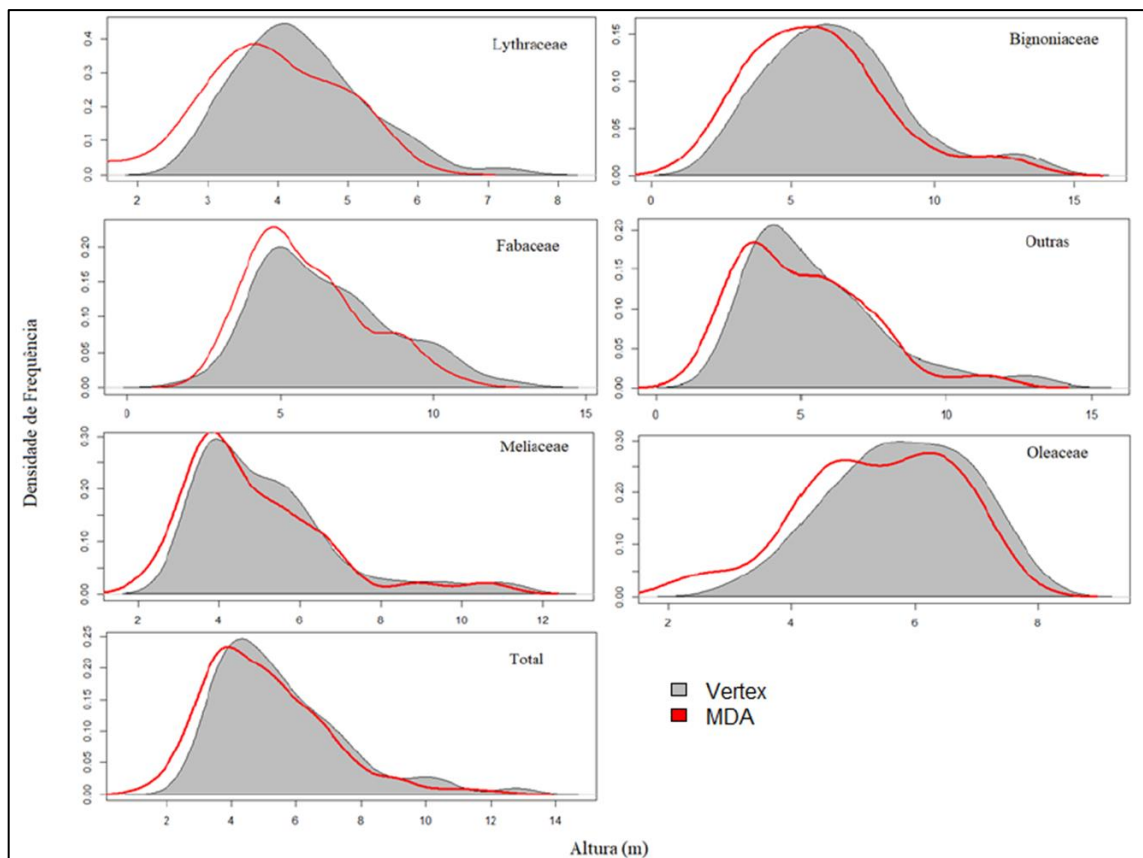
Em que: média: altura média; DP: desvio padrão; UA: unidade amostral; *vertex*: hipsômetro *vertex*; MDA: modelo digital de altura, MAE: Erro Médio Absoluto; RMSE: Raiz do Erro Quadrático Médio. *não houve diferença significativa.

Em geral, o MDA apresentou altura média inferior comparada à altura obtida pelo hipsômetro *Vertex*. Os resultados indicaram que a altura média observada pelo MDA foi superior para a espécie *Handroanthus chrysotrichus*. Entretanto o modelo apresentou um desvio padrão superior à média observada. Verificou-se que parte das árvores analisadas sofreram podas drásticas em algum momento, apresentando ramos epicórmicos e variações na estrutura e forma da copa.

As podas drásticas causam diferenças significativas entre as medições, uma vez que podem ser realizadas comparações infíeis na altura da árvore, ocasionando em *outliers* nas comparações das estimativas. Conforme Isibue e Pingel (2020) a estrutura das copas é capaz de influenciar os resultados obtidos pelas imagens aéreas, uma vez que árvores com galhos de pequeno diâmetro e poucas folhas dificultam o reconhecimento e ocasionam estimativas de altura total inferiores pelos modelos digitais.

A distribuição dos dados para todas as observações ilustra que o MDA possui uma tendência de subestimar dos dados observados com o hipsômetro *Vertex* (Figura 4). A assimetria observada confirma o resultado do desempenho dos métodos, o que ratifica que as alturas médias obtidas pelas imagens aéreas foram inferiores às obtidas pelo hipsômetro.

Figura 4 - Curvas de distribuição da altura observada pelo hipsômetro *Vertex* e MDA na arborização viária de São Pedro do Sul, RS

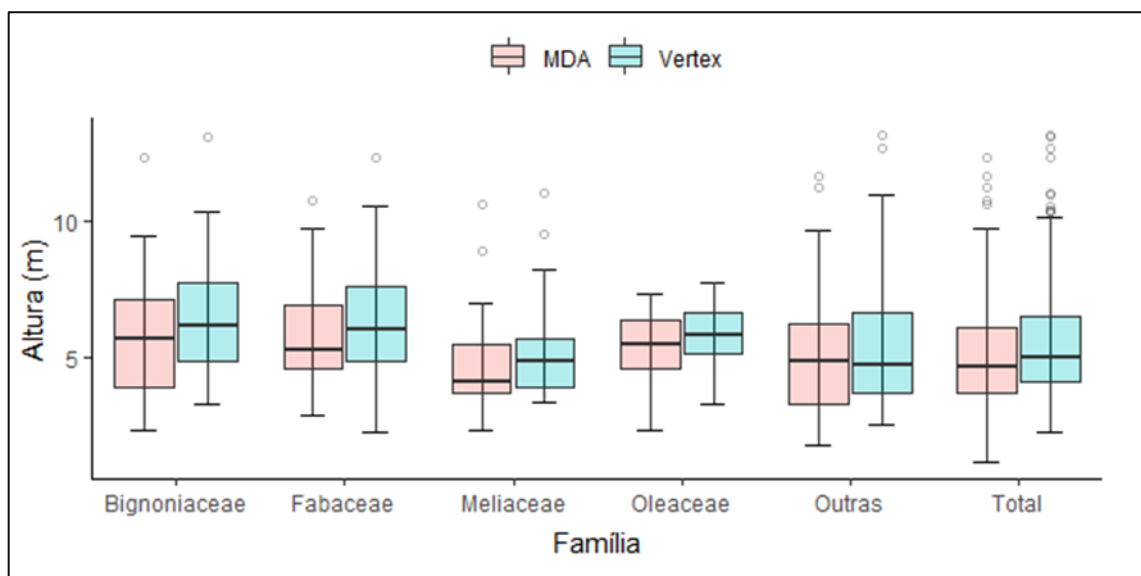


Fonte: Autor (2022).

A partir das curvas de distribuição dos dados é possível identificar que o comportamento das observações realizadas para a família Meliaceae se adequou melhor ao

conjunto de dados utilizados para a validação. As curvas de distribuição permitem identificar que as famílias Fabaceae, Bignoneaceae e Oleaceae, apresentaram densidade de frequência superior às alturas maiores que cinco metros, além de um padrão de distribuição semelhante entre os métodos para o total. A distribuição das alturas obtidas pelo modelo e sua comparação com os dados de referência utilizados para validação estão representadas pelo gráfico de *boxplot* (Figura 5).

Figura 5 - Gráficos de *boxplot* das alturas das árvores observadas pelo MDA e hipsômetro *Vertex* na arborização viária de São Pedro do Sul, RS

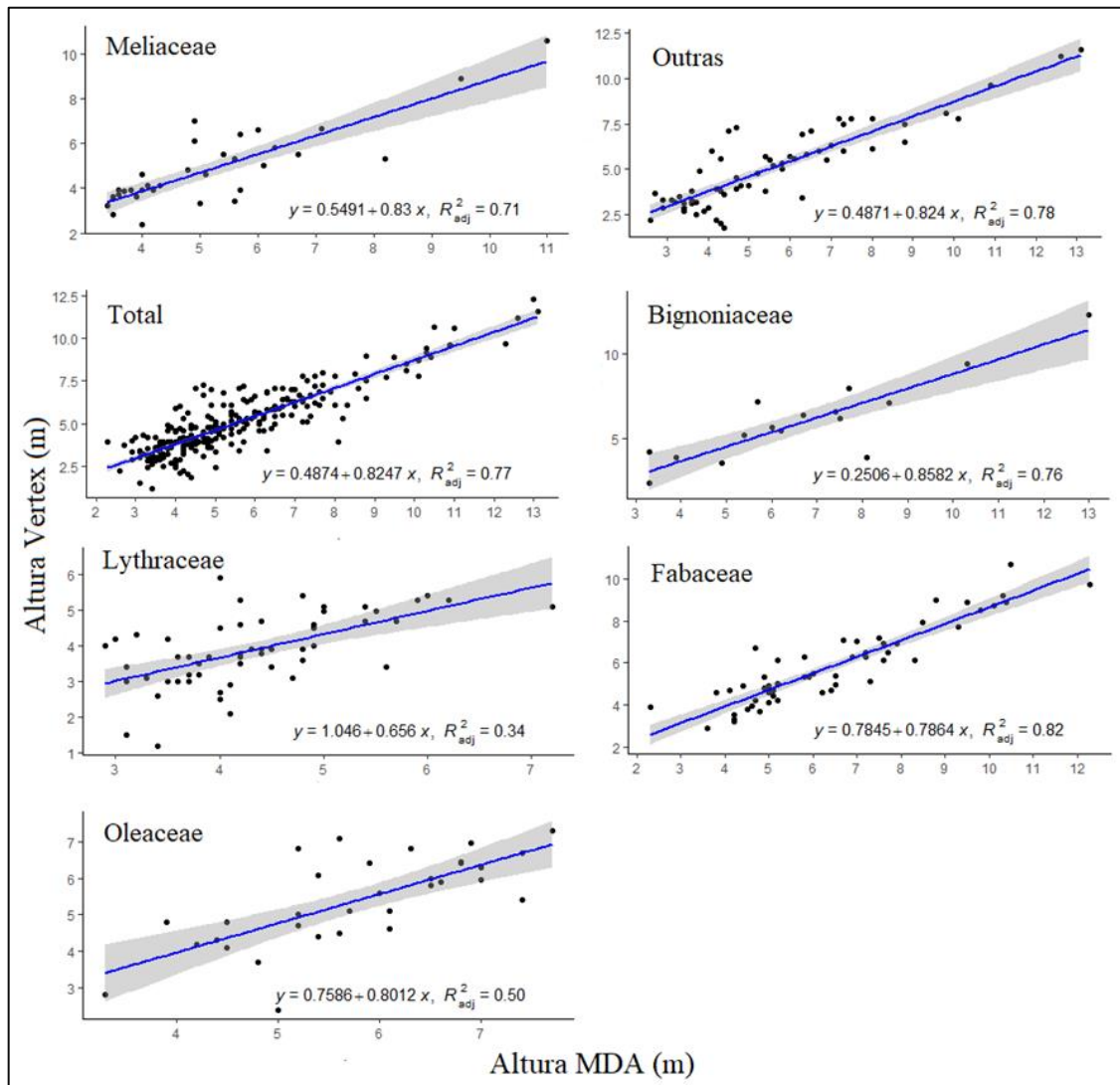


Fonte: Autor (2022).

