

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JIMMY JAVIER OCLES MORALES

ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA (ICA) EM ÁREAS URBANAS  
HABITADAS: PROCESSO DE AMOSTRAGEM PARA SUA AVALIAÇÃO

CURITIBA

2024

JIMMY JAVIER OCLES MORALES

ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA (ICA) EM ÁREAS URBANAS  
HABITADAS: PROCESSO DE AMOSTRAGEM PARA SUA AVALIAÇÃO

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Behling

Prof. Dr. Jonathan Trautenmüller

CURITIBA

2024

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Ocles Morales, Jimmy Javier

Índice de cobertura arbórea (ICA) em áreas urbanas habitadas: processo de amostragem para sua avaliação / Jimmy Javier Ocles Morales. - Curitiba, 2024 .

1 recurso on-line : PDF

Orientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Behling

Prof. Dr. Jonathan Trautenmüller

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 26/08/2024.

1. Arborização das cidades. 2. Arborização das cidades - Curitiba (PR). 3. Florestas urbanas - Curitiba (PR). 4. Árvores - Medição. 5. Amostragem. 6. Sensoriamento remoto. I. Péllico Netto, Sylvio. II. Behling, Alexandre. III. Trautenmüller, Jonathan. IV. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD - 634.9

CDU - 634.0.27

634.0.5

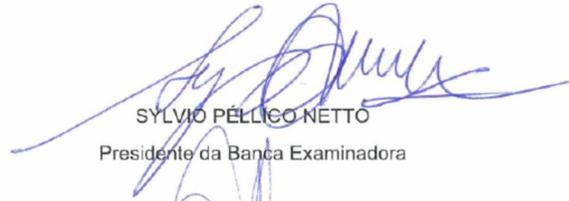
712

## TERMO DE APROVAÇÃO

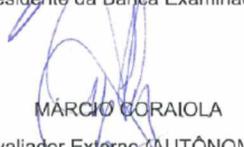
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JIMMY JAVIER OCLES MORALES** intitulada: **Índice de Cobertura Arbórea (ICA) em Áreas Urbanas Habitadas: Processo de Amostragem para sua Avaliação**, sob orientação do Prof. Dr. SYLVIO PÉLLICO NETTO, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua *Aprovação* no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Agosto de 2024.



SYLVIO PÉLLICO NETTO  
Presidente da Banca Examinadora



MÁRCIO CORAIOLA  
Avaliador Externo (AUTÔNOMO)



HENRIQUE SOARES KOEHLER  
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

## DEDICATORIA

À proprietária da minha existência, minha mãe, Rosario Ocles.

Você é a minha inspiração mais importante, a pessoa que nunca desistiu e sempre seguiu em frente, lutando com coragem e determinação. Tudo o que sou hoje devo a você, e tudo o que eu possa conquistar na vida será sempre em sua homenagem. Obrigado por estar sempre ao meu lado.

À minha irmã Jessica Ocles por sempre estar me apoiando, por ser uma fonte de inspiração para mim. Amo você.

Ao Equador, À Quinindé, À La Aldea meu bairro.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela oportunidade de realizar meus estudos e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos que me permitiu continuar minha formação acadêmica.

Agradeço especialmente à minha mãe e à minha irmã, que são minha constante inspiração. Tudo o que faço é por vocês. À Genesis Delgado, sou imensamente grato por me enviar o editorial que possibilitou minha candidatura e por me ajudar a chegar até aqui.

Meu sincero agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) da UFPR, ao Professor Alexander Behling, que foi fundamental para minha chegada ao Brasil, e ao Professor Sylvio Pellico Netto, meu orientador, pelas valiosas lições diárias e por acreditar em mim.

Agradeço ao Professor Henrique Koehler pela confiança que depositou em mim e por contribuir para a realização do meu sonho de ser professor. Sua orientação e apoio foram fundamentais para meu desenvolvimento acadêmico. Espero poder retribuir todo esse ensinamento e inspirar outros, assim como você fez por mim.

Agradeço ao Jonathan por sempre me motivar e ensinar, e por aceitar ser parte da coorientação do meu trabalho. Sua orientação e apoio foram fundamentais para meu crescimento acadêmico. Sou muito grato por sua amizade e por tudo o que você representa em minha jornada!

Agradeço sinceramente à Professora Daniela Biondi, cujos trabalhos li desde minha graduação e que foram fundamentais para meu interesse pela área de florestas urbanas. A disciplina que cursei com você aqui no Brasil foi uma experiência marcante e enriquecedora.

Agradeço também aos meus anjos Kauana e Adriane, o "team samambaias". Amo vocês imensamente e nunca deixarei de agradecer por tornar minha chegada tão maravilhosa.

Agradeço à Franciele por sua constante motivação e apoio, pelos desejos 11:11 e por simplesmente existir. Quero que saiba que admiro muito você e tudo o que representa em minha vida.

Agradeço ao meu amigo Jhonny, meu "dinossauro", por sempre estar disposto a me ouvir, me assessorar e me aconselhar. Sua amizade e apoio incondicional foram essenciais em momentos desafiadores. Sou grato por ter você ao meu lado nessa jornada!

Sou grato aos professores do PPGEF pelo acolhimento e confiança, e aos meus professores da ESPOCH, Equador: Vilma Noboa, Eduardo Salazar, Carlos Carpio, Jorge Caranqui e Victor Espinoza, que foram fundamentais durante minha graduação.

Agradeço ao café do manejo florestal, que se tornou uma terapia para mim, pelas histórias, conversas, jogos de baralhos, piadas, aulas de português e debates filosóficos. Aos secretários do PPGEF, Reinaldo e David, e ao pessoal da limpeza, pelos sorrisos e carinho diários. Às meninas da portaria, por me receberem sempre com um "Oi" e um sorriso.

Agradeço a Washington por sua inspiração, a Tawane por suas energias positivas, a Theonize e Augusto pela amizade incondicional, e a Claiton pelo apoio e ajuda sempre que precisei. Também sou grato a Ornélio, para quem sempre pergunto "Como tá o Lucca?", mas também para saber se ele está bem, por sua amizade.

Agradeço ao Antônio pelas conversas sobre esportes e diversos assuntos. Você é, sem dúvida, uma das pessoas mais inteligentes que já conheci, e tenho certeza de que a vida reserva coisas maravilhosas para você, e foi um prazer conhecê-lo. Ao Gabriel e ao João, pelo apoio constante. À Ana Paula, pelas conversas sobre a vida, pelas aulas de português e pela coleta dos dados. Ao CELIN e meus professores de português, Rebeca, Beatriz e Nilton, pela paciência e dedicação.

Agradeço à equipe **OCLES**<sup>®</sup>, que desde o Equador continua na luta para se tornar uma grande empresa que ajude a sociedade. O trabalho e a dedicação de cada um de vocês são inspiradores e fundamentais para fazer a diferença.

Agradeço a todos os estudantes do PPGEF.

Agradeço ao Iran, que se tornou como um irmão para mim. Sou grato por compartilharmos o apartamento, por aqueles momentos em que chegamos em casa e podemos conversar, e pela convivência que temos. Seu "tem café" sempre é bom.

E, finalmente, agradeço à vida por me dar tanto.

O C L E S



*Vendrán tiempos mejores.*

*Rosario **OCLES** <sup>®</sup> ☺*

*Solo fracasa quien deja de intentar.*

*Jimmy **OCLES** <sup>®</sup> ☺*

## RESUMO

Este trabalho aborda a importância dos processos de amostragem, considerando as hierarquias das cidades, para a caracterização da cobertura vegetal urbana, com foco na arborização da cidade de Curitiba. O objetivo principal foi mensurar o Índice de Cobertura Arbórea (ICA) utilizando amostragens em dois estágios, com unidades primárias e secundárias de tamanhos desiguais, fundamentadas na distribuição de Bernoulli. A pesquisa destaca a relevância da comparação entre dados obtidos em campo e por meio de tecnologias como Google Street View e QGIS, evidenciando a necessidade de um processo robusto e a capacitação da equipe de campo. Os resultados indicam um ICA de 5,49%, refletindo a presença significativa de vegetação arbórea nas áreas urbanas, o que contribui para a melhoria da qualidade ambiental e a promoção de ambientes urbanos mais saudáveis. A metodologia demonstrou ser eficaz na obtenção de resultados representativos, permitindo identificar diferenças significativas na cobertura arbórea entre os bairros da cidade. As conclusões reforçam a necessidade de investimentos em áreas verdes e na preservação do patrimônio arbóreo, além de destacar a importância de um planejamento urbano que considere a interação entre o espaço construído e o ambiente natural.

Palavras chaves: Amostragem, Índice de Cobertura Arbórea (ICA), Arborização Urbana, Sensoriamento Remoto, Sustentabilidade

## **ABSTRACT**

This work addresses the importance of sampling processes, considering city hierarchies, for characterizing urban vegetation cover, with a focus on the tree canopy of Curitiba. The main objective was to measure the Tree Cover Index (TCI) using two-stage sampling, with primary and secondary units of unequal sizes, based on Bernoulli distribution. The study highlights the relevance of comparing field data with data obtained through technologies such as Google Street View and QGIS, emphasizing the need for a robust process and field team training. The results indicate a TCI of 5.49%, reflecting a significant presence of tree vegetation in urban areas, which contributes to improved environmental quality and the promotion of healthier urban environments. The methodology proved effective in obtaining representative results, allowing the identification of significant differences in tree cover across the city's neighborhoods. Conclusions reinforce the need for investments in green spaces and the preservation of tree heritage, while highlighting the importance of urban planning that considers the interaction between built space and the natural environment.

Keywords: Tree Canopy Index (TCI), Urban Greening, Remote Sensing, Sustainability

## RESUMEN

Este trabajo aborda la importancia de los procesos de muestreo, considerando las jerarquías de las ciudades, para la caracterización de la cobertura vegetal urbana, con énfasis en la arborización de la ciudad de Curitiba. El objetivo principal fue medir el Índice de Cobertura Arbórea (ICA) utilizando muestreos en dos etapas, con unidades primarias y secundarias de tamaños desiguales, basados en la distribución de Bernoulli. La investigación destaca la relevancia de la comparación entre los datos obtenidos en campo y mediante tecnologías como Google Street View y QGIS, subrayando la necesidad de un proceso robusto y la capacitación del equipo de campo. Los resultados indican un ICA del 5,49%, lo que refleja la presencia significativa de vegetación arbórea en las áreas urbanas, contribuyendo a la mejora de la calidad ambiental y la promoción de ambientes urbanos más saludables. La metodología demostró ser eficaz para obtener resultados representativos, permitiendo identificar diferencias significativas en la cobertura arbórea entre los barrios de la ciudad. Las conclusiones refuerzan la necesidad de invertir en áreas verdes y en la preservación del patrimonio arbóreo, además de resaltar la importancia de un urbanismo que considere la interacción entre el espacio construido y el ambiente natural.

Palabras claves: Muestreo, Índice de Cobertura Arbórea (ICA), Arborización Urbana, Teledetección, Sostenibilidad

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Mapa de localização da cidade de Curitiba .....  | 28 |
| Figura 2 Delimitação das quadras levando em consideração as projeções das copas das árvores sobre as ruas. .... | 31 |
| Figura 3 Mapeamento digital das áreas de copa das árvores no QGIS .....   | 36 |
| Figura 4 Quadras amostradas do bairro Alto da Glória .....  | 37 |
| Figura 5 A: Clinómetro Haglöf Modelo EC II D: B: Fita métrica .....   | 38 |
| Figura 6 Referências visuais.....   | 39 |
| Figura 7 Edificações como referências visuais.....  | 39 |
| Figura 8 Sinais de trânsito como referências visuais.....   | 40 |
| Figura 9 Lixeiras como referências visuais.....   | 41 |
| Figura 10 Gráfico de Bland-Altman para Altura (H) .....   | 48 |
| Figura 11 Gráfico de Bland-Altman para DAP .....  | 49 |
| Figura 12 Gráfico de Bland-Altman para Área de Copa .....   | 50 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 Recursos geográficos .....                          | 30 |
| Tabela 2 Parâmetros de Cobertura Arbórea.....                | 45 |
| Tabela 3 Estatísticas Descritivas das Variáveis Medidas..... | 46 |
| Tabela 4 Teste t para as Variáveis .....                     | 47 |
| Tabela 5 Tabela geral dos bairros .....                      | 51 |
| Tabela 6 Resumo do bairro Água Verde .....                   | 52 |
| Tabela 7 Resumo do bairro Alto da Glória.....                | 53 |
| Tabela 8 Resumo do bairro Cascatinha .....                   | 54 |
| Tabela 9 Resumo do bairro Novo Mundo .....                   | 55 |
| Tabela 10 Resumo do bairro Rebouças .....                    | 56 |
| Tabela 11 Resumo do bairro Santa Felicidade.....             | 57 |
| Tabela 12 Resumo do bairro Sitio Cercado.....                | 58 |
| Tabela 13 Resumo do Bairro Vila Izabel .....                 | 60 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- GSV: Google Street View
- ICA: Índice de Cobertura Arbórea

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>19</b> |
| 2. OBJETIVOS.....   | 22        |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | <b>22</b> |
| <b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | <b>23</b> |
| 3.1. ....PROCESSOS DE AMOSTRAGEM EM FLORESTAS URBANAS.<br>.....   | <b>23</b> |
| 3.2. ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA (ICA).....   | <b>24</b> |
| 3.3. PROCESSOS DE MENSURAÇÃO A PARTIR DAS IMAGENS GOOGLE EARTH<br>PRO, GOOGLE STREET VIEW, QGIS.....    | <b>25</b> |
| 3.3.1. Métricas passíveis de extração .....   | 26        |
| 3.3.2. Aproveitar os recursos gratuitos .....   | 26        |
| 3.3.3 Oportunidades e vantagens.....  | 26        |
| 3.3.4 Origem do Street View - Carro do Google.....  | 26        |
| 3.3.5 Processo de atualização das imagens .....   | 27        |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>28</b> |
| 4.1. DADOS EXPERIMENTAIS .....  | <b>28</b> |
| 4.1.1 Caracterização da área de estudo.....   | 28        |
| 4.1.2. Seleção da Amostra .....   | 29        |
| 4.1.2.1. Seleção dos Bairros.....   | 29        |
| 4.1.2.2. Seleção das Quadras .....  | 29        |
| 4.2. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ARBORIZADAS.....   | <b>30</b> |
| 4.2.1. Banco de dados .....   | 30        |
| 4.2.2. Delimitação das Quadras e Espaços Verdes .....   | 30        |
| 4.3. CÁLCULO DO ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREAS – ICA .....  | <b>31</b> |
| 4.3.1. Amostragem em Dois Estágios com Unidades Primárias e Secundárias com<br>Tamanhos Desiguais ..... | 32        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2.1.1. Estrutura da Amostra.....  | 33        |
| 4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES .....  | 36        |
| 4.4.1. Utilização de Imagens de Satélite e QGIS .....   | 36        |
| 4.4.2. Medições no Google Earth Pro e Google Street View:.....  | 38        |
| 4.4.3. Análise de Dados e Interpretação: .....  | 41        |
| 4.4.4. Validação dos Dados:.....  | 42        |
| <b>5. RESULTADOS .....</b>  | <b>45</b> |
| 5.1. COMPARAÇÃO DA OBTENÇÃO CAMPO VS. GOOGLE IMAGENS .....  | 45        |
| 5.1.1 Medidas de concordâncias .....  | 47        |
| 5.1.2 GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE BLAND-ALTMAN .....   | 48        |
| 5.2. INVENTARIO DE ICA PARA CAPITAL DE CURITIBA.....  | 51        |
| 5.2.2 Bairros inventariados .....   | 52        |
| 5.2.3 Estatística da amostragem em dois estágios com unidades primárias e secundárias com tamanhos desiguais..... | 60        |
| <b>6. DISCUSSÃO.....</b>  | <b>62</b> |
| 6.1 IMAGENS DE SATÉLITE E QGIS PARA OBTENÇÃO DO ICA.....  | 64        |
| 6.2 PROCESSO DE AMOSTRAGEM PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA (ICA) EM ÁREAS URBANAS.....              | 64        |
| <b>7. CONCLUSÕES.....</b>   | <b>66</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>67</b> |



## 1. INTRODUÇÃO

As florestas urbanas desempenham um papel fundamental para a qualidade de vida nas cidades, propiciando uma série de benefícios ambientais, sociais e econômicos. De acordo com Biondi, Silva e Santos (2015), as florestas urbanas contribuem significativamente para melhoria da qualidade do ar, redução da poluição sonora, regulação do microclima e promoção da biodiversidade local. Além disso, esses ecossistemas desempenham papel crucial na mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas e na adaptação das cidades às mudanças climáticas. Segundo Batista (2018), as florestas urbanas também são essenciais para a saúde mental e bem-estar das comunidades urbanas, oferecendo espaços de lazer, recreação e contato com a natureza, portanto compreender a importância das florestas urbanas para um país é fundamental para seu planejamento sustentável e preservação desses valiosos recursos naturais.

Em um município, estar bem-informado sobre a situação das florestas urbanas é fundamental para promover o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida de seus habitantes. A complexidade envolvida na avaliação dessas áreas vai além da simples contagem de árvores, envolvendo a análise de diversos elementos como bairros, quadras e prédios. Nesse contexto, a utilização de um processo de amostragem adequado para o cálculo do Índice de Cobertura Urbana - ICA se torna essencial. Segundo Silva, Santos e Oliveira (2016), a falta de normatização e de dados consolidados sobre o tema ressalta a importância de estudos que forneçam embasamento técnico para a gestão eficiente das áreas verdes urbanas. Além disso, conforme destacado por Souza, Nachtergaele e Carboni (2010), a arborização planejada contribui significativamente para a interação harmoniosa entre o espaço construído e o ambiente natural, impactando diretamente na qualidade de vida da população. Assim, a realização de um inventário florestal urbano detalhado, aliado a um processo de amostragem robusto, é essencial para subsidiar políticas públicas e ações de manejo que visem a preservação e o desenvolvimento sustentável das áreas verdes em ambientes urbanos.

Considerando as hierarquias presentes no contexto urbano, nesta pesquisa propõe-se apresentar uma abordagem inovadora para o processo de amostragem do ICA em áreas urbanas. Nesse sentido, são estabelecidas diferentes escalas de análise, que vão desde as regiões urbanas até os bairros, quadras e prédios, a fim de compreender a

distribuição e a influência da cobertura vegetal nessas diversas unidades espaciais. Segundo Silva et al. (2018), a definição de hierarquias espaciais é fundamental para a correta delimitação das áreas de estudo e a aplicação de métodos de amostragem adequados. Além disso, a consideração dessas hierarquias permite uma análise mais detalhada das características ambientais e da dinâmica urbana, contribuindo para a elaboração de estratégias eficazes de manejo e conservação da vegetação urbana, conforme destacado por Souza (2016).

No estudo do "Índice de Cobertura Arbórea em Áreas Urbanas", é crucial considerar a variedade de variáveis que influenciam a avaliação da cobertura urbana, tais como áreas das copas das árvores, altura das árvores, diâmetro à altura do peito (DAP), altura da primeira bifurcação ou de inversão morfológica, entre outras. Essas variáveis estruturais das árvores desempenham um papel fundamental na caracterização da cobertura vegetal urbana e na compreensão da dinâmica do ambiente urbano. A análise dessas variáveis permite avaliar a distribuição, a frequência das árvores nas áreas urbanas, contribuindo para a gestão sustentável da cobertura vegetal e para a promoção de ambientes urbanos mais saudáveis e resilientes, portanto, a inclusão dessas variáveis nos estudos de cobertura urbana é essencial para uma abordagem abrangente e precisa da vegetação urbana (Silva, Gonçalves, & Leite, 2005; Lu et al., 2004).

A mensuração das variáveis para o cálculo do ICA em áreas urbanas requer uma equipe especializada e recursos apropriados para a execução eficiente do trabalho contínuo em campo. A coleta de dados exige atenção aos detalhes, incluindo a mensuração de diversas variáveis estruturais relevantes. Essa fase é crucial para garantir a exatidão e a confiabilidade dos resultados obtidos, uma vez que a correta mensuração das variáveis tem impacto direto na avaliação da cobertura vegetal arbórea. Ademais, é essencial que a equipe de campo seja devidamente capacitada e equipada, a fim de assegurar a qualidade e a consistência dos dados coletados durante o processo de amostragem (Albuquerque, 2018; Canavesi et al., 2010).

Utilizando fontes de dados inovadoras e tecnologias geoespaciais avançadas, a integração de ferramentas como Google Earth Pro, Street View, QGIS e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) visam facilitar a obtenção das variáveis necessárias para a análise da cobertura urbana. Segundo Libório e Silva (2018), essas tecnologias oferecem vantagens significativas, como o acesso a imagens de alta resolução, a realização de análises espaciais detalhadas e a obtenção ágil e exata de dados

atualizados. O uso dessas ferramentas tecnológicas permite otimizar o processo de coleta de dados, tornando-o mais eficiente e contribuindo para a qualidade e precisão dos resultados obtidos, além de propiciar visão mais abrangente e detalhada do ambiente urbano em estudo.

### Hipótese

O índice de cobertura arbórea, obtido por meio de imagens e calculado a partir de amostragens em dois estágios com unidades primárias e secundárias de tamanhos diferentes, é apropriado para estimar a cobertura arbórea de uma população urbana habitadas, bem como avaliar o grau de sua variabilidade no contexto populacional.

### 3. OBJETIVOS

Aplicar e avaliar o processo de amostragem em dois estágios para o cálculo do Índice de Cobertura Arbórea (ICA) em bairros e quadras de áreas habitadas no município de Curitiba, PR.

#### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver estimadores para o processo de amostragem em florestas urbanas.
- Utilizar imagens de satélite e o recurso Street View para coletar as variáveis necessárias ao cálculo do Índice de Cobertura Arbórea (ICA).
- Validar a obtenção das variáveis, utilizando imagens de satélite, Street View e medições em campo.
- Avaliar a exatidão do processo de amostragem para o cálculo do Índice de Cobertura Arbórea (ICA).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. PROCESSOS DE AMOSTRAGEM EM FLORESTAS URBANAS.

Os processos de amostragem em florestas urbanas desempenham um papel fundamental no manejo florestal, permitindo a avaliação acurada da cobertura arbórea em áreas urbanas. Segundo Rollo (2014), a correta quantificação da cobertura arbórea é essencial para o planejamento e gestão adequados das áreas verdes urbanas. Além disso, Coutinho e Lima (2020) ressaltam a importância da análise estatística quali-quantitativa na avaliação da arborização de ruas, destacando a necessidade de estudos para adaptar técnicas de amostragem à realidade brasileira.

Os processos de amostragem referem-se às técnicas utilizadas para coletar dados representativos de uma população por meio da seleção de uma amostra, conforme está apresentado em Lima, (1992). Na avaliação de florestas urbanas, a amostragem é essencial para obter informações exatas sobre a cobertura arbórea, densidade de árvores, diversidade de espécies e outros parâmetros relevantes. Processos como a amostragem sistemática simples e a amostragem estratificada são amplamente utilizados para garantir a representatividade dos dados coletados e facilitar a análise estatística dos resultados (ROLLO, 2014).

florestas urbanas são áreas arborizadas dentro de ambientes urbanos, que incluem árvores, arbustos e outras formas de vegetação. Essas áreas desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade de vida nas cidades, propiciando benefícios, como redução da poluição do ar, regulação da temperatura, aumento da biodiversidade e bem-estar psicológico dos habitantes urbanos (ROLLO, 2014). A gestão adequada das florestas urbanas envolve a avaliação da cobertura arbórea, o planejamento de ações de manejo e a implementação de práticas sustentáveis para garantir a saúde e a funcionalidade desses ecossistemas (SILVA FILHO, et al. 2005)

No contexto urbano, a organização espacial se dá por meio de hierarquias que estruturam as diferentes escalas de intervenção e planejamento. Essas hierarquias podem incluir bairros, quadras, ruas e outras unidades territoriais que desempenham papéis específicos na organização e funcionamento das cidades. O entendimento das hierarquias urbanas é essencial para a gestão eficiente do espaço urbano, permitindo a

implementação de políticas e ações adequadas a cada nível de escala (MENEGHETTI, 2003).

A amostragem estratificada é recomendada para um levantamento de arborização urbana hierárquico, onde as unidades de amostra são divididas em estratos homogêneos, visando reduzir a variabilidade dentro deles. Ao selecionar aleatoriamente as unidades de amostra em cada estrato, conhecido como amostragem aleatória estratificada, é possível obter uma representação acuradas dos diferentes segmentos da população para qualquer variável de interesse. Isso resulta em estimativas mais exatas dos parâmetros da população, além de reduzir os custos de amostragem. A estratificação é uma prática comum em levantamentos florestais, permitindo uma análise mais detalhada da distribuição e composição da arborização urbana (SUKHATME et al., 1984; PELLICO NETTO, 1996).

### 3.2. ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA (ICA)

O Índice de Cobertura Arbórea (ICA) é uma medida essencial para avaliar a presença de vegetação em áreas urbanas, sendo crucial para o planejamento ambiental. Segundo Silva et al. (2018), o ICA é definido como a razão entre área coberta pelas copas das árvores em relação à área total do terreno. Essa métrica é fundamental para avaliar a qualidade ambiental e o conforto térmico das áreas urbanas (SILVA et al., 2018)

Ao longo da história, o ICA tem sido amplamente utilizado como um indicador da quantidade de vegetação presente em ambientes urbanos. De acordo com Souza (2016), o ICA é uma ferramenta importante para monitorar a cobertura arbórea e seu impacto na qualidade de vida da população. Utilizando-se o ICA, é possível avaliar a distribuição espacial da vegetação e identificar áreas que necessitam de intervenções para aumentar a cobertura vegetal.

Para calcular o ICA, são necessárias variáveis como a área das copas das árvores e a área total da região em estudo. Conforme Santos e Lima (2020), a equação para o cálculo do ICA é dada pela fórmula:

$$ICA = \left( \frac{\text{Área das copas das Árvores}}{\text{Área Total}} \right) \times 100$$

Essa equação permite quantificar de forma precisa a cobertura arbórea em áreas urbanas e subsidiar a tomada de decisões em projetos de arborização (SANTOS E LIMA, 2020).

A precisão na amostragem e coleta de dados é fundamental para garantir a representatividade do ICA em estudos de cobertura vegetal. Segundo Oliveira et al. (2019), a correta delimitação das áreas de vegetação e a utilização de técnicas de sensoriamento remoto são essenciais para a obtenção de dados acurados para o cálculo do ICA. A qualidade dos dados influencia diretamente na confiabilidade das análises e nas conclusões dos estudos (OLIVEIRA et al. 2019).

Em síntese, o Índice de Cobertura Arbórea desempenha um papel crucial na avaliação da presença de vegetação em áreas urbanas e na promoção de ambientes mais saudáveis e sustentáveis. Por meio de um cálculo exato do ICA e da análise adequada dos dados, é possível subsidiar políticas públicas e ações de planejamento urbano voltadas para a conservação e ampliação da cobertura vegetal nas cidades.

### 3.3. PROCESSOS DE MENSURAÇÃO A PARTIR DAS IMAGENS GOOGLE EARTH PRO, GOOGLE STREET VIEW, QGIS.

A utilização de ferramentas como o Google Earth Pro, Google Street View e QGIS têm se mostrado fundamental para a mensuração de variáveis ambientais em áreas urbanas, incluindo o cálculo do Índice de Cobertura Arbórea (ICA). Essas plataformas oferecem recursos avançados de georreferenciamento e análise espacial, permitindo a extração de métricas acuradas e detalhadas relacionadas à cobertura vegetal urbana (CAMPOS & BOTELHO, 2022).

### 3.3.1. Métricas passíveis de extração

Por meio do Google Earth Pro, Google Street View e QGIS é possível extrair uma variedade de métricas relevantes para estudos de cobertura arbórea em áreas urbanas. Dentre as métricas que podem ser mensuradas estão a densidade arbórea, a distribuição espacial das árvores, a altura média da vegetação, a diversidade de espécies e a área total coberta por vegetação. Essas informações são essenciais para a avaliação da qualidade ambiental e planejamento urbano sustentável (CAMPOS & BOTELHO, 2022).