Com a análise da Figura 5 é possível destacar que as medianas das observações para o MDA foram um pouco inferiores às obtidas pelo hipsômetro *Vertex*, com exceção para as espécies que formaram o grupo “outras”. Destaca-se que apenas a família Oleaceae não apresentou *outliers*. Os *outliers* foram distribuídos acima do terceiro quartil, sinalizando que estes valores foram encontrados para as alturas superiores.

Observa-se também que as famílias Oleaceae e Lythraceae, compostas pelas espécies *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton e *Lagerstroemia indica* L., apresentaram maior diferença na distribuição dos valores observados, refletindo assim no ajuste da análise de regressão. A análise de regressão com a distribuição das observações permite a visualização dos padrões de distribuição das alturas. A linha sombreada indica o erro padrão da estimativa, sendo superior nos locais com poucas observações (Figura 6).

Figura 6 - Análise de regressão para as alturas das árvores observadas pelo MDA e hipsômetro *Vertex*



Fonte: Autor (2022).

A partir da dispersão dos pontos inseridos no gráfico, verifica-se que predominam alturas de árvores inferiores a oito metros. Destaca-se que o intervalo dos dados na qual a análise de regressão descreve os resultados é limitado pelo intervalo das alturas encontradas no município, desta maneira é possível observar que o coeficiente de determinação ajustado foi superior às espécies pertencentes à família Fabaceae e apresentou médio desempenho para as alturas observadas para a família Bignoniaceae, para o total e para a classe “outras”.

As famílias Oleaceae e Lythraceae possuem os menores intervalos de alturas. Estes valores podem estar relacionados ao porte das espécies que compõe a amostra e as podas drásticas frequentemente observadas no município (SCHUCH, 2006). Ruschel e Leite (2002)

observaram indivíduos com altura inferior aos padrões esperados para o DAP relacionado, destacando que as podas drásticas alteram o aspecto físico da arborização urbana.

O modelo apresentou uma correlação positiva entre as variáveis observadas pelo hipsômetro *Vertex* e as estimadas por meio do MDA. O coeficiente de determinação (R^2) variou entre $R^2 = 0,34$ para a família Lythraceae e $R^2 = 0,82$ para a Fabaceae, indicando que o modelo conseguiu estimar a altura das famílias com fraca e média correlação. Apesar de haver diferença no ajuste do modelo, o MAE apresentado foi o mesmo para as duas famílias, MAE = 0,60 m.

4.4 CONCLUSÃO

O MDA apresentou valores médios inferiores aos observados pelo método de referência (hipsômetro *Vertex IV*). Essas diferenças podem estar relacionadas aos erros e falta de ajustes na coleta, assim como nas limitações de precisão obtidas pelo método convencional em um ambiente natural.

Os estudos envolvendo a obtenção de altura em árvores individuais por meio da metodologia proposta são escassos, desta maneira, recomenda-se uma investigação mais aprofundada sobre a subestimativa dos valores de altura.

Por fim, apesar de subestimar no presente estudo, a utilização de imagens obtidas RPAS para obtenção de altura total por meio de MDA demonstra potencial e possibilita a obtenção de forma simples e rápida para a caracterização geral das alturas da arborização de vias públicas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2014.
- BOBROWSKI, R. **Estrutura e dinâmica da arborização de ruas de Curitiba, Paraná, no período 1984-2010**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2011.
- COLETTO, E. P.; MÜLLER, N. G.; WOLSKI, S. S. Diagnóstico da arborização das vias públicas do município de Sete de Setembro - RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 110-122, jun. 2008.
- CUNHA NETO, E. M. et al. Using high-density UAV-Lidar for deriving tree height of Araucaria Angustifolia in an Urban Atlantic Rain Forest. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 63, p. 127197, ago. 2021.
- DJI. **Da-Jiang Innovations**: Manual do usuário. V.2.0. Phantom 4 PRO/PRO+. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://dl.djicdn.com/>. Acesso em 27 mar. 2022.
- GOLDBERGS, G. et al. Efficiency of Individual Tree Detection Approaches Based on Light-Weight and Low-Cost UAS Imagery in Australian Savannas. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 161, fev. 2018.
- HUANG, Z. et al. Impacts of tree canopy cover on microclimate and human thermal comfort in a shallow street canyon in Wuhan, China. **Atmosphere**, Downsview, v. 11, n. 6, p. 588, 2020.
- IBGE. **Panorama 2010**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-pedro-do-sul/panorama>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- ISIBUE, E. W.; PINGEL, T. J. Unmanned aerial vehicle based measurement of urban forests. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 48, p. 126574, fev. 2020.
- JURADO, J. M. et al. The Impact of Canopy Reflectance on the 3D Structure of Individual Trees in a Mediterranean Forest. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 12, n. 9, p. 1430, jan. 2020.
- LIN, Y. et al. Use of UAV oblique imaging for the detection of individual trees in residential environments. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 404-412, 2015.
- NOWAK, D. J. et al. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services, **Aboriculture & Urban Forestry**, [s.l.], v. 34, n. 6, p. 347-358, 2008.
- OLIVEIRA, G. S.; TAVARES, A. A. Levantamento e caracterização das variáveis utilizadas em estudos sobre arborização urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 75-87, set. 2012.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D. Solos da região do rebordo do Planalto Meridional no Rio Grande do Sul. In: SCHUMACHER, M. V. et al. (Orgs.). **A Floresta estacional subtropical**. Caracterização e ecologia no rebordo do planalto meridional. Santa Maria: [s.n.], 2011. p. 33-51.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 27 mar. 2022.

RUSCHEL, D.; LEITE, S. L. C. Arborização urbana em uma área da cidade de Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 1, p. 07-24, jan./jun. 2002.

SANQUETTA, C. R. et al. Selection criteria for linear regression models to estimate individual tree biomasses in the Atlantic Rain Forest, Brazil. **Carbon Balance and Management**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 25, dez. 2018.

SCHUCH, M. I. S. **Arborização urbana**: uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

WALLACE, L. et al. Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds. **Forests**, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 62, mar. 2016.

5 CAPÍTULO III - ESTIMATIVA DE ÁREA DE COPA DE INDIVÍDUOS ARBÓREOS EM VIAS PÚBLICAS POR MEIO DE IMAGENS OBTIDAS DE RPAS

5.1 INTRODUÇÃO

A arborização desempenha um papel importante nos centros urbanos, sendo responsável por uma série de benefícios ambientais e sociais, tais como a diminuição do efeito das ilhas de calor, manutenção do equilíbrio ecológico, proteção da biodiversidade e a promoção da qualidade de vida da população (FENG; LIU; GONG, 2015). A floresta urbana deve receber um planejamento adequado e estratégico para a otimização dos serviços ecossistêmicos (LA ROSA; WIESMANN, 2013; SANTOS et al., 2019).

Os gestores urbanos necessitam de informações individualizadas das espécies arbóreas para que possam melhor programar suas ações de manejo junto à arborização, tornando-se necessário a geração de informações com bom custo benefício. Para o diagnóstico da floresta urbana, torna-se necessário um inventário quali-quantitativo que permita caracterizar e quantificar o patrimônio arbóreo local, gerando informações que permitam embasar as intervenções de manejo (SANTOS et al., 2011).

Assim, o sensoriamento remoto e as técnicas avançadas de análise de imagens vêm demonstrando grande potencial de aplicações em floresta urbana (NICHOL; LEE, 2005; PARMEHR et al., 2016). Ademais, os *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) demonstram serem ferramentas úteis nas tarefas relacionadas ao inventário, auxiliando no mapeamento da estrutura florestal (CAO et al., 2019; KUŽELKA; SUROVÝ, 2018). Além disso, possibilitam sua aplicação na obtenção de variáveis relacionadas às copas de árvores urbanas (KALLIMANI, 2016).

Dessa maneira, o uso de RPAS equipados com sensores *Red, Green e Blue* (RGB) e multiespectral se torna uma alternativa viável para aplicações em inventário, monitoramento e modelagem florestal (ZARCO-TEJADA et al., 2014). Com a facilidade no acesso a essas imagens e aumento da resolução espacial, métodos de classificação de imagens baseado em objeto, também conhecido como *Object Based Image Analysis* (OBIA), passou a ser amplamente utilizado, movimentando-se em direção a automação no processamento de imagem (BLASCHKE, 2010).

Os algoritmos para segmentação automática de imagens têm apresentado bons resultados e praticidade na obtenção de variáveis relacionadas às copas de árvore em área

urbana (YILMAZ; GÜNGÖR, 2019) e auxiliando os algoritmos de classificação de imagens baseado em objeto (DE LUCA et al., 2019). Desta maneira, a segmentação automática de imagens pelo algoritmo *Mean shift*, demonstra viabilidade na detecção e no delineamento de árvores individuais (XIAO et al., 2019).

Diante do exposto, o presente estudo tem por objetivo estimar a área de copa das árvores presentes em vias públicas por meio da segmentação automática em imagens de alta resolução, identificando a viabilidade e uso de algoritmos baseados em segmentação automática na mensuração de variáveis dendrométricas em inventários florestais da arborização viária.

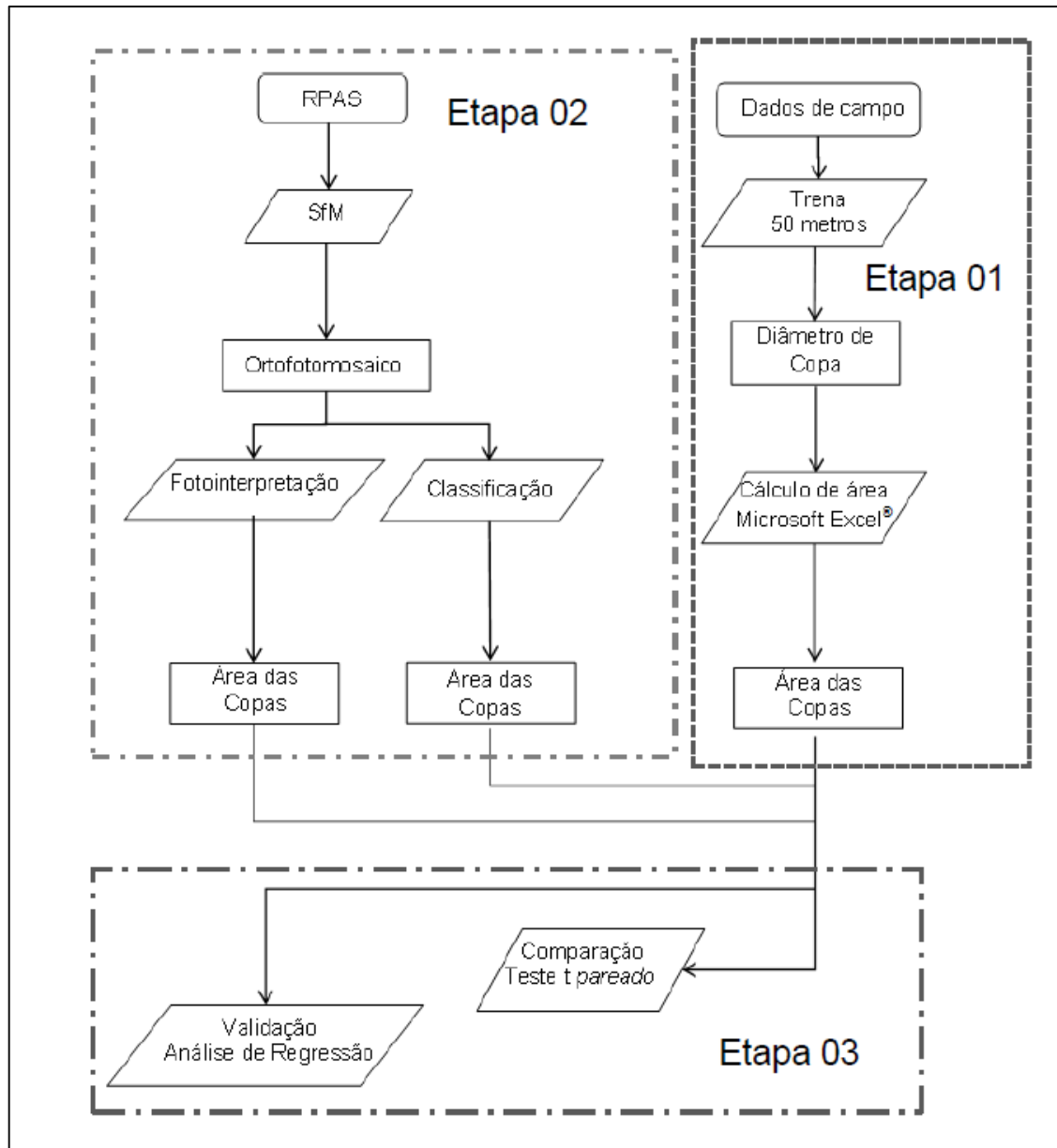
5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está descrita no capítulo II.

Para melhor entendimento da metodologia proposta nesse capítulo, a mesma está dividida em três etapas, sendo: Etapa 01 – Área das copas via levantamento terrestre; Etapa 02 – Área das copas via levantamento aéreo; Etapa 03 – Análise estatística. As principais etapas envolvidas na metodologia do presente estudo estão descritas no fluxograma contido na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das principais etapas metodológicas



Fonte: Autor (2022).

ETAPA 01 – Área das copas via levantamento terrestre

5.2.2 Levantamento terrestre

A identificação e coleta de dados foram realizadas conforme descrito no Capítulo II.

Para obtenção da área de copa foi feito a coleta dos diâmetros em duas direções até a última linha de projeção da copa para cada lado da rua, nos sentidos: D1: diâmetro mensurado

em paralelo ao meio fio e D2: diâmetro mensurado perpendicular ao meio fio. A fórmula utilizada para o cálculo de área em planilha Excel[®], utilizando-se a seguinte equação (1):

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \quad (1)$$

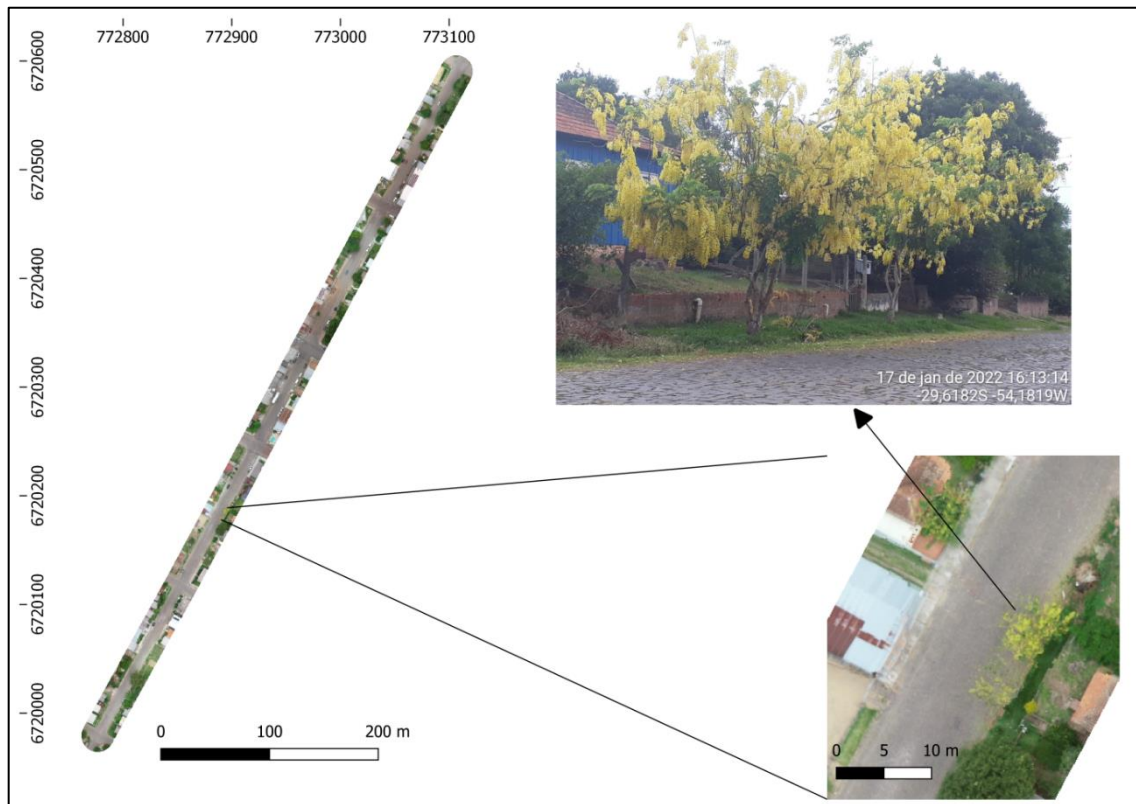
Em que: A: área da copa; D: média dos diâmetros coletados.

ETAPA 02 – Área das copas via levantamento aéreo

5.2.3 Levantamento aéreo e fotointerpretação

O processamento das imagens foi realizado conforme descrito no Capítulo II, foram geradas imagens com *pixel* com *Ground Sample Distance* (GSD) de 0,12 m (Figura 2). A delimitação da área de copa foi realizada por meio da técnica de fotointerpretação em tela no aplicativo computacional QGIS versão 3.10. Para delimitação da área de copa de cada indivíduo, criou-se um arquivo vetorial de polígono e após o término da fotointerpretação realizou-se o cálculo da área por meio da utilização da ferramenta “Calculadora de área”, assim, cada indivíduo pode ser mensurado.

Figura 2 - Exemplo de diferentes escalas com enfoque na representação de indivíduos arbóreos presentes na área de estudo



Fonte: Autor (2022).

5.2.4 Delimitação automática da copa

O primeiro passo para delimitação da copa dos indivíduos arbóreos foi feito por meio da utilização da técnica de análise de imagem baseada em objeto (OBIA) para cada imagem da área de estudo. Para facilitar o processamento, o ortomosaico foi recortado com um *buffer* de 15 m a partir de uma linha traçada no meio das ruas avaliadas. O processo de segmentação das imagens foi realizado no aplicativo computacional ArcGis PRO[®] por meio do algoritmo de deslocamento médio (*Mean shift*) (ESRI, 2021).

Para a correta utilização da ferramenta, foram realizados testes nas imagens variando alguns de seus parâmetros de forma manual pelo usuário, sendo: detalhe espectral, detalhe espacial e tamanho mínimo do segmento. Após a realização de alguns testes prévios, os parâmetros de segmentação que melhor se adequaram as imagens foram: valor de detalhe espectral de 15,5, valor de detalhe espacial de 15 e tamanho mínimo do segmento de 10. Por se tratar de objetos pequenos, valores altos foram escolhidos para ambos os parâmetros, uma

vez que a utilização de parâmetros maiores é apropriada para recursos que devem ser classificados separadamente, mas têm características espectrais semelhantes.

ETAPA 03 – Análise estatística

5.2.5 Descrição da análise estatística

Foram realizadas análises de frequência, comparação de médias, desvio padrão e significância para o total de árvores presentes na amostra e também agrupados em famílias. A validação dos dados foi realizada por meio de análise de regressão e a qualidade do ajuste foi realizada pela Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE) e pelo Erro Médio Absoluto (MAE).

A fotointerpretação foi compreendida como método de referência na estimativa da área de copa, pois, entende-se que a aquisição da área a partir de uma vista superior descreve melhor a realidade quando comparado à aquisição de área por meio do método terrestre que se baseia em uma forma geométrica, o círculo.

Desta maneira, utilizou-se o teste *t* pareado a 95% de significância para identificar se houve diferença entre os três métodos utilizados no presente estudo, sendo: Método 1: Convencional; Método 2: Fotointerpretação e Método 3: Segmentação automática, a partir da comparação dos valores obtidos pelos pares observados. eq. (2).

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d / \sqrt{n}} \sim t_{v=n-1} \quad (2)$$

Em que: *t*: teste *t* pareado; \bar{d} : média das diferenças entre os pares; S_d : desvio padrão das diferenças entre os pares; *n*: número de pares.

O teste de comparação de médias e validação dos resultados foram conduzidos no aplicativo computacional de licença livre RStudio (R CORE TEAM, 2022). A partir da relação entre os dados observados, buscou-se descrever seu comportamento por meio da análise de regressão linear. Calculou-se também o Erro Médio Absoluto (MAE) e Quadrado Médio do Erro (RMSE) para o modelo criado, descrito nas equações 3 e 4.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |y_j - \hat{y}_j| \quad (3)$$

Em que: MAE: erro médio absoluto; y_j : valor estimado; \hat{y}_j : valor verdadeiro; *n*: total de observações.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad (4)$$

Em que: RMSE: quadrado médio do erro; y_j : valor estimado; \hat{y}_j : valor verdadeiro; n: total de observações.