### 3.3.2. Aproveitar os recursos gratuitos

Uma das principais vantagens dessas ferramentas é que elas são recursos gratuitos e de fácil acesso. O Google Earth Pro, Google Street View e QGIS oferecem uma gama de funcionalidades sem a necessidade de investimentos financeiros significativos, tornando-os acessíveis a pesquisadores e profissionais interessados em realizar estudos de cobertura arbórea em áreas urbanas. Essa democratização do acesso a tecnologias geoespaciais contribui para a ampliação do conhecimento e aprimoramento das práticas de monitoramento ambiental (CAMPOS & BOTELHO, 2022).

### 3.3.3 Oportunidades e vantagens

A integração do Google Earth Pro, Google Street View e QGIS em processos de mensuração de cobertura arbórea em áreas urbanas oferece diversas oportunidades e vantagens. Essas ferramentas permitem a realização de análises detalhadas e acuradas, possibilitando a identificação de padrões espaciais, a avaliação do estado de conservação da vegetação urbana e o monitoramento de mudanças ao longo do tempo. Além disso, a combinação dessas tecnologias com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento potencializa a obtenção de dados confiáveis e atualizados para estudos ambientais e urbanos (CAMPOS & BOTELHO, 2022).

### 3.3.4 Origem do Street View - Carro do Google

O Google Street View Car é um dos principais responsáveis pela coleta de imagens de ruas e de áreas urbanas para a plataforma Google Street View. O projeto teve início em 2007 e utiliza veículos equipados com câmeras especiais para capturar imagens em 360 graus das vias públicas, para registrar detalhes exatos do ambiente circundante, permitindo a visualização imersiva e interativa das localidades mapeadas. Essas câmeras, conhecidas como "câmeras de esfera", são compostas por múltiplas lentes que registram imagens panorâmicas de alta resolução durante o deslocamento dos veículos (SILVA, 2021).

### 3.3.5 Processo de atualização das imagens

O processo de atualização das imagens no Google Street View envolve uma série de etapas que visam manter a base de dados sempre atualizada e acurada. As imagens capturadas pelos veículos do Google Street View passam por um processo de seleção, edição e georreferenciamento antes de serem disponibilizadas na plataforma. A frequência de atualização das imagens varia de acordo com a região e a demanda, sendo que áreas urbanas de maior interesse costumam ter suas imagens atualizadas com mais frequência (SILVA, 2021).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. DADOS EXPERIMENTAIS

#### 4.1.1 Caracterização da área de estudo

Este trabalho foi realizado na cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná, localizada na região Sul do Brasil, que abrange 75 bairros e 13.624 quadras. Curitiba se destaca como o município mais populoso do estado e da região Sul, ocupando a 8ª posição no ranking nacional. Segundo dados do Censo Demográfico do IBGE de 2022, a cidade tem uma população de 1.773.718 habitantes e apresenta uma densidade demográfica de 4.078,53 hab./km<sup>2</sup>. Situada a mais de 110 km do Oceano Atlântico, Curitiba está posicionada a uma altitude de 945 metros, entre as coordenadas 25°25'48" S e 49°16'15" O, caracterizando-se por um clima subtropical. Reconhecida pelas baixas temperaturas médias, a cidade também se destaca pelo elevado Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM – 2010), alcançando a marca de 0,823 (Prefeitura de Curitiba, 2024). Vale ressaltar que, para os fins deste estudo, foram desconsideradas as áreas verdes da cidade, como parques e praças, sendo consideradas apenas as áreas habitadas na amostragem. (ver FIGURA 1)

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE CURITIBA



FONTE: O Autor (2024)

#### 4.1.2. Seleção da Amostra

A seleção das amostras foi conduzida de forma criteriosa, considerando a representatividade e a diversidade da arborização urbana em Curitiba. O processo de seleção foi dividido em dois estágios: a seleção dos bairros e a seleção das quadras dentro de cada bairro.

##### 4.1.2.1. Seleção dos Bairros

Para garantir uma amostra abrangente e significativa, foi adotado um método de sorteio aleatório que contemplou 10% dos bairros de Curitiba. Dessa forma, 8 bairros (Água Verde, Alto da Glória, Cascatinha, Novo Mundo, Rebouças, Santa Felicidade, Sítio Cercado, Vila Izabel) foram selecionados para integrar a amostra, incluindo áreas urbanas, parques municipais, unidades de produção agrícola, áreas privadas com cobertura florestal e condomínios residenciais. Essa seleção estratégica permitiu capturar a heterogeneidade da arborização urbana em diferentes contextos e ambientes. O estágio é constituído por  $B_i$  Bairros, tal que  $i= 1,2,3... B_i$

##### 4.1.2.2. Seleção das Quadras

Dentro de cada bairro amostrado, foi realizado um novo sorteio aleatório para selecionar as quadras a serem amostradas. Considerando a importância da representatividade estatística, foi estabelecido um critério mínimo de 3 quadras por bairro, garantindo uma amostra robusta e confiável. O número de quadras selecionado por bairro variou de acordo com sua extensão e características específicas, assegurando uma distribuição proporcional das amostras ao longo do território urbano de Curitiba. O estágio é constituído de  $Q_{ij}$  Quadras, tal que  $i=1,2,3...B_i$ ,  $j=1,2,3...Q_{ij}$

## 4.2. DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ARBORIZADAS

### 4.2.1. Banco de dados

Para delimitar as áreas de arborização, foram utilizadas bases de dados geográficos disponibilizadas gratuitamente no site do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC). Essas bases estão em formato Shapefile, no sistema de projeção SIRGAS 2000, conforme descrito na TABELA 1.

TABELA 1 RECURSOS GEOGRÁFICOS

| Arquivo            | Ano          |
|--------------------|--------------|
| Arruamento/Quadras | Janeiro/2023 |
| Divisa de Bairros  | Agosto/2018  |

FONTE: O autor (2024)

### 4.2.2. Delimitação das Quadras e Espaços Verdes

Os arquivos Shapefile foram importados para o ambiente do software QGIS versão 3.1.2. A visualização do município foi efetuada utilizando uma imagem de satélite acessada por meio do plugin Google Satélite. Essa imagem forneceu uma visão panorâmica e detalhada do território urbano, permitindo identificar as áreas com presença de vegetação arbórea.

As imagens de satélite foram processadas e analisadas para identificar as características distintivas das áreas arborizadas, como a densidade da cobertura vegetal, a distribuição das copas das árvores e a presença de vegetação de grande porte. Com base nas informações obtidas a partir dessas imagens, conforme ilustrado na FIGURA 2, as quadras selecionadas em cada bairro foram delimitadas digitalmente no QGIS. Utilizando ferramentas de georreferenciamento e desenho vetorial, as fronteiras das quadras foram delineadas com exatidão, considerando o meio das ruas como limite para as áreas de estudo.

FIGURA 2 - DELIMITAÇÃO DAS QUADRAS LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO AS PROJEÇÕES DAS COPAS DAS ÁRVORES SOBRE AS RUAS.



FONTE: O autor (2024)

#### 4.3. CÁLCULO DO ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREAS – ICA

Na metodologia adotada, o cálculo do Índice de Cobertura Urbana (ICA) requer a obtenção de variáveis essenciais, como a área das copas das árvores e a área total da região em estudo. Seguindo a abordagem proposta por Santos e Lima (2020), a equação para o cálculo do ICA é expressa pela fórmula:

$$ICA = \left( \frac{\text{Área das copas das Árvores}}{\text{Área das Quadras}} \right) \times 100$$

Esta equação possibilita a quantificação acurada da cobertura arbórea em áreas urbanas, oferecendo suporte valioso para a tomada de decisões em projetos de arborização. Adicionalmente, para contemplar a heterogeneidade espacial dentro da área de estudo, foi realizada a obtenção das médias ponderadas de estágio, considerando os bairros como unidades amostrais primárias. Isso inclui o cálculo das médias ponderadas tanto para a Área das Copas das Árvores como para a Área Total de cada bairro, garantindo uma análise mais detalhada e representativa da cobertura vegetal urbana em diferentes contextos locais.

#### 4.3.1. Amostragem em Dois Estágios com Unidades Primárias e Secundárias com Tamanhos Desiguais

A metodologia de amostragem em dois estágios com unidades primárias e secundárias de tamanhos desiguais, aplicada ao estudo do Índice de Cobertura Arbórea (ICA) no município de Curitiba, é fundamentada na distribuição de Bernoulli para a obtenção da proporção " $p$ " nos dois estágios da amostragem.

Curitiba está subdividida em bairros, que são definidos como Unidades Primárias (UP). Cada bairro, por sua vez, é composto por várias quadras, as Unidades Secundárias (US). No primeiro estágio da amostragem, seleciona-se aleatoriamente um conjunto de bairros. No segundo estágio, quadras são escolhidas aleatoriamente dentro de cada bairro amostrado. O ICA, que mede a razão entre a área coberta pela copa das árvores e a área de cada quadra, é a variável aleatória de interesse neste estudo.

Para modelar essa amostragem, a variável " $p$ " é introduzida para representar a proporção de quadras que apresenta determinada cobertura arbórea dentro de cada bairro. Essa abordagem se justifica pelo princípio da distribuição de Bernoulli, que é apropriada para situações em que um experimento pode resultar em dois possíveis desfechos: sucesso ou fracasso. Neste contexto, ao realizar o sorteio das quadras, atribui-se o valor "1" à quadra que é selecionada (sucesso) e "0" às quadras não selecionadas (fracasso).

O valor médio de " $p$ " é então calculado como a razão entre a soma dos ICAs observados nas quadras selecionadas e o número total de quadras amostradas. Isso permite que " $p$ " seja interpretado como a proporção média de quadras que tem cobertura arbórea, ou seja, como uma estimativa da cobertura arbórea média no bairro.

Essa abordagem, fundamentada na distribuição de Bernoulli, permite que o ICA seja tratado como uma variável proporcional, facilitando a aplicação de técnicas estatísticas apropriadas para a análise dos dados de amostragem. A utilização de " $p$ " como uma representação do ICA torna as equações mais simples e diretamente aplicáveis ao contexto da pesquisa, proporcionando uma estimativa robusta da cobertura arbórea nos bairros amostrados em Curitiba.

#### 4.2.1.1. Estrutura da Amostra para o ICA para proporções

- Número de Unidades Primárias (UP) - Bairros:
  - População:  $M$
  - Amostra:  $m$
- Número de Unidades Secundárias (US) - Quadras:
  - População:  $N_j$
  - Amostra:  $n_j$
- Total de US - Quadras:
  - População:  $N = \sum_{j=1}^M N_j$
  - Amostra:  $n = \sum_{j=1}^m n_j$
  - Pesos dos Bairros na amostragem  $W_k = \frac{N_j}{\sum_{j=1}^m N_j}$  e  $\sum_{k=1}^m W_k = 1$

Em que  $N_j$  é o número de quadras amostradas em cada Bairro;  $m$  é o número de Bairros amostrados.  $W_k$  é utilizado para o cálculo da média ponderada do ICA nos Bairros amostrados.

- Média do Número de US por UP:

- População:  $\bar{N} = \frac{N}{M}$
- Amostra:  $\bar{n} = \frac{n}{m}$

- $N_j$  na  $j$ -ésima UP

População

- $P = \sum_{k=1}^{N_j} p_{jk}$

Amostra

- $p = \sum_{k=1}^{n_j} p_{jk}$

Estimador

- $\hat{P} = N_j \bar{p}_j = \frac{N_j}{M_j} p_j$

- Em todas as UP

## População

$$\circ P = \sum_{j=1}^M P_j$$

## Amostra

$$\circ p = \sum_{j=1}^m p_j$$

## Estimador

$$\circ \hat{P} = \frac{M}{m} \hat{P}_j$$

## Média Populacional por UP

## População

$$\circ \bar{P} = \frac{P}{M}$$

$$\circ \bar{P} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M P_j$$

$$\circ \bar{P} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M N_j \bar{P}_j$$

## Amostra

$$\circ \hat{p} = \frac{\hat{p}}{m}$$

$$\circ \hat{p} = \frac{1}{m} \sum_1^m \hat{P}_j$$

$$\circ \hat{p} = \frac{1}{m} \sum_1^m N_j \bar{P}_j$$

## Variância da População por US Ponderada

- População:

$$S_e^2 = \frac{1}{M(N_j - 1)} \sum_{k=1}^M N_j (\bar{P}_j - \bar{P})^2$$

- Amostra entre Bairros

$$S_e^2 = \frac{1}{m(\bar{n} - 1)} \sum_{k=1}^m n_j (\hat{p}_j - \bar{p})^2$$

Amostra dentro dos Bairros

$$S_w^2 = \frac{n_j}{m(n_j - 1)} \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^{n_j} \hat{p}_j \hat{q}_j$$

Variância da média

$$s_{\bar{p}}^2 = \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{M}\right) s_e^2 + \frac{1}{M} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) s_w^2$$

- Erro padrão

- $s_{\bar{p}} = \sqrt{\left(\frac{1}{m} - \frac{1}{M}\right) s_e^2 + \frac{1}{M} \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) s_w^2}$