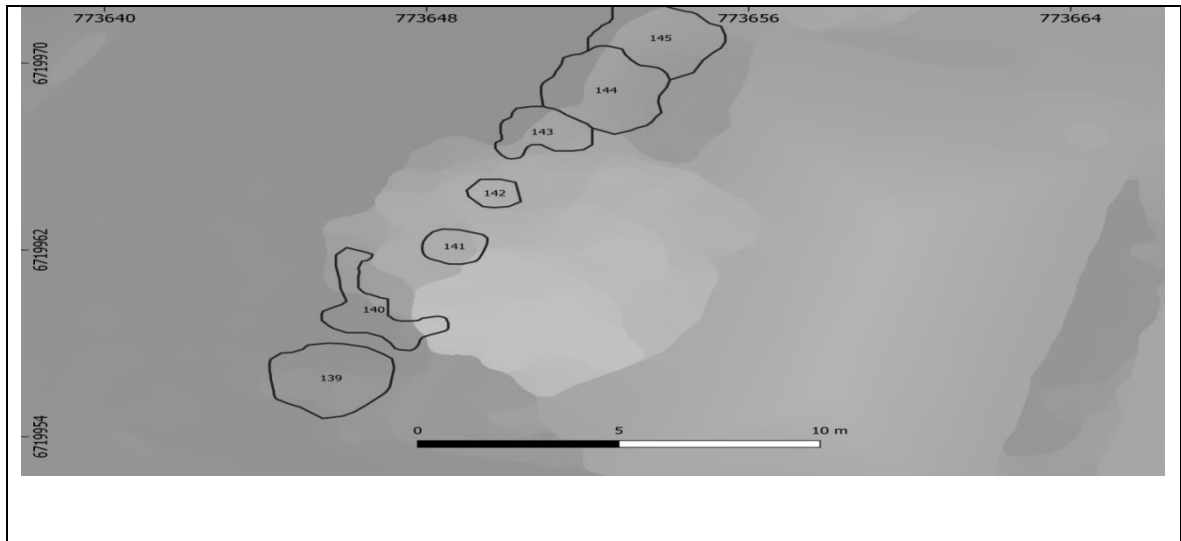
Foram comparadas as médias, frequência e significâncias para as famílias e para o total. Os testes de comparação de médias e correlação dos dados foram conduzidos no *software* livre RStudio (R CORE TEAM, 2022). Realizou-se a representação gráfica da distribuição das observações pelos métodos meio de um gráfico de *boxplot*.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 271 indivíduos arbóreos na área de estudo, entretanto, 18 indivíduos não foram utilizados nos testes estatísticos por motivos diversos, tais como: resolução inadequada, copas sobrepostas, copas ralas, dentre outros que inviabilizam o processo de fotointerpretação em tela pelo usuário. A Figura 3 contém um dos motivos que limitaram a utilização do total amostrado, sendo no presente caso, limitações impostas pela sobreposição de copa.

Figura 3 – Sobreposição de copas na arborização viária presente na área de estudo em São Pedro do Sul, RS

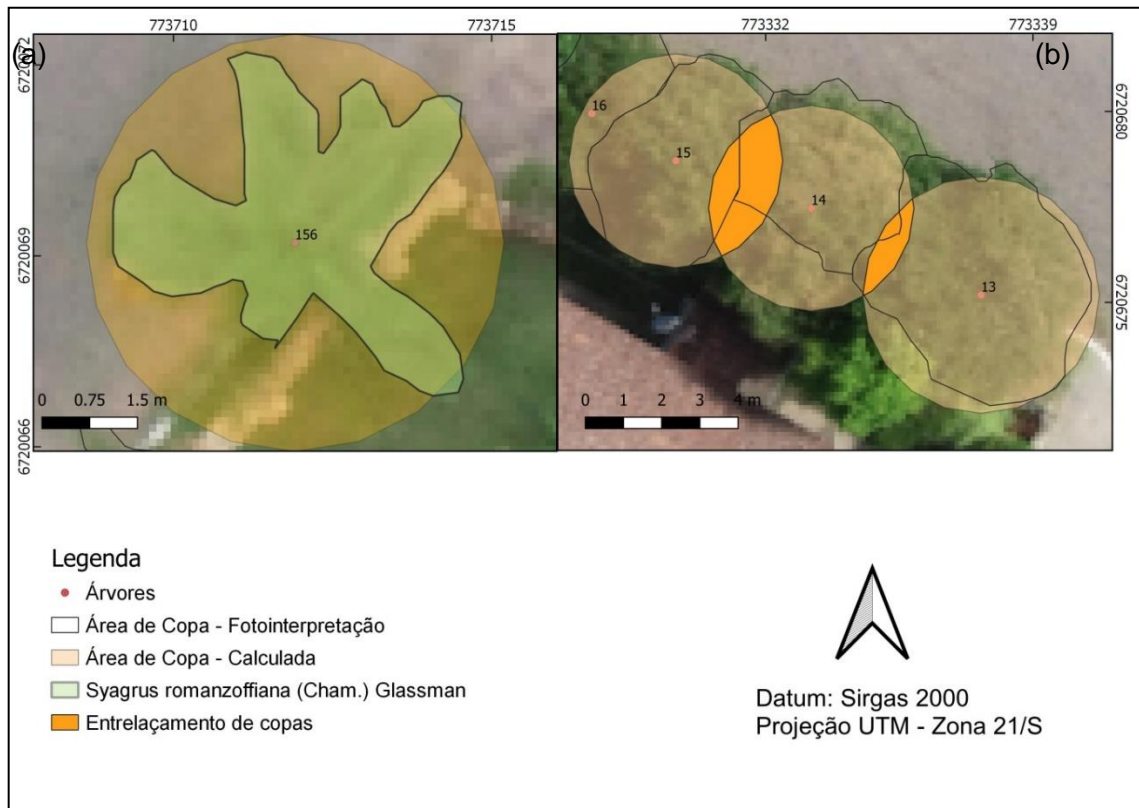




Fonte: Autor (2022).

Conforme pôde ser observado na Figura 3, a sobreposição da árvore de maior porte limitou a análise das demais árvores presentes na via pública. Por sua vez, dentre os fatores observados no município capazes de influenciar na estimativa dos resultados pelos métodos propostos, destacam-se as diferenças morfológicas e o entrelaçamento das copas (Figura 4).

Figura 4 – Limitações para estimativa de área de copa. (a) Espécie com morfologia diferente da fórmula utilizada na obtenção do parâmetro e (b) entrelaçamento das copas



Fonte: Autor (2022).

Na obtenção da área de copa pelo método convencional foram observados os diâmetros até os limites da última linha de projeção da copa, enquanto na fotointerpretação os limites foram traçados de acordo com aqueles observados na imagem, não compreendendo os entrelaçamentos das copas. Desta maneira, entende-se que há uma limitação na obtenção da área de copa em locais onde há entrelaçamento, corroborando com o observado por Lima Neto et al. (2012).

As espécies apresentam diferentes morfologias quanto à forma de suas copas. Além disso, a forma pode ser alterada de acordo com o manejo sofrido pela vegetação. Sendo assim, as espécies que possuem maiores diferenças na forma de sua copa em relação à área do círculo tendem a apresentar maiores variações na comparação dos dados. Conforme Bobrowski e Biondi (2017) a forma da copa permite identificar a interação das árvores com os componentes de infraestrutura presentes nas vias públicas e auxiliam na compreensão dos fatores que afetam seu crescimento, possibilitando a identificação de possíveis riscos à população.

5.3.1 Análise estatística do total de árvores presentes na amostra

O teste-*t* pareado indicou que houve diferença significativa para comparação dos dados obtidos pelo método 1, convencional, frente ao método 2, fotointerpretação (Tabela 1). Entretanto, a análise dos métodos 2 e 3 (método 3: segmentação automática) não apresentou diferença significativa.

Tabela 1 – Comparação de métodos na obtenção de área de copa das espécies presentes na arborização viária de São Pedro do Sul, RS

| Métodos | Teste <i>t</i> -pareado | | | |
|--|-------------------------|-----|------------|----------------------|
| | Valor de T | GL | Valor de p | Média das diferenças |
| Fotointerpretação x Convencional | -7,97 | 252 | < 0,001 | -4,43 |
| Fotointerpretação x Segmentação automática | -1,3 | 248 | 0,200* | -0,37 |

Fonte: Autor (2022)

Em que: GL: graus de liberdade; *: não significativo.

Observa-se que o método convencional apresentou maior desvio padrão e menor coeficiente de determinação em relação à fotointerpretação, quando comparado à segmentação automática. Por sua vez, a segmentação automática apresentou RMSE inferior ao obtido pelo método convencional. Essas diferenças podem ser explicadas pela menor variação nas estimativas obtidas pela segmentação automática e fotointerpretação.

A segmentação realizada pelo algoritmo substitui cada ponto discreto, no caso o *pixel* da imagem, por um *kernel* de densidade contínuo finamente delimitado e, em seguida, agrupa pontos, de acordo com um estimador de densidade global (COMANICIU; MEER, 2002). Portanto, este é capaz de gerar os segmentos de acordo com os parâmetros estabelecidos no processamento da imagem, permitindo a delimitação das copas de acordo com as diferenças espectrais da imagem.

Os resultados evidenciaram que diferentes métodos à obtenção de área de copa podem ocasionar diferenças nas estimativas que não refletem necessariamente as variações quantitativas da cobertura de copa. Conforme Mata et al. (2020) a obtenção das medidas das árvores pelo método convencional, no sentido Norte-Leste, pode ocasionar superestimativas nas medições, não representando a real projeção da copa.

A área de cobertura de copa total pelo método convencional retornou 5.524,86 m², enquanto a área pela fotointerpretação foi 4.405,281 m², em contrapartida o método baseado

em segmentação automática retornou 4.370,05 de área total. O valor obtido pelo método convencional foi 1.119,58 m² a mais que o valor obtido pela fotointerpretação, ou seja, 25,41% maior que o valor de referência (Tabela 2).