Erro Padrão Porcentual e Intervalo de Confiança

Graus de liberdade

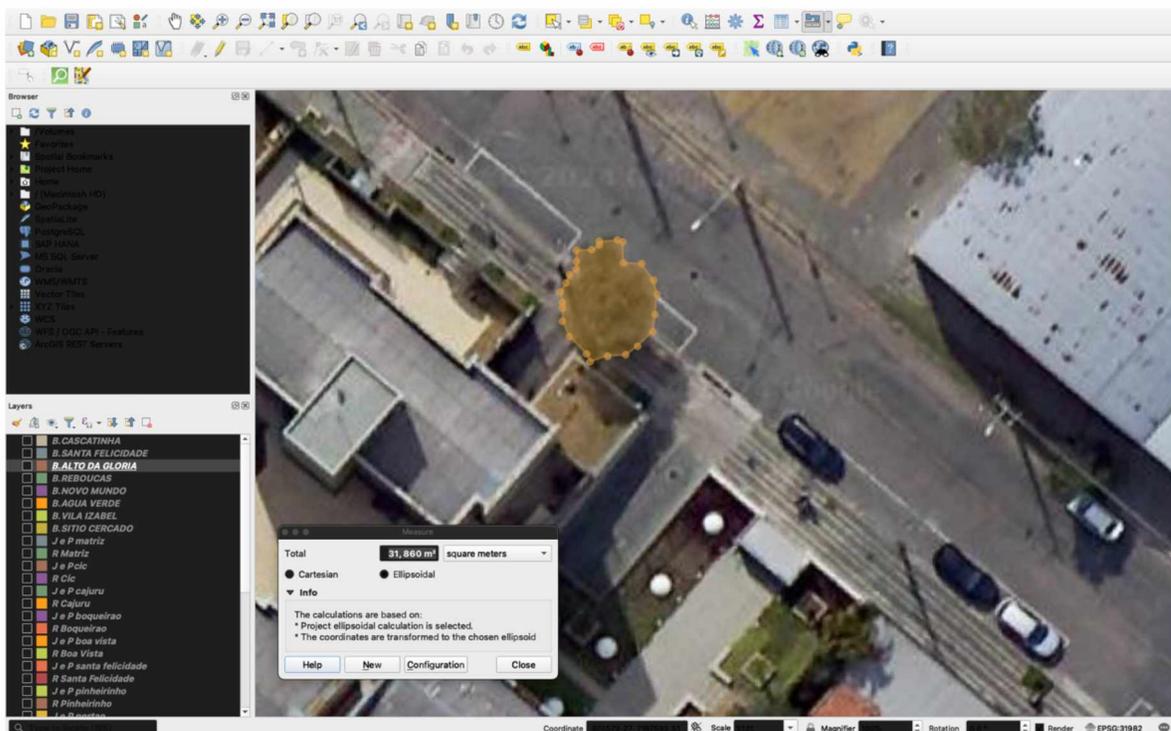
- $g_l = (\bar{n} m) - 1$
- Erro Padrão Porcentual:
  - $s_{\bar{p}}\% = \frac{s_{\bar{p}}}{\hat{p}} 100$
- Intervalo de Confiança:
  - $[\hat{p} - t_{gl} s_{\bar{p}} \leq P \leq \hat{p} + t_{gl} s_{\bar{p}}] = P$

## 4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES

### 4.4.1. Utilização de Imagens de Satélite e QGIS

Inicialmente, foram utilizadas imagens de satélite disponíveis em plataformas públicas para identificar e delimitar as áreas arborizadas. Com o auxílio do software QGIS, conforme ilustrado na FIGURA 3, as áreas de copa das árvores foram digitalmente mapeadas por meio da ferramenta de medição (régua), permitindo a estimativa das áreas cobertas pelas copas das árvores em cada quadra selecionada.

FIGURA 3 - MAPEAMENTO DIGITAL DAS ÁREAS DE COPA DAS ÁRVORES NO QGIS



FONTE: O autor (2024)

As medições feitas com as ferramentas, incluindo o Google Earth Pro, Google Street View (com datas das imagens entre dezembro de 2023 e fevereiro de 2024), e o QGIS, foram efetuadas durante a semana de 19 a 23 de fevereiro de 2024. Em contraste, as medições de campo foram conduzidas no dia 1º de maio do mesmo ano. Essa sequência temporal implica que as medições de campo foram feitas posteriormente às medições digitais, o que pode ter impactado as condições ambientais e sazonais.

Portanto, é crucial considerar essa variação temporal ao interpretar e comparar os resultados obtidos, pois pode haver diferenças significativas nas condições das árvores e do ambiente.

As medições feitas nas ferramentas GSV foram realizadas no bairro Alto da Glória, com coordenadas específicas para cada quadra: Quadra 1:  $25^{\circ}25'02,15''S$  e  $49^{\circ}15'50,95''W$ , Quadra 2:  $25^{\circ}25'06,10''S$  e  $49^{\circ}15'46,63''W$ , e Quadra 3:  $25^{\circ}25'06,65''S$  e  $49^{\circ}15'53,86''W$  (ver Figura 4). Essas localizações foram escolhidas para garantir a representatividade das medições e a confiabilidade dos dados coletados.

FIGURA 4 - QUADRAS AMOSTRADAS DO BAIRRO ALTO DA GLÓRIA



FONTE: O autor (2024)

Para complementar as medições digitais, as medições de campo foram efetuadas com equipamentos específicos: Clinômetro Haglöf Modelo EC II D para medir as alturas das árvores, trenas métricas para medir os diâmetros das copas em duas direções perpendiculares, calculando a média das medições para maior exatidão, e fitas para medir as circunferências das árvores, que posteriormente foram usadas para calcular os diâmetros (ver FIGURA 5). Essas técnicas asseguraram a qualidade dos dados de

campo, permitindo uma comparação detalhada com os dados obtidos por meio das ferramentas digitais.

FIGURA 5 A - CLINÓMETRO HAGLÖF MODELO EC II D: B: TRENA MÉTRICA



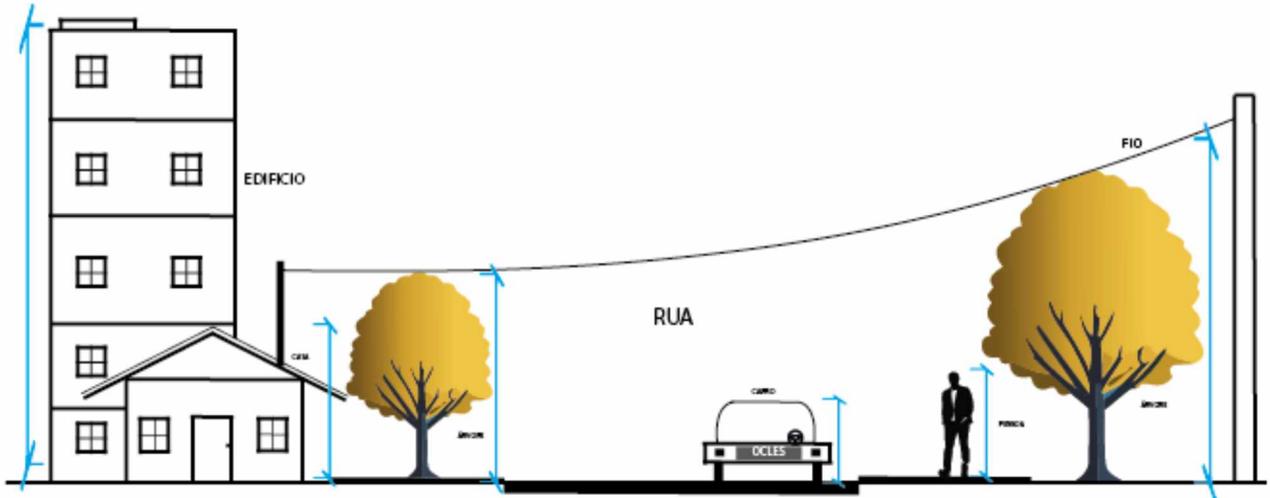
FONTE: O autor (2024)

Essa contextualização temporal é fundamental para garantir uma análise confiável dos dados de medição. As coordenadas exatas para cada quadra e a utilização de ferramentas digitais e medições de campo permitem uma análise detalhada e comparativa das condições das árvores e do ambiente. A consideração das variações temporais e sazonais entre as diferentes fases de medição é essencial para uma interpretação fidedigna dos resultados, garantindo a integridade do estudo.

#### 4.4.2. Medições no Google Earth Pro e Google Street View:

Para complementar as informações obtidas a partir das imagens de satélite, foram efetuadas medições detalhadas no Google Earth Pro, utilizando a função Google Street View. Essa abordagem permitiu obter medidas acuradas de variáveis das árvores, como altura total e diâmetro à altura do peito (DAP). Referências visuais, como prédios, semáforos e postes de luz, foram usadas para estimar essas variáveis com exatidão (ver FIGURA 6).

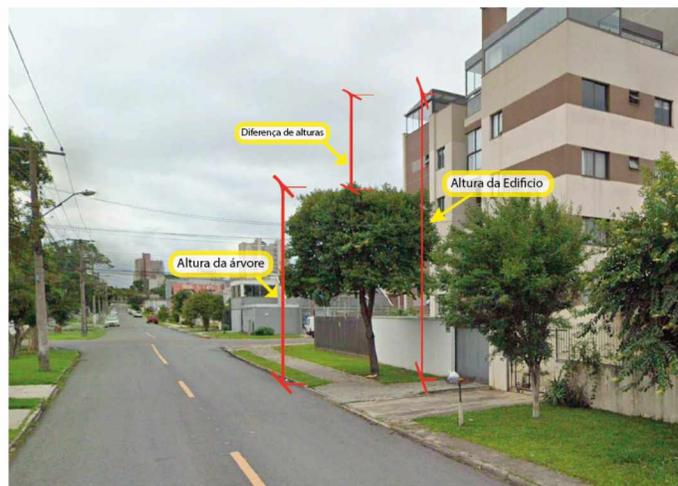
FIGURA 6 - REFERÊNCIAS VISUAIS NA RUA PARA MENSURAÇÃO DAS ALTURAS DAS ÁRVORES



Fonte: O autor (2024)

Prédios e casas foram utilizados como referências visuais para medições no Google Street View. As alturas conhecidas dos edifícios e casas forneceram pontos de referência confiáveis para estimar a altura total das árvores. Por exemplo, a comparação da altura de uma árvore com um prédio de cinco andares permitiu uma estimativa mais acurada (ver FIGURA 7).

FIGURA 7 - EDIFICAÇÕES COMO REFERÊNCIAS VISUAIS

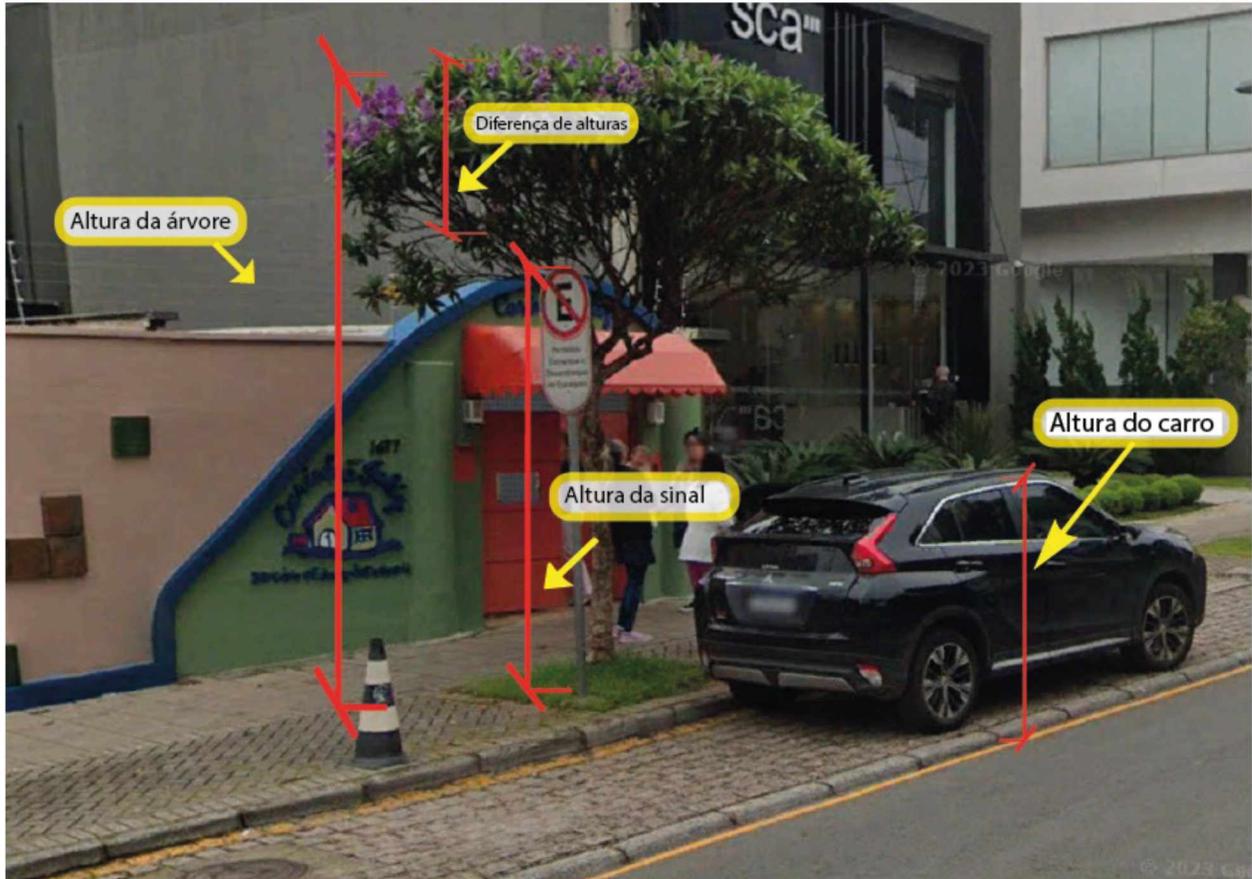


FONTE: O autor (2024)

Paradas de ônibus e semáforos também foram usadas como pontos de referência. As paradas de ônibus, com suas estruturas padrão e os semáforos com alturas

conhecidas, forneceram mais pontos de comparação. Isso foi particularmente útil em áreas urbanas densas, onde esses elementos são comuns e visíveis (ver FIGURA 8).

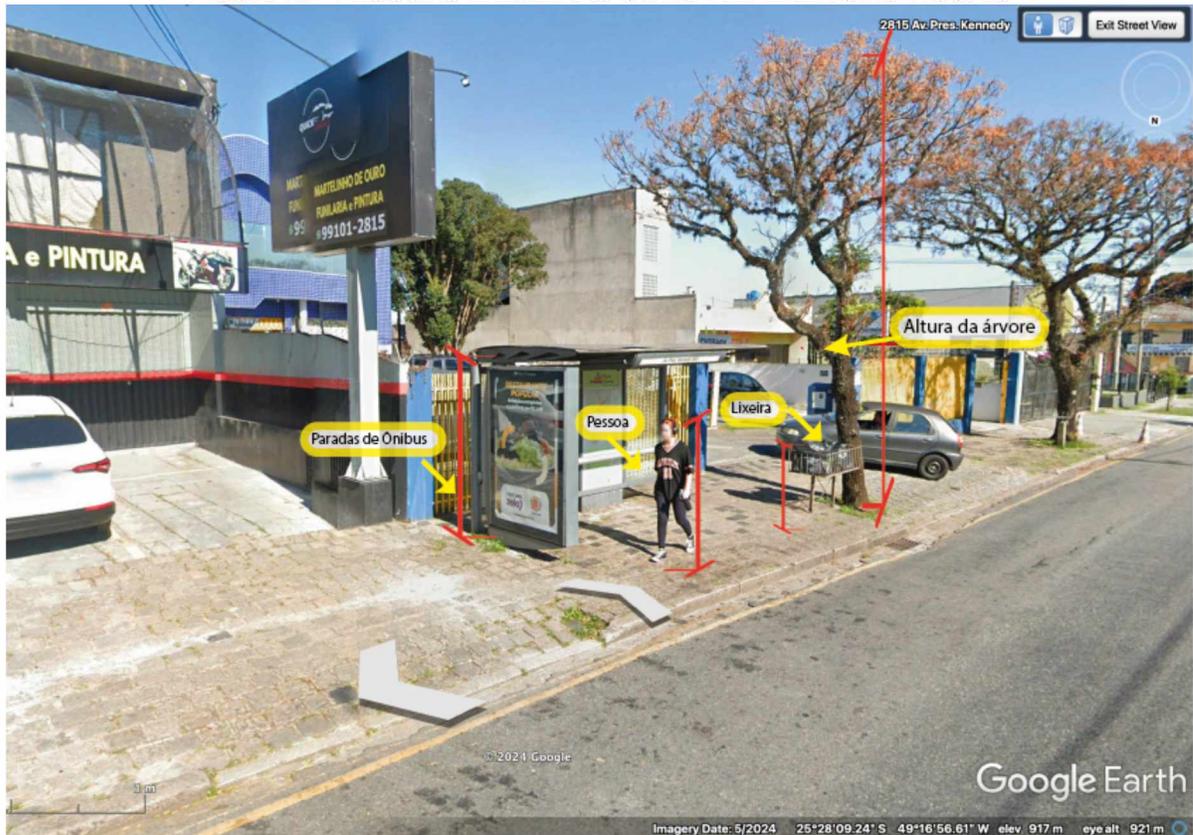
FIGURA 8 - SINAIS DE TRÂNSITO COMO REFERÊNCIAS VISAIIS



FONTE: O autor (2024)

Além disso, pessoas e lixeiras foram referências valiosas para as medições. A altura média das pessoas capturadas no Google Street View foi usada para estimar a altura das árvores próximas. As lixeiras e contêineres de lixo, com suas dimensões padronizadas, também serviram como comparativos para determinar o DAP e a altura das árvores com maior precisão (ver FIGURA 9).

FIGURA 9 - PESSOAS E LIXEIRAS COMO REFERÊNCIAS VISUAIS



FONTE: O autor (2024)

#### 4.4.3. Análise de Dados e Interpretação:

Após a coleta de dados, todas as informações foram organizadas e analisadas de forma integrada. As áreas de copa das árvores foram quantificadas e comparadas com os dados de medição obtidos em campo. As variáveis das árvores, como altura total e DAP, foram analisadas estatisticamente para identificar padrões e tendências na distribuição e na estrutura da arborização urbana em Curitiba.

#### 4.4.4. Validação dos Dados:

Para assegurar a acuracidade dos dados coletados, foram conduzidas verificações de campo em uma amostra representativa das áreas mapeadas. Essa validação em campo permitiu aferir a exatidão das estimativas obtidas pelas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, assegurando a confiabilidade dos resultados. Inicialmente, foram apresentadas estatísticas descritivas de cada variável, tanto medidas em campo quanto nos softwares. Ademais, foram aplicados testes  $t$  às variáveis para avaliar sua consistência.

Também foram tomadas medidas e elaborados gráficos de concordância. O Coeficiente de Concordância (A), uma medida proposta por Robinson (1957), foi utilizado para avaliar o nível de concordância entre as variáveis. Esta medida varia de 0 (sem concordância) a 1 (concordância perfeita) e é calculada pela fórmula (1):

$$A = 1 - \frac{\sum(y_i - k_i)^2 + \sum(x_i - k_i)^2}{\sum(y_i - k)^2 + \sum(x_i - k)^2} \quad (1)$$

Em que:

$A$  é o Coeficiente de Concordância;

$k_i$  é a média de  $y_i$  e  $x_i$  para a árvore  $i$ ;

$y_i$  é a área da copa, DAP e altura da amostragem para a árvore  $i$ ;

$x_i$  é a área da copa, DAP e altura estimados pelos softwares QGIS e GSV para a árvore  $i$ ;

$n$  é o número de observações.

A Medida de Concordância ( $\rho$ ), proposta por Mielke (1984), pode ser expressa de duas formas equivalentes (Equações 2 e 4) para métodos de mínimos quadrados, que minimizam a soma dos erros quadráticos (HUANG et al., 2019). Os valores de  $\rho$  variam de -1 a 1. Quando  $\rho = 1$ , todos os valores de  $y_i$  e  $x_i$  estão sobre a linha de  $45^\circ$  que passa pela origem (concordância perfeita), enquanto  $\rho = -1$  implica que todos os valores de  $y_i$  e  $x_i$  estão sobre a linha perpendicular à linha de  $45^\circ$  (discordância perfeita) (HUANG et al., 2019).

$$\rho = 1 - \frac{\delta}{\mu_\delta} = 1 - \frac{MSE}{\frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (2)$$

$$\rho = 1 - \frac{\delta}{\mu_\delta} = 1 - \frac{MSE}{S_y^2 + S_x^2 + (\bar{y} - \bar{x})^2} \quad (3)$$

$$MSE = \frac{\sum(y_i - x_i)^2}{n}$$

$$S_y^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n} \quad (1)$$

$$S_x^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (2)$$

Em que:

$\rho$  é a Medida de concordância;

$MSE$  é o erro quadrático médio;

$S_y^2$  é a variância de  $y$ ;

$S_x^2$  é a variância de  $x$ ;

$y_i$  é a área da copa, DAP e altura da amostragem para a árvore  $i$ ;

$x_i$  é a área da copa, DAP e altura estimados pelos softwares QGIS e GSV para as árvores  $i$ ;

$\bar{y}$  é a média de  $y$ ;

$\bar{x}$  é a média de  $x$ ;

$n$  é o número de observações.

Duveiller et al. (2016) modificaram a medida de concordância proposta por Mielke (1984) e propuseram uma medida denominada Parâmetro de Concordância ( $\lambda$ ) (6). Este parâmetro varia de 0 a 1, onde  $\lambda = 1$  indica uma concordância perfeita e  $\lambda = 0$  indica ausência de concordância.

$$\lambda = 1 - \frac{\sum(y_i - x_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2 + \sum(x_i - \bar{x})^2 + n(\bar{y} - \bar{x})^2 + k} \quad (6)$$

$$k = 2 \left| \sum(y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x}) \right|$$

Em que:

$\lambda$  é o Parâmetro de Concordância;

$y_i$  é a área da copa, DAP e altura da amostragem para a árvore  $i$ ;

$x_i$  é a área da copa, DAP e altura estimados pelos softwares QGIS e GSV para as árvores  $i$ ;

$\bar{y}$  é a média de  $y$ ;

$\bar{x}$  é a média de  $x$ ;

$n$  é o número de observações.

As estimativas da área da copa, DAP e altura fornecidas pelos softwares QGIS e GSV para as árvores foram também avaliadas por meio da análise gráfica de Bland-Altman (BLAND E ALTMAN, 1986). Esta análise fornece quantificação clara e abrangente do viés, sendo a técnica analítica mais comumente utilizada para estudos de concordância (HUANG et al., 2019).

Para a elaboração do Gráfico de Concordância de Bland-Altman no software R, foi empregado o pacote "*blandr*" e a função *blandr.draw*.

No gráfico de dispersão de Bland-Altman, é possível visualizar o viés e o erro, além de identificar outliers e tendências. A linha central (LC) do gráfico representa a média das diferenças entre as duas variáveis, conforme expressão (9). Os limites inferior (LI) e superior (LS) são determinados pelas expressões (10) e (11), respectivamente.

$$LC = \bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (9)$$

$$LI = \bar{D} - t_{(n-1; 1-\frac{\alpha}{2})} \frac{S_D}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

$$LS = \bar{D} + t_{(n-1; 1-\frac{\alpha}{2})} \frac{S_D}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

$$S_D = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}}{n-1} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n ((x_i - y_i) - \bar{D})^2}}{n-1} \quad (12)$$

Em que:

$LC$  é o limite central;

$\bar{D}$  é a diferença média;

$y_i$  são as áreas da copa, DAP e altura da amostragem para a árvore  $i$ ;

$x_i$  são as áreas da copa, DAP e altura estimados pelos softwares QGIS e GSV para as árvores  $i$ ;

$\bar{y}$  é a média de  $y$ ;

$\bar{x}$  é a média de  $x$ ;

$n$  é o número de observações;

$LI$  é o limite inferior;

$LS$  é o limite superior;

$S_D$  é o desvio padrão das diferenças;

$t_{(n-1; 1-\frac{\alpha}{2})}$  é o quantil de uma distribuição t-Student.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. COMPARAÇÃO DA OBTENÇÃO CAMPO VS. GOOGLE IMAGENS

A TABELA 2 apresenta as estimativas de cobertura arbórea obtidas em diferentes locais, incluindo os valores de Circunferência à Altura do Peito (CAP), Diâmetro à Altura do Peito (DAP), altura total, diâmetro e área de copa, tanto para medições de campo quanto para aquelas realizadas com o Google Street View (GSV) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Essas variáveis são fundamentais para avaliar a estrutura e extensão da cobertura arbórea nas áreas estudadas, permitindo uma compreensão detalhada das condições das árvores em diferentes ambientes.

TABELA 2 – VARIÁVEIS DA COBERTURA ARBÓREA

| N° | D (cm) |      | H (m) |      | A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> ) |       |
|----|--------|------|-------|------|----------------------------------|-------|
|    | Campo  | GSV  | Campo | GSV  | Campo                            | QGIS  |
| 1  | 0,30   | 0,3  | 4,3   | 5    | 27,06                            | 24,90 |
| 2  | 0,18   | 0,19 | 4,8   | 7    | 34,11                            | 38,14 |
| 3  | 0,50   | 0,2  | 4,0   | 6    | 28,80                            | 19,34 |
| 4  | 0,16   | 0,15 | 4,7   | 5    | 9,95                             | 6,25  |
| 5  | 7,96   | 10   | 5     | 4    | 3,75                             | 9,92  |
| 6  | 25,78  | 22   | 8,1   | 7    | 65,54                            | 68,27 |
| 7  | 36,61  | 30   | 8,6   | 6    | 21,12                            | 27,31 |
| 8  | 8,59   | 8    | 3,7   | 1,33 | 5,43                             | 1,33  |
| 9  | 8,02   | 10   | 3     | 2,5  | 7,31                             | 4,61  |
| 10 | 3,18   | 5    | 2,3   | 2    | 1,54                             | 0,69  |
| 11 | 21,33  | 18   | 5,8   | 4    | 37,18                            | 25,76 |
| 12 | 5,73   | 12   | 2,15  | 1,8  | 2,13                             | 1,90  |
| 13 | 9,23   | 14   | 4,2   | 4    | 10,75                            | 13,54 |
| 14 | 30,56  | 22   | 5     | 4    | 15,62                            | 14,61 |
| 15 | 49,02  | 35   | 3,5   | 3    | 4,03                             | 4,19  |
| 16 | 44,56  | 41   | 8,2   | 9    | 70,96                            | 59,48 |
| 17 | 42,97  | 40   | 12,7  | 10   | 10,99                            | 12,62 |
| 18 | 27,69  | 20,0 | 5,9   | 4    | 43,81                            | 27,13 |
| 19 | 11,20  | 15   | 5,9   | 4    | 15,14                            | 16,84 |
| 20 | 20,37  | 20   | 6,9   | 9    | 9,24                             | 7,16  |
| 21 | 16,23  | 16   | 7     | 7    | 9,95                             | 4,74  |
| 22 | 17,83  | 17   | 7,8   | 7    | 20,35                            | 3,57  |
| 23 | 16,55  | 18   | 5,6   | 6    | 13,46                            | 5,15  |

|    |       |    |     |    |        |       |
|----|-------|----|-----|----|--------|-------|
| 24 | 18,46 | 15 | 4,1 | 4  | 2,27   | 1,45  |
| 25 | 19,10 | 17 | 7,3 | 8  | 7,07   | 5,48  |
| 26 | 13,69 | 15 | 5,2 | 6  | 6,61   | 10,45 |
| 27 | 7,00  | 10 | 4,2 | 3  | 3,94   | 4,63  |
| 28 | 4,14  | 8  | 2,9 | 3  | 4,91   | 4,18  |
| 29 | 16,23 | 20 | 8   | 8  | 11,64  | 13,91 |
| 30 | 37,88 | 22 | 7,6 | 7  | 26,42  | 31,86 |
| 31 | 20,69 | 20 | 8,6 | 9  | 38,48  | 37,68 |
| 32 | 44,25 | 45 | 15  | 13 | 16,62  | 18,48 |
| 33 | 17,83 | 18 | 6,1 | 6  | 24,45  | 15,74 |
| 34 | 18,46 | 16 | 5,5 | 6  | 17,42  | 13,97 |
| 35 | 60,48 | 50 | 8,2 | 9  | 109,73 | 80,79 |

*D*: Diâmetro altura do peito em centímetros; *H* (m): altura total em metros; *A<sub>c</sub>* (m<sup>2</sup>): Área das copas em metros quadrados; Campo: Dados coletados diretamente no campo; GSV: Dados obtidos utilizando imagens do Google Street View; QGIS: Dados obtidos e analisados utilizando o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS.