Tabela 2 – Estatística descritiva dos valores obtidos para as áreas de copas obtidas pelos métodos propostos para a amostra

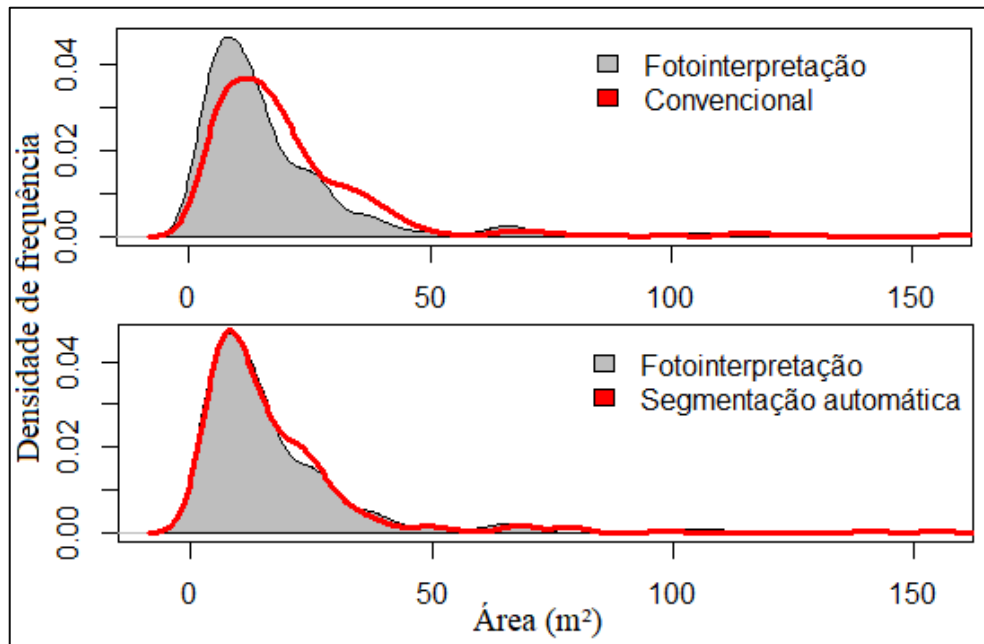
| Métodos | UA | Área de copa (m ²) | | | RMSE (m ²) | MAE (m ²) | R ² |
|------------------------|-----|--------------------------------|-------|----------|------------------------|-----------------------|----------------|
| | | Média | DP | Total | | | |
| Fotointerpretação | 253 | 17,41 | 18,34 | 4.405,28 | | | |
| Convencional | 253 | 21,84 | 21,33 | 5.358,80 | 8,74 | 5,51 | 0,83 |
| Segmentação automática | 248 | 17,62 | 18,91 | 4.370,05 | 4,59 | 2,63 | 0,94 |

Fonte: Autor (2022)

Em que: média: área média; DP: desvio padrão; UA: unidade amostral; MAE: erro médio absoluto; RMSE: raiz quadrada do erro médio.

As curvas de distribuição das observações ilustram os resultados obtidos pelos métodos propostos em comparação à fotointerpretação (Figura 5). Identifica-se que os dados adquiridos pelo método convencional possuem sua distribuição mais à direita quando comparados aos observados pela fotointerpretação, indicando uma superestimativa pelo método. Por sua vez, a segmentação automática possui sua distribuição similar àquelas obtidas pela fotointerpretação.

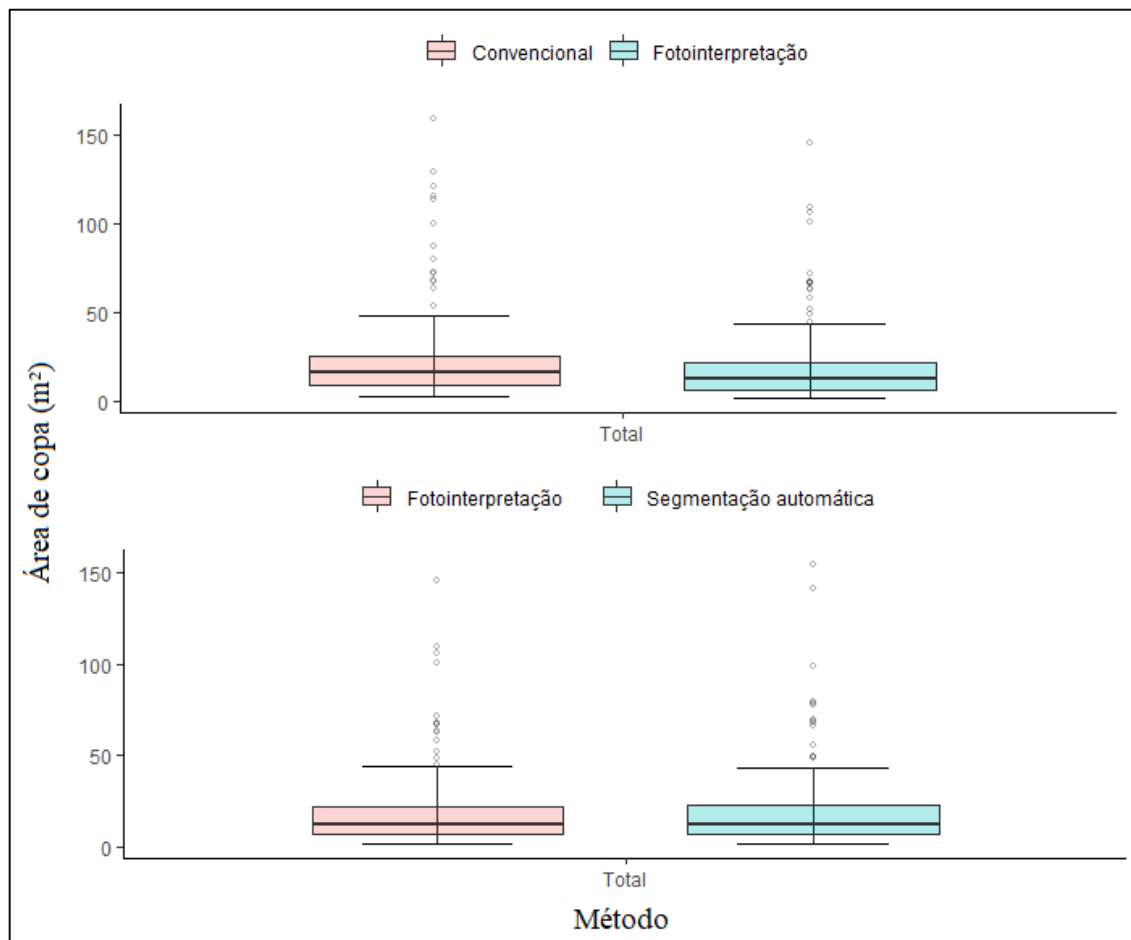
Figura 5 – Curvas de distribuição da área de copa observada por fotointerpretação e a sua comparação com os métodos propostos



Fonte: Autor (2022).

A partir das curvas de distribuição dos dados é possível identificar que a maior frequência das observações se concentra nas áreas de copa inferiores a 50 m², indicando a presença de árvores de pequeno e médio porte. Essas informações possibilitam uma compreensão parcial da composição da cobertura de copa para as áreas de estudo. A amplitude dos dados observados pelos métodos pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 – Gráfico *boxplot* da área de copa para árvores individuais observadas pelos métodos propostos para a arborização viária de São Pedro do Sul, RS

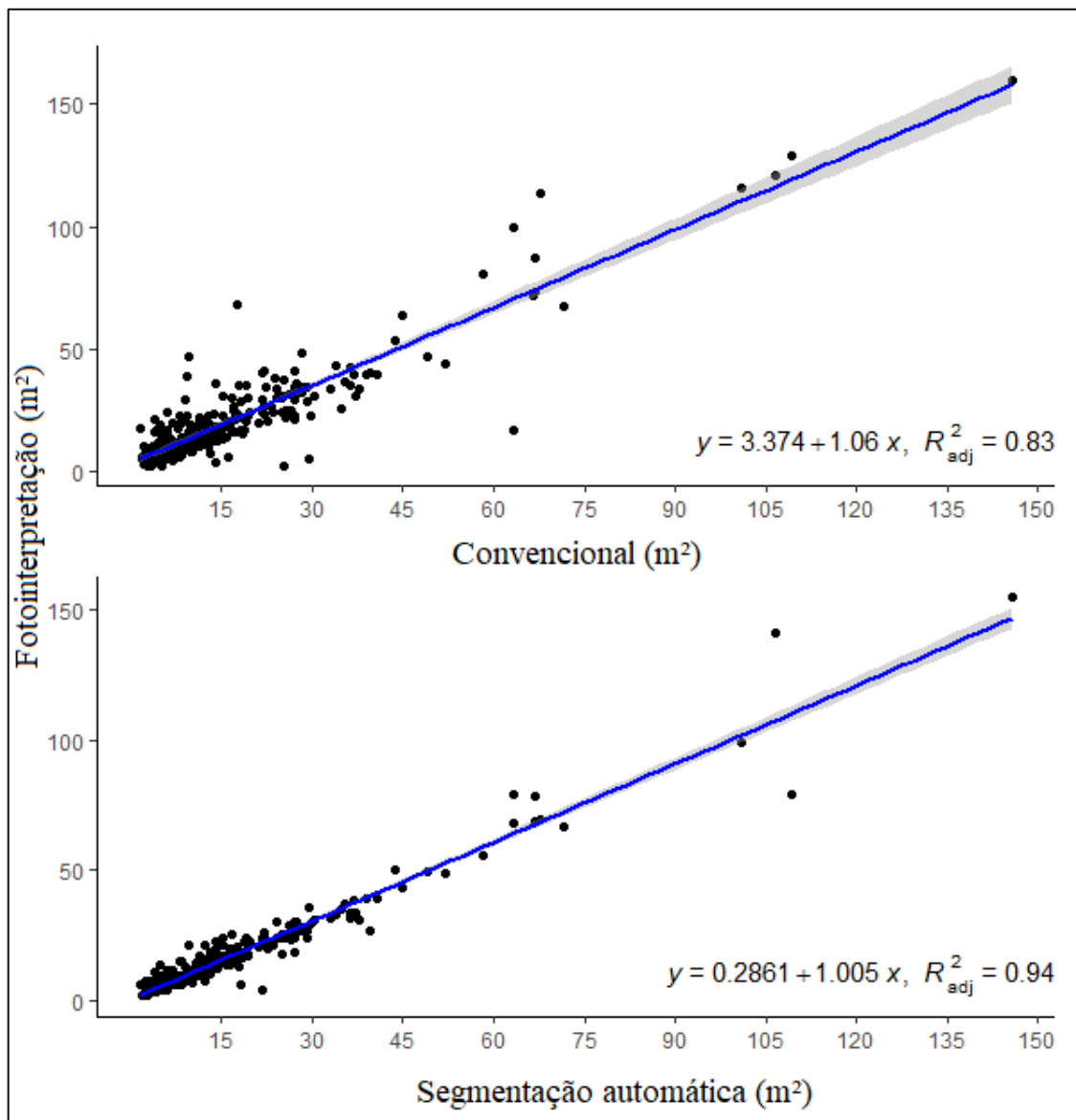


Fonte: Autor (2022).