FONTE: O autor (2024)

Na TABELA 3 estão apresentadas as estatísticas descritivas para as variáveis "Área da copa", "Altura" e "DAP", obtidas tanto em campo quanto por meio de QGIS ou Google Street View (GSV). A tabela inclui informações como média, erro padrão, mediana, moda, desvio padrão, variância amostral, curtose, assimetria, amplitude, valores mínimos e máximos, soma e contagem de observações. Essas estatísticas fornecem um panorama detalhado das características e da distribuição dos dados coletados em diferentes métodos de medição.

TABELA 3 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS VARIÁVEIS MEDIDAS

| Estatística Descritiva | <i>D</i> (cm) |       | <i>H</i> (m) |       | <i>A<sub>c</sub></i> (m <sup>2</sup> ) |       |
|------------------------|---------------|-------|--------------|-------|--|-------|
|                        | Campo         | QGIS  | Campo        | GSV   | Campo                                  | GSV   |
| Média                  | 19,51         | 18,91 | 6,05         | 5,73  | 21,08                                  | 19,57 |
| Desvio Padrão          | 15,49         | 14,08 | 2,70         | 2,64  | 22,77                                  | 19,58 |
| Mínimo                 | 0,16          | 0,15  | 2,15         | 1,33  | 1,54                                   | 1,45  |
| Máximo                 | 60,48         | 60,00 | 15,00        | 13,00 | 109,73                                 | 80,79 |
| Contagem               | 35,00         | 35,00 | 35,00        | 35,00 | 35,00                                  | 35,00 |

*D*: Diâmetro altura do peito em centímetros; *H* (m): altura total em metros; *A<sub>c</sub>* (m<sup>2</sup>): Área das copas em metros quadrados; Campo: Dados coletados diretamente no campo; GSV: Dados obtidos utilizando imagens do Google Street View; QGIS: Dados obtidos e analisados utilizando o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS.

FONTE: O autor (2024)

A TABELA 4 apresenta os resultados do teste *t* de amostras pareadas para diferentes variáveis arbóreas, incluindo a área da copa, altura e Diâmetro à Altura do

Peito (DAP). O teste  $t$  é utilizado para determinar se há diferença estatisticamente significativa entre as médias de duas amostras comparadas. As estatísticas incluídas são as médias, variâncias, número de observações, correlação de Pearson, diferença hipotética das médias, graus de liberdade (GL), estatística  $t$ , valor  $p$  (bicaudal) e o  $t$  crítico bicaudal.

TABELA 4 TESTE DE  $t$  PARA COMPARAÇÃO DE MÉDIAS

| Teste $t$ :<br>Amostras<br>Pareadas para<br>Médias | $D$ (cm) |        | $H$ (m) |       | $A_c$ (m <sup>2</sup> ) |        |
|--|----------|--------|---------|-------|-------------------------|--------|
|  | Campo    | QGIS   | Campo   | GSV   | Campo                   | GSV    |
| Média  | 19,51    | 18,91  | 6,05    | 5,73  | 21,08                   | 19,57  |
| Variância  | 240,07   | 198,23 | 7,31    | 6,95  | 518,58                  | 383,57 |
| Observações  | 35,00    | 35,00  | 35,00   | 35,00 | 35,00                   | 35,00  |
| Correlação de<br>Pearson                           | 0,98     |        | 0,89    |       | 0,98                    |        |
| GL   | 34,00    |        | 34,00   |       | 34,00                   |        |
| Estatística $t$                                    | 1,14     |        | 1,51    |       | 1,62                    |        |
| P(T<=t) bicaudal                                   | 0,13     |        | 0,07    |       | 0,06                    |        |
| $t$ Crítico bicaudal                               | 1,69     |        | 1,69    |       | 1,69                    |        |

$D$ : Diâmetro altura do peito em centímetros;  $H$  (m): altura total em metros;  $A_c$  (m<sup>2</sup>): Área das copas em metros quadrados; Campo: Dados coletados diretamente no campo; GSV: Dados obtidos utilizando imagens do Google Street View; QGIS: Dados obtidos e analisados utilizando o software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS.

FONTE: O autor (2024)

### 5.1.1 Medidas de concordâncias

A TABELA 5 a seguir apresenta as medidas de concordância para três variáveis relacionadas às árvores no estudo: Altura, Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e Área de Copa. Essas medidas são essenciais para avaliar a axatidão e a consistência das mensurações realizadas.

TABELA 5 – MEDIDAS DE CONCORDÂNCIA PARA AS VARIÁVEIS TESTADAS

|                            | $D$  | $H$  | $A_c$ |
|----------------------------|------|------|-------|
| Concordância (A)           | 0,99 | 0,94 | 0,98  |
| Concordância ( $\rho$ )    | 0,98 | 0,88 | 0,96  |
| Concordância ( $\lambda$ ) | 0,98 | 0,98 | 0,98  |

$D$ : Diâmetro altura do peito;  $H$  (m): altura total;  $A_c$  (m<sup>2</sup>): Área das copas

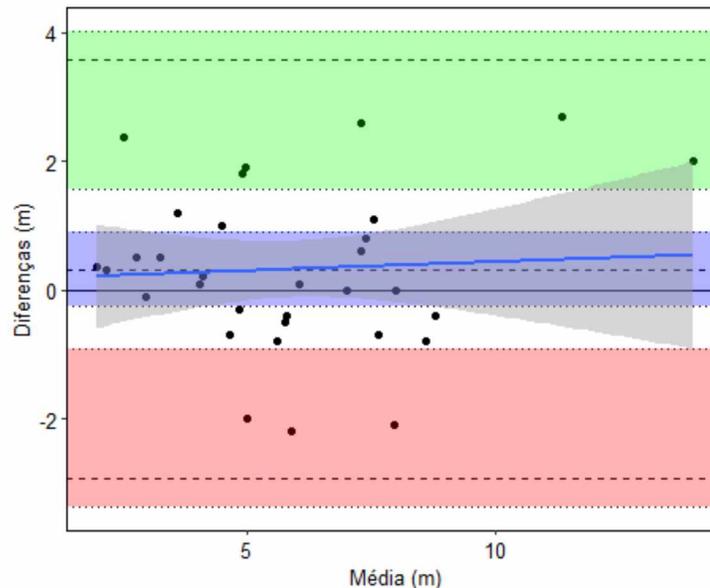
FONTE: O autor (2024)

### 5.1.2 GRÁFICOS DE DISPERSÃO DE BLAND-ALTMAN

Os Gráficos de Dispersão de Bland-Altman são ferramentas essenciais para avaliar a concordância entre dois métodos de medição ou entre medições repetidas. Esses gráficos fornecem uma visualização clara das diferenças entre as medições, permitindo identificar quaisquer desvios sistemáticos e a variabilidade das medições.

O gráfico de Bland-Altman (FIGURA 10) para a altura das árvores mostra boa concordância entre os métodos de medição. A maioria das diferenças está concentrada próximo à linha central, indicando pequenas discrepâncias. As linhas pontilhadas que indicam os limites de concordância demonstram que aproximadamente 95% das diferenças estão dentro do intervalo previsto. As áreas coloridas destacam regiões de maior e menor diferença. A ligeira inclinação da linha central sugere um aumento leve das diferenças com a média das alturas, mas não é estatisticamente significativa.

FIGURA 10 - GRÁFICO DE BLAND-ALTMAN PARA ALTURA (H)



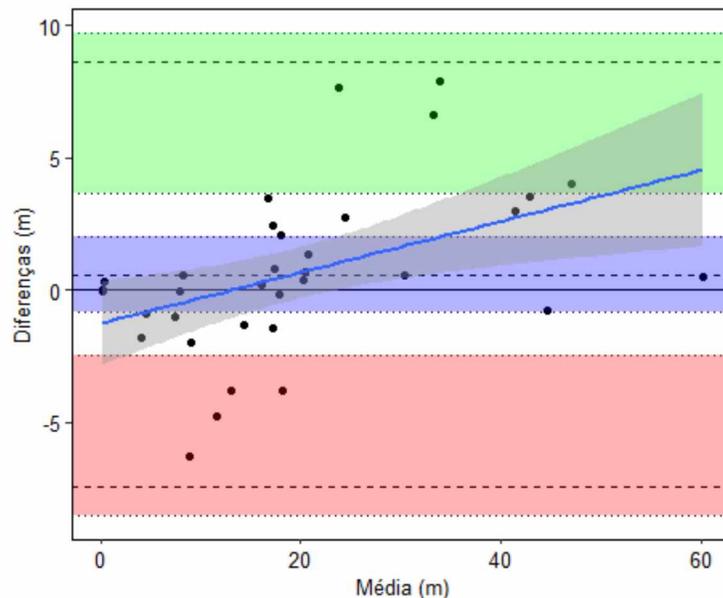
FONTE: O autor (2024)

Alguns outliers indicam variabilidade específica, mas não comprometem a precisão geral, validando a confiabilidade dos métodos de medição.

O gráfico de Bland-Altman (FIGURA 11) para o DAP (diâmetro à altura do peito) das árvores mostra uma boa concordância entre os métodos de medição. A maioria das

diferenças está próxima à linha central, indicando pequenas discrepâncias. As linhas pontilhadas delimitam os limites de concordância, mostrando que cerca de 95% das diferenças estão dentro do intervalo esperado. As áreas coloridas destacam regiões de maior e menor diferença. A linha central tem uma inclinação que sugere um leve aumento das diferenças com a média do DAP, mas não compromete a significância estatística. Alguns outliers indicam variabilidade específica, mas a precisão geral é mantida, validando a confiabilidade dos métodos.

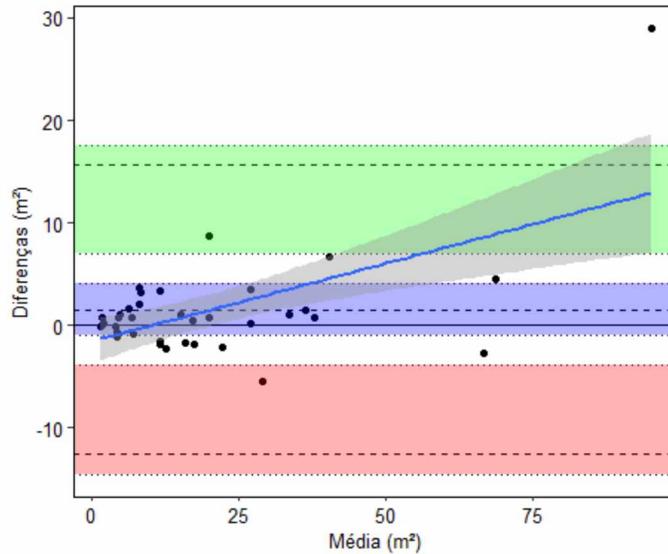
FIGURA 11 - GRÁFICO DE BLAND-ALTMAN PARA DAP



FONTE: O autor (2024)

O gráfico de Bland-Altman (FIGURA 12) para a área de copa das árvores revela boa concordância entre os métodos de medição. A maioria das diferenças está próxima à linha central, indicando pequenas discrepâncias. As linhas pontilhadas representam os limites de concordância, indicando que aproximadamente 95% das diferenças estão dentro do intervalo esperado. As áreas coloridas realçam as regiões com maior ou menor discrepância. A linha central inclinada sugere um leve aumento das diferenças com a média da área de copa, mas essa inclinação é mínima e pode não ser estatisticamente significativa. Alguns outliers indicam variabilidade específica, mas não comprometem a precisão geral, validando a confiabilidade dos métodos de medição.

FIGURA 12 - GRÁFICO DE BLAND-ALTMAN PARA ÁREA DE COPA



FONTE: O autor (2024)

As FIGURAS 10, 11 e 12 de Bland-Altman para altura, DAP e área de copa das árvores demonstram uma boa concordância entre os métodos de medição utilizados. A maioria das diferenças está concentrada próxima à linha central em todos os gráficos, indicando pequenas discrepâncias entre as medições. As linhas pontilhadas, que delimitam os limites de concordância, indicam que cerca de 95% das diferenças estão dentro do intervalo esperado. As áreas coloridas evidenciam as regiões com maior e menor variação, enquanto a leve inclinação das linhas centrais nos gráficos de DAP e área de copa aponta para um discreto aumento das diferenças em relação à média. No entanto, essa inclinação é mínima e não compromete a relevância estatística dos resultados. Alguns outliers indicam variabilidade específica, mas a precisão geral é mantida, validando a confiabilidade dos métodos de medição em todas as variáveis analisadas.

## 5.2. INVENTARIO DE ICA PARA CAPITAL DE CURITIBA

A TABELA 5 apresenta dados detalhados dos bairros urbanos amostrados, incluindo Água Verde, Alto da Glória, Cascatinha, Novo Mundo, Rebouças, Santa Felicidade, Sítio Cercado e Vila Izabel. Esses dados abrangem diversas variáveis relevantes para o cálculo do Índice de Cobertura Urbana (ICA), como a Área das Copas das Árvores ( $\overline{Ac}$ ) medida nas quadras, a Área Total da área amostrada ( $A_c$ ), e os valores ponderados que contribuem para o cálculo do ICA. Além disso, são fornecidas estatísticas resumidas, como média, desvio padrão e coeficiente de variação, para oferecer uma visão abrangente da distribuição e variabilidade dos dados entre os diferentes bairros estudados.

TABELA 5 - TABELA GERAL DOS BAIRROS

| Bairros                 | $TQ$         | $QA$         | $TA$              | $A$           | $\overline{D}$ | $\overline{H}$ | $\overline{Ac}$ | $A_c$           | $ICA\%$     |
|-------------------------|--------------|--------------|-------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Água Verde              | 264,00       | 13,00        | 256.885,02        | 429,00        | 38,13          | 6,09           | 20,69           | 23.777,86       | 9,24        |
| Alto da Glória          | 47,00        | 3,00         | 35.258,58         | 43,00         | 22,61          | 6,09           | 20,69           | 809,83          | 3,39        |
| Cascatinha              | 16,00        | 3,00         | 38.948,32         | 89,00         | 27,12          | 6,27           | 25,86           | 2.471,33        | 5,65        |
| Novo Mundo              | 351,00       | 18,00        | 255.164,64        | 496,00        | 30,65          | 6,74           | 28,00           | 13.389,26       | 5,74        |
| Rebouças                | 130,00       | 7,00         | 105.854,96        | 165,00        | 34,18          | 7,95           | 57,52           | 8.815,91        | 10,87       |
| Santa Felicidade        | 208,00       | 10,00        | 194934,17         | 340,00        | 26,78          | 6,33           | 23,47           | 7.591,89        | 3,93        |
| Sítio Cercado           | 934,00       | 46,00        | 406.968,09        | 820,00        | 29,11          | 6,28           | 16,29           | 15.061,48       | 3,18        |
| Vila Izabel             | 78,00        | 4,00         | 32.524,60         | 66,00         | 37,1           | 8,41           | 54,35           | 3.806,80        | 14,64       |
| $\Sigma$                | 2.028        | 104,00       | 1.326.538,37      | 2448,00       | 245,68         | 54,16          | 246,86          | 75.724,36       | 56,63       |
| $\bar{x}$               | <b>253,5</b> | <b>13,00</b> | <b>16.5817,30</b> | <b>306,00</b> | <b>30,71</b>   | <b>6,77</b>    | <b>30,86</b>    | <b>9.465,54</b> | <b>7,08</b> |
| Desvio Padrão           | 297,58       | 14,34        | 13.6162,46        | 270,01        | 7,11           | 0,90           | 15,90           | 7.665,76        |             |
| Coeficiente de variação | 117,39       | 110,33       | 82,12             | 88,24         | 171,41         | 13,33          | 51,52           | 80,99           |             |

$TQ$  é Total de Quadras,  $QA$  são Quadras Amostradas,  $TA$  é o Total da Área de quadras amostradas ( $m^2$ ),  $A$  é o Total de árvores,  $\overline{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\overline{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\overline{Ac}$  é a Média da Área de copa ( $m^2$ ),  $A_c$  é o Total da Área de copa ( $m^2$ ),  $ICA$  é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

## 5.2.2 Bairros inventariados

### 5.2.2.1 Bairro Água Verde

A TABELA 6 resume as principais características das quadras do Bairro Água Verde para a área e cobertura arbórea.

As estatísticas descritivas mostram que a média da área quadrada por quadra foi de 19.760,39 m<sup>2</sup>, com uma média de 33 árvores por quadra, um diâmetro médio de 38,12 cm, altura média de 8,54 m e uma cobertura arbórea média de 55,75 m<sup>2</sup>. A área de cobertura média foi de 1.829,07 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 9,2%. O desvio padrão e o coeficiente de variação para essas variáveis são apresentados, indicando a variabilidade dos dados coletados.

TABELA 6 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO ÁGUA VERDE

| Q                       | AQ               | A <sub>b</sub> | $\bar{D}$    | $\bar{H}$   | $\bar{Ac}$   | A <sub>c</sub>  | ICA%       |
|-------------------------|------------------|----------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|------------|
| 1                       | 9.524,38         | 11,00          | 47,75        | 8,44        | 51,78        | 569,57          | 5,9        |
| 2                       | 13.285,26        | 18,00          | 45,75        | 10,88       | 85,64        | 1.541,53        | 11,6       |
| 3                       | 27.132,89        | 25,00          | 34,33        | 7,54        | 51,07        | 1.276,82        | 4,7        |
| 4                       | 13.901,64        | 24,00          | 34,82        | 9,14        | 49,98        | 1.199,46        | 8,6        |
| 5                       | 27.706,80        | 41,00          | 40,67        | 9,19        | 64,27        | 2.635,26        | 9,5        |
| 6                       | 31.152,30        | 53,00          | 36,23        | 8,64        | 67,23        | 3.563,25        | 11,4       |
| 7                       | 17.442,05        | 37,00          | 39,82        | 9,41        | 66,79        | 2.471,11        | 14,1       |
| 8                       | 13.539,75        | 32,00          | 30,87        | 8,50        | 31,36        | 1.003,38        | 7,4        |
| 9                       | 20.280,38        | 31,00          | 43,03        | 9,16        | 90,24        | 2.797,55        | 13,8       |
| 10                      | 13.995,64        | 25,00          | 29,21        | 7,70        | 30,32        | 758,12          | 5,4        |
| 11                      | 27.503,58        | 42,00          | 35,68        | 7,40        | 44,42        | 1.865,80        | 6,8        |
| 12                      | 22.966,27        | 46,00          | 35,46        | 7,68        | 31,55        | 1.451,09        | 6,3        |
| 13                      | 18.454,10        | 44,00          | 42,04        | 7,30        | 60,11        | 2.644,92        | 14,3       |
| Σ                       | 256.885,02       | 429,00         | 495,66       | 110,98      | 724,77       | 23.777,86       | 120        |
| $\bar{x}$               | <b>19.760,39</b> | <b>33,00</b>   | <b>38,13</b> | <b>8,54</b> | <b>55,75</b> | <b>1.829,07</b> | <b>9,2</b> |
| Desvio Padrão           | 6.939,13         | 12,16          | 6,00         | 1,03        | 19,27        | 913,62          | -          |
| Coeficiente de variação | 35,12            | 36,84          | 14,64        | 12,06       | 34,56        | 49,95           | -          |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>b</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{Ac}$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

### 5.2.2.2 Bairro Alto da Glória

A TABELA 7 resume as principais características das quadras do Bairro Alto da Glória para a área e cobertura arbórea.

As estatísticas descritivas indicam que a média da área quadrada foi de 11.752,86 m<sup>2</sup> por quadra, com uma média de 14,33 árvores, um diâmetro médio de 22,61 cm, altura média de 6,09 m e uma cobertura arbórea média de 20,69 m<sup>2</sup>. A área de cobertura média foi de 269,94 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 3,4%. O desvio padrão e o coeficiente de variação para essas variáveis também são apresentados, mostrando a variabilidade dos dados coletados.

TABELA 7 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO ALTO DA GLORIA

| Q                       | AQ               | A <sub>r</sub> | $\bar{D}$    | $\bar{H}$   | $\bar{A}_c$  | A <sub>c</sub> | ICA%       |
|-------------------------|------------------|----------------|--------------|-------------|--------------|----------------|------------|
| 1                       | 11.706,71        | 6,00           | 21,0         | 5,83        | 19,40        | 116,38         | 1,0        |
| 2                       | 4.749,88         | 25,00          | 18,32        | 5,11        | 13,96        | 348,92         | 7,3        |
| 3                       | 18.801,99        | 12,00          | 28,50        | 7,33        | 28,71        | 344,53         | 1,8        |
| Σ                       | 35.258,58        | 43,00          | 67,82        | 18,27       | 62,06        | 809,83         | 10,2       |
| $\bar{x}$               | <b>11.752,86</b> | <b>14,33</b>   | <b>22,61</b> | <b>6,09</b> | <b>20,69</b> | <b>269,94</b>  | <b>3,4</b> |
| Desvio Padrão           | 7.026,17         | 9,71           | 14,33        | 1,14        | 7,46         | 133,01         | -          |
| Coeficiente de variação | 59,78            | 67,76          | 91,40        | 18,65       | 36,06        | 49,27          | -          |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>r</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{A}_c$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

### 5.2.2.3 Cascatinha

A TABELA 8 resume as principais características das quadras do Bairro Cascatinha para a área e cobertura arbórea.

As estatísticas descritivas mostram que a média da área quadrada por quadra foi de 12.982,77 m<sup>2</sup>, com uma média de 89 árvores por quadra, um diâmetro médio de 27,12 cm, altura média de 6,27 m e uma cobertura arbórea média de 55,75 m<sup>2</sup>.

TABELA 8 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO CASCATINHA

| Q                        | AQ               | A            | $\bar{D}$    | $\bar{H}$   | $\bar{Ac}$   | $A_c$         | ICA%       |
|--------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| 1                        | 15.994,83        | 56,00        | 31,34        | 6,97        | 32,83        | 1.838,37      | 11,5       |
| 2                        | 10.871,06        | 8,00         | 24,66        | 6,06        | 28,59        | 228,74        | 2,1        |
| 3                        | 12.082,43        | 25,00        | 25,38        | 5,76        | 16,17        | 404,22        | 3,3        |
| $\Sigma$                 | 38.948,32        | 89,00        | 81,38        | 18,80       | 77,59        | 2.471,33      | 16,9       |
| $\bar{x}$                | <b>12.982,77</b> | <b>29,67</b> | <b>27,12</b> | <b>6,27</b> | <b>25,86</b> | <b>823,78</b> | <b>5,6</b> |
| Desvio Padrão            | 2.677,91         | 24,34        | 4,00         | 0,63        | 8,66         | 883,03        |            |
| Coefficiente de variação | 20,63            | 82,04        | 13,53        | 10,08       | 33,48        | 107,19        |            |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>t</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{Ac}$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

A área de cobertura média foi de 823,78 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 5,6%. O desvio padrão e o coeficiente de variação para essas variáveis são apresentados, indicando a variabilidade dos dados coletados.

### 5.2.2.4 Novo Mundo

A TABELA 9 resume as principais características das quadras do Bairro Novo Mundo para a área e cobertura arbórea.

As estatísticas descritivas indicam que a média da área quadrada foi de 14.175,81 m<sup>2</sup> por quadra, com uma média de 27,56 árvores, um diâmetro médio de 30,56 cm, altura média de 6,74 m e uma cobertura arbórea média de 28,00 m<sup>2</sup>.

TABELA 9 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO NOVO MUNDO

| Q                        | AQ               | A            | $\bar{D}$    | $\bar{H}$   | $\bar{Ac}$   | $A_c$         | ICA%       |
|--------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| 1                        | 17.381,02        | 37,00        | 26,58        | 6,56        | 27,74        | 1.026,50      | 5,9        |
| 2                        | 8.412,66         | 13,00        | 45,00        | 8,31        | 38,74        | 503,60        | 6          |
| 3                        | 8.802,88         | 30,00        | 30,41        | 6,47        | 26,65        | 799,58        | 9,1        |
| 4                        | 4.691,67         | 8,00         | 36,80        | 11,78       | 61,98        | 495,81        | 10,6       |
| 5                        | 8.992,62         | 16,00        | 30,10        | 5,69        | 21,14        | 338,16        | 3,8        |
| 6                        | 6.909,47         | 18,00        | 29,06        | 5,94        | 25,35        | 456,31        | 6,6        |
| 7                        | 13.956,80        | 41,00        | 24,45        | 5,80        | 21,19        | 868,61        | 6,2        |
| 8                        | 15.335,30        | 20,00        | 30,53        | 6,48        | 19,31        | 386,17        | 2,5        |
| 9                        | 14.193,42        | 27,00        | 29,86        | 6,30        | 23,07        | 622,82        | 4,4        |
| 10                       | 50.310,18        | 56,00        | 31,66        | 6,68        | 32,15        | 1.800,22      | 3,6        |
| 11                       | 15.645,91        | 27,00        | 24,77        | 5,74        | 24,18        | 652,84        | 4,2        |
| 12                       | 15.885,82        | 57,00        | 35,41        | 6,48        | 30,92        | 1.762,33      | 11,1       |
| 13                       | 10.933,24        | 27,00        | 22,85        | 5,85        | 18,92        | 510,81        | 4,7        |
| 14                       | 9.390,03         | 14,00        | 35,13        | 6,93        | 26,37        | 369,19        | 4          |
| 15                       | 10.400,58        | 24,00        | 22,82        | 6,25        | 21,59        | 518,15        | 5          |
| 16                       | 19.483,55        | 35,00        | 29,96        | 6,16        | 21,82        | 763,82        | 4          |
| 17                       | 13.234,29        | 32,00        | 34,20        | 7,19        | 35,23        | 1.127,25      | 8,5        |
| 18                       | 11.205,21        | 14,00        | 32,23        | 6,68        | 27,65        | 387,09        | 3,4        |
| $\Sigma$                 | 25.5164,64       | 496,00       | 551,81       | 121,28      | 503,98       | 13.389,26     | 103,6      |
| $\bar{x}$                | <b>14.175,81</b> | <b>27,56</b> | <b>30,66</b> | <b>6,74</b> | <b>28,00</b> | <b>743,85</b> | <b>5,8</b> |
| Desvio Padrão            | 9.821,03         | 13,90        | 6,00         | 1,40        | 10,09        | 439,88        |            |
| Coefficiente de variação | 69,28            | 50,44        | 18,01        | 20,83       | 36,02        | 59,14         |            |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>b</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{Ac}$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

A área de cobertura média foi de 743,85 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 5,8%. O desvio padrão e o coeficiente de variação para essas variáveis também são apresentados, mostrando a variabilidade dos dados coletados.

### 5.2.2.5 Rebouças

A TABELA 10 resume as principais características das quadras do Bairro Rebouças para a área e cobertura arbórea.

As estatísticas descritivas indicam que a média da área quadrada foi de 15.122,14 m<sup>2</sup> por quadra, com uma média de 23,57 árvores, um diâmetro médio de 34,18 cm, altura média de 7,95 m e uma cobertura arbórea média de 57,52 m<sup>2</sup>. A área de cobertura média foi de 1.259,42 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 10,9%. O desvio padrão e o coeficiente de variação para essas variáveis também são apresentados, mostrando a variabilidade dos dados coletados.

TABELA 10 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO REBOUÇAS

| Q                       | AQ               | A            | $\bar{D}$    | $\bar{H}$   | $\bar{Ac}$   | $A_c$           | ICA          |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| 1                       | 21.895,50        | 35,00        | 30,20        | 6,52        | 26,85        | 939,71          | 0,043        |
| 2                       | 14.561,78        | 28,00        | 39,61        | 9,20        | 69,22        | 1.938,21        | 0,133        |
| 3                       | 19.325,31        | 27,00        | 36,67        | 8,46        | 74,00        | 1.997,88        | 0,103        |
| 4                       | 14.902,85        | 18,00        | 29,61        | 6,54        | 68,07        | 1.225,34        | 0,082        |
| 5                       | 17.285,51        | 19,00        | 24,42        | 6,21        | 34,94        | 663,85          | 0,038        |
| 6                       | 14.058,12        | 26,00        | 30,08        | 7,38        | 35,47        | 922,26          | 0,067        |
| 7                       | 3.825,91         | 12,00        | 48,67        | 11,33       | 94,05        | 1.128,66        | 0,295        |
| $\Sigma$                | 10.5854,96       | 165,00       | 239,25       | 55,65       | 402,61       | 8.815,91        | 0,761        |
| $\bar{x}$               | <b>15.122,14</b> | <b>23,57</b> | <b>34,18</b> | <b>7,95</b> | <b>57,52</b> | <b>1.259,42</b> | <b>0,109</b> |
| Desvio Padrão           | 5.734,75         | 7,68         | 8,00         | 1,85        | 25,14        | 515,58          |              |
| Coeficiente de variação | 37,92            | 32,57        | 23,72        | 23,33       | 43,71        | 40,94           |              |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>b</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{Ac}$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

### 5.2.2.6 Santa Felicidade

A TABELA 11 resume as principais características das quadras do Bairro Santa Felicidade para a área e cobertura arbórea.