Comparando-se os métodos empregados, os gráficos apresentam valores próximos para a dispersão dos dados e da mediana entre os métodos de estimativa da área de copa. O método convencional apresentou valores superiores para a mediana. A dispersão dos dados mostra uma amplitude maior para as maiores áreas de copa, assim como os *outliers* estavam presentes para as áreas de copa superiores. Observa-se que a mediana se encontra próxima ao limite inferior, indicando assimetria positiva nos dados.

A análise de regressão com a distribuição das observações permite a visualização dos padrões de distribuição de área das copas (Figura 7). A linha sombreada indica o erro padrão da estimativa, sendo superior nos locais com poucas observações. Destaca-se que os valores *outliers* foram mantidos na criação dos modelos.

Figura 7 – Análise de regressão para as áreas de copa para árvores individuais observadas pelos métodos propostos para a arborização viária de São Pedro do Sul, RS



Fonte: Autor (2022).

A distribuição dos resíduos ilustra uma grande concentração dos dados com áreas de copa inferiores a 50 m², sugerindo que no município predominam árvores de pequeno e médio porte. Conforme Bobrowski e Biondi (2012) o acompanhamento da distribuição dos dados em classes de área de copa possibilitam a compreensão das características comportamentais das espécies e da arborização de ruas como um todo.

Verifica-se que há um maior ajuste para o método de segmentação automática nas áreas de copa inferiores. Desta maneira, para melhoria na qualidade dos modelos, entende-se

que se faz necessário uma análise mais aprofundada dos *outliers*, identificando os motivos associados a essas diferenças.

Dentre as 253 árvores analisadas, identificaram-se apenas quatro árvores com área de copa superior a 100 m². Karimi et al. (2020) mencionam que árvores altas com maiores áreas de copa promovem maior conforto térmico, onde a altura das copas pode inclusive influenciar o fluxo de ar e atenuar os efeitos da radiação. Desta maneira, a condução e o manejo da arborização viária podem ampliar os benefícios promovidos por esta tipologia de floresta urbana no município.

5.3.2 Análise estatística pelo agrupamento dos indivíduos em suas respectivas famílias

Após agrupamento, as cinco famílias mais frequentes presentes na área de estudo são: Lythraceae (22,13%, n = 56), Fabaceae (20,55%, n = 52), Meliaceae (13,44%, n = 34), Oleaceae (12,65%, n = 32), Bignoneaceae (6,72%, n = 17), sendo as restantes agrupadas na classe “Outras” (24,51%, n = 62). Um fato importante a ser destacado é que as famílias Lythraceae e Oleaceae, foram compostas por apenas uma espécie, sendo estas *Lagerstroemia indica* L. (Lythraceae) e *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton (Oleaceae), respectivamente. Por outro lado, a família Meliaceae foi composta quase na totalidade pela espécie *Melia azedarach* L. (97,05%, n = 33). A comparação dos métodos por família pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação de métodos na obtenção de área de copa das famílias da arborização viária de São Pedro do Sul, RS

| Família | Teste t-pareado | | | | | | | |
|--------------|-----------------|-----|------------|--|------------------------|-----|------------|--|
| | Convencional | | | | Segmentação automática | | | |
| | Valor de T | GL | Valor de p | Média das diferenças (m ²) | Valor de T | GL | Valor de p | Média das diferenças (m ²) |
| Lythraceae | -4,57 | 55 | < 0,001 | -2,5 | -1,27 | 55 | 0,20* | -0,35 |
| Fabaceae | -4,92 | 52 | < 0,001 | -9,32 | -0,64 | 50 | 0,53* | -0,73 |
| Meliaceae | -2,36 | 32 | 0,024 | -2,4 | 2,25 | 32 | 0,03 | 0,7 |
| Oleaceae | -3,63 | 32 | 0,001 | -2,88 | -0,64 | 32 | 0,53* | -0,4 |
| Bignoniaceae | -2,67 | 16 | 0,016 | -4,73 | -1,56 | 16 | 0,13* | -1,24 |
| Outras | -3,44 | 62 | 0,001 | -3,77 | -0,86 | 58 | 0,39* | -0,44 |
| Total | -7,97 | 252 | < 0,001 | -4,43 | -1,3 | 248 | 0,20* | -0,37 |

Fonte: Autor (2022).

*: não houve diferença significativa.

Observa-se que o valor médio das diferenças variou em relação às famílias. Desta maneira, entende-se que as diferenças morfológicas e os fatores limitantes na medição e obtenção da área de copa das árvores presentes na amostra foram responsáveis por tais variações.

O método convencional apresentou diferenças para todas as famílias, com uma diferença média de 4,43 m² para o total. Apesar da grande variação nas diferenças médias de área apresentadas entre os métodos 1 e 2, (-2,4 e -9,32), o valor de *t* possibilitou a compreensão do tamanho das diferenças na comparação dos métodos.

O método baseado na segmentação automática conseguiu representar os valores médios para as famílias analisadas, exceto para a família Meliaceae, a qual apresentou diferença significativa entre os métodos 1 e 3. Destaca-se que mesmo não havendo diferenças significativas para grande parte das famílias, as médias observadas pela fotointerpretação, em geral, foram um pouco inferiores às apresentadas pela segmentação automática.

Os resultados obtidos pela segmentação automática podem variar de acordo com os parâmetros estabelecidos na segmentação de imagens. Apesar dos resultados não apresentarem diferenças significativas para a maior parte das famílias e para o total, o valor de *p* variou entre as estimativas, confirmando, portanto, que as diferenças na cor, textura e densidade da copa são fatores determinantes nos resultados. Desta maneira, pode esperar diferentes resultados em uma mesma imagem de acordo com as espécies presentes na amostra.

Yilmaz e Güngör (2019) destacam que a utilização de algoritmos para a segmentação de imagens permite a diferenciação de variáveis da copa das árvores, porém há diferenças nos resultados obtidos conforme o tipo de algoritmo e parâmetros empregados. Neste sentido Kwong e Fung (2020) mencionam que a falta de compreensão nas definições dos parâmetros pode limitar aplicações futuras, principalmente quando são utilizados diferentes conjuntos de dados.

A análise descritiva dos resultados obtidos pelos métodos de amostragem possibilitou a identificação da área média de copa de árvores individuais para as famílias que compõem o estudo (Tabela 4).

Tabela 4 – Estatística descritiva dos valores obtidos para a área de copa das árvores pertencentes às famílias mensuradas pelos métodos propostos na área de estudo

| Famílias | UA | Fotointerpretação (m ²) | | Convencional (m ²) | | RMSE (m ²) | MAE (m ²) |
|--------------|-----|-------------------------------------|--------|--------------------------------|--------|------------------------|-----------------------|
| | | Média | DP | Média | DP | | |
| Lythraceae | 56 | 9,76 | ±4,29 | 12,26 | ±5,16 | 3,94 | 3,00 |
| Fabaceae | 53 | 33,40 | ±30,52 | 42,71 | ±34,93 | 13,57 | 8,44 |
| Meliaceae | 33 | 14,21 | ±9,00 | 16,61 | ±9,06 | 5,45 | 3,95 |
| Oleaceae | 33 | 15,25 | ±7,31 | 18,13 | ±7,87 | 4,35 | 3,55 |
| Bignoniaceae | 17 | 16,60 | ±17,64 | 21,33 | ±17,11 | 6,80 | 5,65 |
| Outras | 62 | 13,70 | ±11,42 | 17,48 | ±12,66 | 8,34 | 5,88 |
| Total | 253 | 17,41 | ±18,34 | 21,84 | ±21,33 | 8,74 | 5,51 |

Fonte: Autor (2022)

Em que: média: área média; DP: desvio padrão; UA: unidade amostral; MAE: erro médio absoluto; RMSE: quadrado médio do erro.

A família Fabaceae apresentou a maior área média de copa, com 33,40 m². Destaca-se que esse valor foi bem superior ao valor médio observado para o total da amostra 17,41 m². A menor área média de copa foi apresentada pela família Lythraceae, composta em sua totalidade pela espécie *Lagerstroemia indica* L.

A copa das árvores está diretamente relacionada a diversos benefícios ecossistêmicos, sendo que o seu aumento promove uma maior remoção de poluentes da atmosfera e proporciona melhoria na qualidade do ar e saúde da população (NOWAK; CRANE; STEVENS, 2006). Além disso, os benefícios proporcionados pelas copas podem ser potencializados conforme a distribuição espacial das árvores, Martini, Biondi e Batista (2020) relatam que vias públicas com maior porcentagem de cobertura de copa apresentam um microclima mais agradável.

Bobrowski e Biondi (2012) citam que a curva de distribuição da área das copas de forma decrescente demonstra uma característica típica de povoamento multiâneos, o que possibilita o recrutamento de novas árvores nas classes superiores mantendo a sustentabilidade na arborização viária. Portanto, entende-se que a concentração de árvores com copas de menor área pode se sugerir uma reposição e recrutamento constante de novas árvores. A Tabela 5 apresenta os valores médios, desvio padrão e erros associados às áreas de copa observadas pelos métodos de segmentação automática e fotointerpretação.

Tabela 5 – Estatística descritiva dos valores obtidos para a área de copa das árvores pertencentes às famílias mensuradas pelos métodos propostos na área de estudo

| Famílias | UA | Fotointerpretação (m ²) | | Segmentação automática (m ²) | | RMSE (m ²) | MAE (m ²) |
|--------------|-----|-------------------------------------|--------|--|--------|------------------------|-----------------------|
| | | Média | DP | Média | DP | | |
| Lythraceae | 56 | 9,76 | ±4,29 | 10,11 | ±4,42 | 2,03 | 1,53 |
| Fabaceae | 51 | 32,09 | ±30,37 | 32,83 | ±32,05 | 8,08 | 4,29 |
| Meliaceae | 33 | 14,21 | ±9,00 | 13,50 | ±8,47 | 1,64 | 1,14 |
| Oleaceae | 33 | 15,25 | ±7,31 | 15,65 | ±6,93 | 3,23 | 2,63 |
| Bignoniaceae | 17 | 16,60 | ±17,64 | 17,84 | ±15,77 | 2,46 | 1,99 |
| Outras | 58 | 14,47 | ±13,48 | 14,91 | ±14,01 | 4,03 | 2,74 |
| Total | 248 | 17,24 | ±18,24 | 17,62 | ±18,91 | 4,60 | 2,63 |

Fonte: Autor (2022).

Em que: média: área média; DP: desvio padrão; UA: unidade amostral; MAE: erro médio absoluto; RMSE: quadrado médio do erro.

Observa-se que os valores de média e desvio padrão são semelhantes para os métodos. A família Fabaceae apresentou os maiores valores para o quadrado médio do erro, porém esses valores podem ser superiores devido ao tamanho médio de copa ser superiores às demais famílias. Em comparação às médias e desvio padrão obtidos pelos métodos 1 e 3, observa-se que os valores são semelhantes em todas as estimativas.

Maria, Biondi e Zamproni (2019) mencionam que o conhecimento da morfometria e arquitetura das copas são fundamentais ao planejamento adequado da arborização urbana. O conhecimento das relações morfométricas e da dinâmica das formas das árvores possibilitam aprimorar as intervenções silviculturais (ROMAN; BRESSAN; DURLO, 2009).

Desta maneira, a utilização de imagens aéreas de alta resolução pode ser utilizada na obtenção de parâmetros relacionados a identificação e monitoramento da dinâmica e forma das copas presentes na arborização viária, fornecendo subsídios não só ao planejamento e manejo desta tipologia de floresta urbana, como ao planejamento urbano.

5.4 CONCLUSÃO

Conforme observado no presente estudo, os parâmetros utilizados para o algoritmo *mean shift*, utilizado na segmentação das imagens, foram satisfatórios à estimativa das áreas de copa, podendo ser indicado de forma geral, em condições semelhantes, para estudos na arborização viária. Quando comparada a fotointerpretação, a segmentação automática das

imagens permite a eliminação de tendências na observação do usuário, aumentando a confiança na estimativa da área e forma da copa.

Entende-se que as diferentes morfologias e o entrelaçamento encontrado nas copas presentes na área de estudo, além das limitações na obtenção dos limites de copa pela fotointerpretação e diâmetros pelo método convencional ocasionaram diferenças nos valores obtidos pelos métodos.

Para maior precisão nos resultados, recomenda-se a realização da estimativa da área de copa em árvores isoladas, pois esta análise pode reduzir as diferenças na estimativa entre os valores reais e observados, uma vez que árvores isoladas não possuem copas entrelaçadas, permitindo a delimitação de sua área com maior assertão. Entretanto, se o objetivo do estudo for à obtenção da cobertura de copa total, entende-se que o método de segmentação automática possibilita maior padronização, agilidade e segurança nos resultados obtidos. Desta maneira, entende-se que os objetivos do estudo devem ser considerados na escolha do método.

Pode-se destacar que o uso do sensoriamento remoto e das imagens aéreas em estudos da arborização viária são ferramentas que possibilitam a realização de estudos da arborização viária com maior praticidade, podendo ser adotado pelos gestores desses espaços visando uma diminuição dos custos e melhor acompanhamento.

REFERÊNCIAS

- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 2-16, jan. 2010.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Distribuição e dinâmica da área de copa na arborização de ruas de Curitiba, Paraná, Brasil, no período de 1984-2010. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 625-635, ago. 2012.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Morfometria de espécies florestais plantadas nas calçadas. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 1-16, mar. 2017.
- CAO, L. et al. Comparison of UAV LiDAR and digital aerial photogrammetry point clouds for estimating forest structural attributes in subtropical planted forests. **Forests**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 145, 2019.
- COMANICIU, D.; MEER, P. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, [s.l.], v. 24, p. 603-619, 2002.
- DE LUCA, G. et al. Object-Based Land Cover Classification of Cork Oak Woodlands using UAV Imagery and Orfeo ToolBox. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 1238, jan. 2019.
- ESRI. **ArcGIS Pro ESRI Student Program**. São José dos Campos, 2021. Disponível em: <https://learn-arcgis-learn-arcgis.hub.arcgis.com/pages/access-arcgis-software>. Acesso em: 5 maio 2021.
- FENG, Q.; LIU, J.; GONG, J. UAV remote sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis. **Remote sensing**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 1074-1094, 2015.
- KALLIMANI, C. **Tree Crown Shape Parameter Extraction from Airborne Photogrammetric Point Cloud**. 2016. Ph.D. (Thesis) - Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2016.
- KARIMI, A. et al. Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park. **Energy Reports**, [s.l.], v. 6, p. 1670-1684, nov. 2020.
- KUŽELKA, K.; SUROVÝ, P. Mapping forest structure using UAS inside flight capabilities. **Sensors**, [s.l.], v. 18, n. 7, p. 2245, 2018.
- KWONG, I. H. Y.; FUNG, T. Tree height mapping and crown delineation using LiDAR, large format aerial photographs, and unmanned aerial vehicle photogrammetry in subtropical urban forest. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 41, n. 14, p. 5228-5256, 2020.
- LA ROSA, D.; WIESMANN, D. Land cover and impervious surface extraction using parametric and non-parametric algorithms from the open-source software R: An application to

sustainable urban planning in Sicily. **GIScience & remote sensing**, [s.l.], v. 50, n. 2, p. 231-250, 2013.

LIMA NETO, E. M. et al. Fotografias aéreas para mensuração da área de copa das árvores de ruas de Curitiba – PR. **Floresta**, Curitiba, v. 42, p. 577, out. 2012.

MARIA, T. R. B. C.; BIONDI, D.; ZAMPRONI, K. Spatial indexes and biological diversity of itanhaém, São Paulo, Brazil. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 2, p. 267-276, mar. 2019.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Thermal comfort provided by street trees in cities. **Arboricultural Journal**, Dorchester, v. 42, n. 3, p. 153-164, may 2020.

MATA, J. B. et al. Dimensionamento do espaço de crescimento de árvores urbanas como suporte ao planejamento de calçadas arborizadas. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [s.l.], v. 8, n. 57, mar. 2020.

NICHOL, J.; LEE, C. M. Urban vegetation monitoring in Hong Kong using high resolution multispectral images. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 26, n. 5, p. 903-918, 2005.

NOWAK, D. J.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 4, n. 3/4, p. 115-123, abr. 2006.

PARMEHR, E. G. et al. Estimation of urban tree canopy cover using random point sampling and remote sensing methods. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 20, p. 160-171, 2016.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 27 mar. 2022.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, dez. 2009.

SANTOS, C. Z. A. et al. Composição florística de 25 vias públicas de Aracaju–SE. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 125-144, 2011.

SANTOS, F. D. et al. Situação da arborização urbana no município de Frederico Westphalen, RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 14, n. 1, p. 53-62, maio 2019.

XIAO, W. et al. Mean Shift Segmentation Assessment for Individual Forest Tree Delineation from Airborne Lidar Data. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 11, p. 1263, jan. 2019.

YILMAZ, V.; GÜNGÖR, O. Estimating crown diameters in urban forests with Unmanned Aerial System-based photogrammetric point clouds. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 40, n. 2, p. 468-505, jan. 2019.

ZARCO-TEJADA, P. J. et al. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. **European Journal of Agronomy**, [s.l.], v. 55, p. 89-99, 2014.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas baseadas em geotecnologias possibilitaram a caracterização da arborização viária do município, auxiliou na geração de dados a respeito de diversidade, origem e frequência das espécies florestais da arborização viária, possibilitando a organização espacial dos dados e a criação de um banco de dados geoespacial.

As imagens aéreas de alta resolução possibilitam a obtenção de variáveis relacionadas à altura, área das copas, posição espacial, entrelaçamento de copas e conflitos com equipamentos de infraestrutura, de forma segura e eficiente, trazendo inúmeras possibilidades de aplicação na arborização viária.

Apesar da diferença nas estimativas da altura, a utilização de Modelo Digital de Altura (MDA) demonstra potencial na aplicação da arborização viária, uma vez que apresenta valores de erros toleráveis à finalidade e permite a estimativa das alturas de forma prática e segura. Desta maneira, recomenda-se maior aprofundamento nas técnicas capazes de fornecer a altura com maior precisão por meio de modelos.

A segmentação automática permitiu a automação de parte do processo de estimativa da área da copa da arborização viária, proporcionando mais eficiência e segurança à obtenção de variáveis importantes ao diagnóstico e planejamento da floresta urbana. As imagens apresentaram limitação para o delineamento da área de copa das árvores pertencentes ao estrato inferior. Desta maneira, recomenda-se a utilização de imagens realizadas com voos oblíquos para geração de maiores informações sobre a estrutura florestal.

REFERÊNCIAS

- ASADIAN, Y.; WEILER, M. A new approach in measuring rainfall interception by urban trees in Coastal British Columbia. **Water Quality Research Journal**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 16–25, 1 fev. 2009.
- ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 282-286, 1 jan. 2013.
- BARONA, C. O. et al. Trends in urban forestry research in Latin America & the Caribbean: a systematic literature review and synthesis. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 47, p. 126544, 2020.
- BATISTA, D. B. et al. Aporte de serapilheira e teor de carbono orgânico em um fragmento florestal urbano. **Nature and Conservation**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 22-30, jul. 2020.
- BATTIN, T. J. et al. The boundless carbon cycle. **Nature Geoscience**, [s.l.], v. 2, p. 598-600, 2009.
- BERLAND, A. et al. The role of trees in urban stormwater management. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 162, p. 167-177, jun. 2017.
- BIONDI, D. **Floresta urbana**. Curitiba: O Autor, 2015. 202 p.
- BIRDAL, A. C.; AVDAN, U.; TÜRK, T. Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, Deakin, v. 8, n. 2, p. 1144-1156, dez. 2017.
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 2-16, jan. 2010.
- BOBROWSKI, R. **Estrutura e dinâmica da arborização de ruas de Curitiba, Paraná, no período 1984-2010**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2011.
- BOBROWSKI, R. A floresta urbana e a arborização de ruas. *In*: BIONDI, D. (Org.). **Floresta urbana**. Curitiba: [s.n.], 2015. p. 81-108.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Distribuição e dinâmica da área de copa na arborização de ruas de Curitiba, Paraná, Brasil, no período de 1984-2010. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 625-635, 2012.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Morfometria de espécies florestais plantadas nas calçadas. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 1-16, mar. 2017.
- BRAGA, R. M. B. **Estudo da remoção de poluentes de águas da drenagem urbana por um dispositivo de biorretenção**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e

Saneamento) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

CALFAPIETRA, C. et al. Removal of Ozone by Urban and Peri-Urban Forests: Evidence from Laboratory, Field, and Modeling Approaches. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 224-233, 2016.

COLETTI, E. P.; MÜLLER, N. G.; WOLSKI, S. S. Diagnóstico da arborização das vias públicas do município de Sete de Setembro - RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 110-122, 30 jun. 2008.

CUNHA NETO, E. M. et al. Using high-density UAV-Lidar for deriving tree height of Araucaria Angustifolia in an Urban Atlantic Rain Forest. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 63, p. 127197, ago. 2021

DUAN, T. et al. Research on precise maintenance method for green belt of municipal road based on UAV image sequence. **Journal of Physics: Conference Series**, [s.l.], v. 1187, n. 4, p. 042078, abr. 2019.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para Cabralea canjerana (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, mar. 2001.

EUGENIO, F. C. et al. Remotely piloted aircraft systems and forests: a global state of the art and future challenges. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 1-12, may 2020.

FADHLURRAHMAN, M. M.; NASRULLAH, N. Study of Thermal Comfort under the Shade of Varied Tree Canopy Form and Distance from the Stem. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2020.

FASSNACHT, F. E. et al. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 186, p. 64-87, dez. 2016.

FENG, Q.; LIU, J.; GONG, J. UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 107-1094, jan. 2015.

FERRINI, F. et al. Role of Vegetation as a Mitigating Factor in the Urban Context. **Sustainability**, [s.l.], v. 12, n. 10, p. 4247, jan. 2020.

GAMBELLA, F. et al. Forest and UAV: a bibliometric review. **Contemporary Engineering Sciences**, [s.l.], v. 9, p. 1359-1370, 2016.

GUIMARÃES, N. et al. Forestry remote sensing from unmanned aerial vehicles: a review focusing on the data, processing and potentialities. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 12, n. 6, p. 1046, jan. 2020.

HASSAAN, O. et al. Precision forestry: trees counting in urban areas using visible imagery based on an unmanned aerial vehicle. **IFAC-PapersOnLine**, [s.l.], v. 49, n. 16, p. 16-21, 1 jan. 2016.

- HUANG, Z. et al. Impacts of tree canopy cover on microclimate and human thermal comfort in a shallow street canyon in Wuhan, China. **Atmosphere**, Downsview, v. 11, n. 6, p. 588, 2020.
- HUTYRA, L. R.; YOON, B.; ALBERTI, M. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: a study of the Seattle, WA region: urban terrestrial carbon stocks. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, n. 2, p. 783-797, fev. 2011.
- ISIBUE, E. W.; PINGEL, T. J. Unmanned aerial vehicle based measurement of urban forests. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 48, p. 126574, fev. 2020.
- JEONG, M.-A.; PARK, S.; SONG, G.-S. Comparison of human thermal responses between the urban forest area and the central building district in Seoul, Korea. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v.15, p. 133-148, 2016.
- KALANSURIYA, C. M.; PANNILA, A. S.; SONNADARA, D. U. J. Effect of roadside vegetation on the reduction of traffic noise levels. In: CONFERENCE: INSTITUTE OF PHYSICS SRI LANKA, 2009, Sri Lanka. **Conference Paper...** Sri Lanka: Institute of Physics Sri Lanka, 2009. v. 25. p. 6.
- KARIMI, A. et al. Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park. **Energy Reports**, [s.l.], v. 6, p. 1670-1684, nov. 2020.
- KONIJNENDIJK, C. C. et al. Urban and peri-urban forestry in a development context - Strategy and implementation. **Arboriculture and Urban Forestry**, Champaign, v. 30, n. 5, p. 269-275, set. 2004.
- KUEHLER, E.; HATHAWAY, J.; TIRPAK, A. Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. **Ecohydrology**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. e1813, 2017.
- LEE, J. et al. Restorative effects of viewing real forest landscapes, based on a comparison with urban landscapes. **Scandinavian Journal of Forest Research**, Stockholm, v. 24, n. 3, p. 227-234, jun. 2009.
- LEMANOWICZ, J. et al. The role of an urban park's tree stand in shaping the enzymatic activity, glomalin content and physicochemical properties of soil. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 741, p. 140446, nov. 2020.
- LI, L. et al. Estimating Urban Vegetation Biomass from Sentinel-2A Image Data. **Forests**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 125, fev. 2020.
- LI, X.; SHAO, G. Object-Based Land-Cover Mapping with High Resolution Aerial Photography at a County Scale in Midwestern USA. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 6, n. 11, p. 11372-11390, nov. 2014.
- LI, X. et al. Remote sensing in urban forestry: recent applications and future directions. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 10, p. 1144, 14 may 2019.
- LIN, Y. et al. Use of UAV oblique imaging for the detection of individual trees in residential environments. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 404-412, 2015.

- LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 119-124, 2016.
- MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. C. Thermal comfort provided by street trees in cities. **Arboricultural Journal**, Dorchester on Thames, v. 42, n. 3, p. 153-164, may 2020.
- MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. Análise da Sustentabilidade Urbana no contexto das Cidades: proposição de critérios e indicadores. In: ENCONTRO DA ANPAD, 37., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2013. Disponível em: http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2013_EnANPAD_GCT2482.pdf. Acesso em: 6 set. 2020.
- NAPOLI, M. et al. Modeling Tree Shade Effect on Urban Ground Surface Temperature. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 45, n. 1, p. 146-156, 2016.
- NÄSI, R. et al. Remote sensing of bark beetle damage in urban forests at individual tree level using a novel hyperspectral camera from UAV and aircraft. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 30, p. 72-83, mar. 2018.
- NORTON, B. A. et al. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 134, p. 127-138, fev. 2015.
- NOWAK, D. J. et al. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services, **Arboriculture & Urban Forestry**, [s.l.], v. 34, n. 6, p. 347-358, 2008.
- NOWAK, D. J. et al. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 178, p. 229-236, jul. 2013.
- NOWAK, D. J.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 4, n. 3/4, p. 115-123, abr. 2006.
- NOWAK, D. J.; GREENFIELD, E. J. US Urban Forest Statistics, Values, and Projections. **Journal of Forestry**, Washington, v. 116, n. 2, p. 164-177, mar. 2018.
- OLIVEIRA, S. S. J. et al. Percepção da população sobre arborização urbana em Paragominas, Pará / Perception of the population on urban afforestation in Paragominas, Pará. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 7, p. 51691-51701, jul. 2020.
- OLIVEIRA, G. S.; TAVARES, A. A. Levantamento e caracterização das variáveis utilizadas em estudos sobre arborização urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 75-87, set. 2012.
- PAJARES, G. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 81, n. 4, p. 281-330, abr. 2015.
- PAULEIT, S.; DUHME, F. GIS assessment of Munich's urban forest structure for urban planning. **Journal of Arboriculture**, Savoy, v. 26, n. 3, p. 133-141, 2000.

RATUCHNE, L. C. et al. Estado da Arte na Quantificação de Biomassa em Raízes de Formações Florestais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, p. 450-462, jun. 2016.

REIS, A. R. N. et al. Estoques de carbono e dióxido de carbono equivalente em árvores de rua de cidades brasileiras. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 14, p. 26-35, out. 2019.

REN, Z. et al. Changes in spatio-temporal patterns of urban forest and its above-ground carbon storage: Implication for urban CO₂ emissions mitigation under China's rapid urban expansion and greening. **Environment International**, New York, v. 129, p. 438-450, ago. 2019.

ROELAND, S. et al. Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. **Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 30, n. 6, p. 1981-1996, dez. 2019.

ROPPA, C. et al. Diagnóstico da percepção dos moradores sobre a arborização urbana na vila estação colônia – bairro Camobi, Santa Maria – RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 11, 2007.

SANESI, G. et al. Remote sensing of urban forests. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 20, p. 2383, jan. 2019.

SANUSI, R. et al. Street Orientation and Side of the Street Greatly Influence the Microclimatic Benefits Street Trees Can Provide in Summer. **Journal of Environmental Quality**, Madyson, v. 45, n. 1, p. 167-174, 2016.

SANTOS, N. R. Z.; TEIXEIRA, I. F. **Arborização de vias públicas: Ambiente x vegetação**. 1. ed. Santa Cruz do Sul: Instituto Souza Cruz, 2001. 135 p.

SCHUCH, M. I. S. **Arborização urbana: uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SHIN, W. S. et al. The influence of interaction with forest on cognitive function. **Scandinavian Journal of Forest Research**, Stockholm, v. 26, n. 6, p. 595-598, dez. 2011.

SILVA FILHO, D. F. et al. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 5, p. 629-642, out. 2002.

SILVA, L. S. E; TRAVASSOS, L. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. **Cadernos Metrôpole**, São Paulo, n. 19, p. 27-47, 2008.

SILVA, T. H. F. E; SOUZA, V. C. O.; PAULA, M. M. V. A Systematic Mapping of Literature on the Use of Geotechnologies in Smart Cities in the Government area. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**, 17., 7 jun. 2021. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi/article/view/17698>. Acesso em: 9 dez. 2021.

SU, K. et al. Inversion and Effect research on dust distribution of urban forests in Beijing. **Forests**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 418, may 2019.

TASOULAS, E. et al. Development of a GIS application for urban forestry management planning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE, FOOD AND ENVIRONMENT, 6., 2013. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2013. v. 8. p. 70-80.

TIRPAK, R. A.; HATHAWAY, J. M.; FRANKLIN, J. A. Investigating the hydrologic and water quality performance of trees in bioretention mesocosms. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 576, p. 65-71, set. 2019.

TSOKA, S. et al. Urban warming and cities' microclimates: investigation methods and mitigation strategies—a review. **Energies**, [s.l.], v. 13, n. 6, p. 1414, jan. 2020.

VENTER, Z. S.; KROG, N. H.; BARTON, D. N. Linking green infrastructure to urban heat and human health risk mitigation in Oslo, Norway. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 709, p. 136193, mar. 2020.

VIEZZER, J. A floresta urbana e o papel das praças. In: BIONDI, D. (Org.). **Floresta urbana**. Curitiba: [s.n.], 2015. p. 109-124.

WADZUK, B. M.; HICKMAN, J. M.; TRAVER, R. G. Understanding the Role of Evapotranspiration in Bioretention: Mesocosm Study. **Journal of Sustainable Water in the Built Environment**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 04014002, may 2015.

WALKER, J. S.; BRIGGS, J. M. An Object-oriented Approach to Urban Forest Mapping in Phoenix. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 73, n. 5, p. 577-583, may 2007.

WANG, Y. et al. Is field-measured tree height as reliable as believed – A comparison study of tree height estimates from field measurement, airborne laser scanning and terrestrial laser scanning in a boreal forest. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 147, p. 132-145, jan. 2019.

WARD, K. T.; JOHNSON, G. R. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 15-22, fev. 2007.

WOLF, K. L. et al. Urban trees and human health: a scoping review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s.l.], v. 17, n. 12, p. 4371, jan. 2020.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **2021 one of the seven warmest years on record**. Geneva, 2022. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>. Acesso em: 31 jan. 2022.

YILMAZ, V.; GÜNGÖR, O. Estimating crown diameters in urban forests with Unmanned Aerial System-based photogrammetric point clouds. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 40, n. 2, p. 468-505, jan. 2019.

- YURTSEVEN, H. et al. Determination and accuracy analysis of individual tree crown parameters using UAV based imagery and OBIA techniques. **Measurement**, [s.l.], v. 145, p. 651-664, out. 2019.
- XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. **Urban Ecosystems**, [s.l.], v. 6, n. 4, p. 291-302, dez. 2002.
- XU, Z. et al. Tree species classification using UAS-based digital aerial photogrammetry point clouds and multispectral imageries in subtropical natural forests. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 92, p. 102173, out. 2020.
- ZHOU, W.; CAO, F.; WANG, G. Effects of Spatial Pattern of Forest Vegetation on Urban Cooling in a Compact Megacity. **Forests**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 282, mar. 2019.