As estatísticas descritivas indicam que a média da área quadrada foi de 19.493,42 m<sup>2</sup> por quadra, com uma média de 34 árvores, um diâmetro médio de 26,78 cm, altura média de 6,33 m e uma cobertura arbórea média de 23,47 m<sup>2</sup>. A área de cobertura média foi de 759,19 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 3,9%. O desvio padrão

e o coeficiente de variação para essas variáveis também são apresentados, mostrando a variabilidade dos dados coletados.

TABELA 11 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO SANTA FELICIDADE

| Q                       | AQ               | A            | $\bar{D}$    | $\bar{H}$   | $\bar{Ac}$   | $A_c$         | ICA%       |
|-------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| 1                       | 14.739,20        | 14,00        | 29,10        | 6,67        | 25,35        | 354,89        | 2,4        |
| 2                       | 9.279,44         | 7,00         | 24,86        | 5,43        | 20,71        | 145,00        | 1,6        |
| 3                       | 15.144,04        | 28,00        | 22,92        | 5,90        | 11,99        | 335,66        | 2,2        |
| 4                       | 15.454,12        | 24,00        | 26,98        | 6,05        | 30,80        | 739,18        | 4,8        |
| 5                       | 8.527,72         | 17,00        | 29,53        | 7,18        | 28,20        | 479,37        | 5,6        |
| 6                       | 16.412,75        | 47,00        | 24,37        | 5,94        | 21,05        | 989,33        | 6          |
| 7                       | 22.098,99        | 37,00        | 23,63        | 6,64        | 14,19        | 525,16        | 2,4        |
| 8                       | 49.013,61        | 93,00        | 27,00        | 5,45        | 16,16        | 1.502,75      | 3,1        |
| 9                       | 30.923,66        | 48,00        | 33,65        | 7,48        | 37,56        | 1.802,65      | 5,8        |
| 10                      | 13.340,64        | 25,00        | 25,80        | 6,61        | 28,72        | 717,91        | 5,4        |
| $\Sigma$                | 194.934,17       | 340,00       | 267,84       | 63,34       | 234,72       | 7591,89       | 39,3       |
| $\bar{x}$               | <b>19.493,42</b> | <b>34,00</b> | <b>26,78</b> | <b>6,33</b> | <b>23,47</b> | <b>759,19</b> | <b>3,9</b> |
| Desvio Padrão           | 12.195,79        | 24,70        | 3,00         | 0,69        | 8,10         | 532,28        | -          |
| Coeficiente de variação | 62,56            | 72,64        | 12,16        | 10,97       | 34,50        | 70,11         | -          |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>t</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{Ac}$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

### 5.2.2.7 Sítio Cercado

A TABELA 12 resume as principais características das quadras do Bairro Sítio Cercado para a área e cobertura arbórea.

As estatísticas descritivas indicam que a média da área quadrada foi de 8.847,13 m<sup>2</sup> por quadra, com uma média de 17,83 árvores, um diâmetro médio de 29,11 cm, altura média de 6,28 m e uma cobertura arbórea média de 16,29 m<sup>2</sup>. A área de cobertura média foi de 327,42 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 3,2%. O desvio padrão e o coeficiente de variação para essas variáveis também são apresentados, mostrando a variabilidade dos dados coletados.

TABELA 12 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO SÍTIO CERCADO

| Q  | AQ        | A     | $\bar{D}$ | $\bar{H}$ | $\bar{Ac}$ | $A_c$    | ICA  |
|----|-----------|-------|-----------|-----------|------------|----------|------|
| 1  | 5.815,53  | 9,00  | 25,00     | 4,44      | 9,12       | 82,09    | 1,4  |
| 2  | 7.809,98  | 3,00  | 19,74     | 5,68      | 12,44      | 385,72   | 4,9  |
| 3  | 18.329,29 | 52,00 | 30,31     | 7,15      | 47,60      | 2.475,05 | 13,5 |
| 4  | 17.415,87 | 31,00 | 38,88     | 6,36      | 15,60      | 483,64   | 2,8  |
| 5  | 11.975,79 | 20,00 | 27,30     | 6,55      | 29,53      | 590,51   | 4,9  |
| 6  | 13.777,84 | 11,00 | 32,22     | 5,82      | 20,10      | 221,15   | 1,6  |
| 7  | 8.539,76  | 21,00 | 39,00     | 6,38      | 30,33      | 636,98   | 7,5  |
| 8  | 9.325,65  | 7,00  | 29,25     | 4,86      | 10,48      | 73,38    | 0,8  |
| 9  | 5.176,31  | 8,00  | 27,29     | 5,38      | 12,62      | 100,93   | 1,9  |
| 10 | 12.032,38 | 39,00 | 24,00     | 7,28      | 12,32      | 480,37   | 4    |
| 11 | 6.485,93  | 10,00 | 99,00     | 35,00     | 63,36      | 633,56   | 9,8  |
| 12 | 17.580,68 | 54,00 | 32,59     | 5,55      | 14,83      | 800,89   | 4,6  |
| 13 | 17.208,23 | 49,00 | 26,08     | 6,08      | 15,39      | 753,87   | 4,4  |
| 14 | 17.206,99 | 26,00 | 31,18     | 6,69      | 23,94      | 622,36   | 3,6  |
| 15 | 4633,28   | 5,00  | 16,00     | 4,40      | 7,39       | 36,95    | 0,8  |
| 16 | 7910,54   | 15,00 | 28,50     | 5,27      | 7,81       | 117,10   | 1,5  |
| 17 | 10189,54  | 34,00 | 22,13     | 6,26      | 15,32      | 520,85   | 5,1  |
| 18 | 5555,94   | 3,00  | 20,50     | 4,33      | 7,70       | 23,10    | 0,4  |
| 19 | 8911,53   | 21,00 | 28,63     | 6,10      | 13,98      | 293,53   | 3,3  |
| 20 | 14366,56  | 52,00 | 29,00     | 5,69      | 17,81      | 926,20   | 6,4  |
| 21 | 11463,24  | 18,00 | 23,00     | 4,81      | 7,91       | 142,38   | 1,2  |
| 22 | 10795,23  | 23,00 | 30,69     | 5,78      | 17,92      | 412,24   | 3,8  |
| 23 | 6629,46   | 9,00  | 20,22     | 5,78      | 15,80      | 142,19   | 2,1  |

|                          |                 |              |              |             |              |               |            |
|--------------------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|------------|
| 24                       | 5476,53         | 12,00        | 18,80        | 4,29        | 4,93         | 59,12         | 1,1        |
| 25                       | 5240,88         | 4,00         | 40,00        | 7,50        | 18,35        | 73,38         | 1,4        |
| 26                       | 5574,75         | 12,00        | 18,50        | 5,13        | 7,24         | 86,88         | 1,6        |
| 27                       | 5845,00         | 11,00        | 19,50        | 4,91        | 7,38         | 81,13         | 1,4        |
| 28                       | 8867,94         | 9,00         | 31,67        | 4,78        | 11,22        | 100,98        | 1,1        |
| 29                       | 7356,15         | 7,00         | 32,00        | 5,30        | 11,29        | 79,06         | 1,1        |
| 30                       | 5740,90         | 10,00        | 24,00        | 4,90        | 12,60        | 126,05        | 2,2        |
| 31                       | 5485,85         | 13,00        | 18,11        | 5,62        | 16,03        | 208,33        | 3,8        |
| 32                       | 4697,50         | 2,00         | 20,50        | 3,83        | 5,90         | 11,80         | 0,3        |
| 33                       | 7.215,23        | 20,00        | 26,50        | 5,05        | 8,69         | 173,80        | 2,4        |
| 34                       | 6.382,53        | 8,00         | 21,50        | 4,44        | 8,96         | 71,72         | 1,1        |
| 35                       | 6.473,43        | 15,00        | 17,57        | 5,20        | 11,65        | 174,82        | 2,7        |
| 36                       | 5.903,42        | 7,00         | 34,50        | 5,21        | 10,95        | 76,63         | 1,3        |
| 37                       | 18.893,74       | 29,00        | 33,69        | 5,93        | 25,51        | 739,71        | 3,9        |
| 38                       | 4.872,22        | 11,00        | 36,71        | 6,27        | 18,57        | 204,24        | 4,2        |
| 39                       | 7.000,23        | 21,00        | 33,43        | 7,00        | 25,54        | 536,35        | 7,7        |
| 40                       | 5.913,66        | 16,00        | 26,30        | 4,81        | 10,17        | 162,70        | 2,8        |
| 41                       | 6.057,06        | 6,00         | 20,00        | 6,33        | 16,07        | 96,44         | 1,6        |
| 42                       | 6.017,34        | 12,00        | 24,67        | 5,67        | 11,66        | 139,91        | 2,3        |
| 43                       | 5.402,38        | 8,00         | 34,71        | 6,38        | 15,31        | 122,46        | 2,3        |
| 44                       | 6.018,96        | 12,00        | 38,38        | 6,17        | 13,70        | 164,44        | 2,7        |
| 45                       | 7.634,72        | 6,00         | 35,50        | 6,50        | 26,76        | 160,56        | 2,1        |
| 46                       | 9.762,14        | 21,00        | 31,94        | 5,85        | 21,71        | 455,97        | 4,7        |
| $\Sigma$                 | 406.968,09      | 820,00       | 1338,99      | 288,70      | 749,47       | 15.061,48     | 146,1      |
| $\bar{x}$                | <b>8.847,13</b> | <b>17,83</b> | <b>29,11</b> | <b>6,28</b> | <b>16,29</b> | <b>327,42</b> | <b>3,2</b> |
| Desvio Padrão            | 4.229,03        | 13,63        | 12,00        | 4,41        | 10,64        | 406,93        |            |
| Coefficiente de variação | 47,80           | 76,47        | 42,64        | 70,32       | 65,28        | 124,28        |            |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>b</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{Ac}$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

### 5.2.2.8 Vila Izabel

A TABELA 13 resume as principais características das quadras do Bairro Vila Izabel para a área e cobertura arbórea.

As de estatísticas descritivas, a média da área quadrada foi de 8.131,15 m<sup>2</sup> por quadra, com uma média de 16,50 árvores, um diâmetro médio de 37,10 cm, altura média de 8,41 m e uma cobertura arbórea média de 54,35 m<sup>2</sup>. A área de cobertura média foi de 951,70 m<sup>2</sup>, com um índice de cobertura arbórea médio de 1,5%. O desvio padrão e o

coeficiente de variação para essas variáveis também são apresentados, indicando a variabilidade dos dados coletados.

TABELA 13 - RESUMO DAS INFORMAÇÕES AMOSTRAIS DO BAIRRO VILA IZABEL

| Q                       | AQ              | A            | $\bar{D}$    | $\bar{H}$   | $\bar{Ac}$   | Ac            | ICA %     |
|-------------------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|-----------|
| 1                       | 16.626,80       | 21,00        | 35,00        | 8,71        | 51,46        | 1.080,60      | 7         |
| 2                       | 5.761,36        | 10,00        | 31,40        | 7,10        | 29,64        | 296,44        | 5         |
| 3                       | 5.888,44        | 21,00        | 38,44        | 8,14        | 74,54        | 1.565,41      | 27        |
| 4                       | 4.248,00        | 14,00        | 43,57        | 9,69        | 61,74        | 864,35        | 20        |
| $\Sigma$                | 32.524,60       | 66,00        | 148,41       | 33,65       | 217,38       | 3.806,80      | 59        |
| $\bar{x}$               | <b>8.131,15</b> | <b>16,50</b> | <b>37,10</b> | <b>8,41</b> | <b>54,35</b> | <b>951,70</b> | <b>15</b> |
| Desvio Padrão           | 5.712,58        | 5,00         | 5,00         | 1,08        | 18,98        | 526,07        |           |
| Coeficiente de variação | 70,26           | 33,01        | 13,97        | 12,89       | 34,93        | 55,28         |           |

Q é Quadra, AQ é Área da Quadra (m<sup>2</sup>), A<sub>t</sub> é o Total de árvores,  $\bar{D}$  é a Média do DAP (cm),  $\bar{H}$  é a Média da Altura Total (m),  $\bar{Ac}$  é a Média da Área de Copa (m<sup>2</sup>), A<sub>c</sub> é o Total da Área de copa (m<sup>2</sup>), ICA é o Índice de Cobertura Arbórea.

FONTE: O autor (2024)

### 5.2.3 Estatísticas da amostragem em dois estágios com unidades primárias e secundárias com tamanhos desiguais

A tabela 14 descreve as estimativas dos principais parâmetros utilizados na análise das unidades primárias e secundárias em um estudo de amostragem. O estudo envolve 75 unidades primárias (UP), correspondentes aos bairros, com uma amostra de 8 unidades. Para as unidades secundárias (US), que são as quadras, a população total é de 13.624, com uma amostra de 104 quadras. A média do número de US por UP na população é de 181,65, enquanto na amostra é de 13.

Para a j-ésima UP, a média populacional é de 7,08 na amostra, com um erro padrão de 1,41 e um erro padrão percentual de 25,63%. A variância da população por US ponderada é de 10,47, e a variância da amostra dentro dos bairros é de 787,77. A variância da média é estimada em 1,98. O intervalo de confiança, com graus de liberdade de 103, sugere que o valor da população está entre 2,7 e 8,27. Estas estimativas dos parâmetros são essenciais para entender a distribuição e a variação das amostras dentro do contexto estudado.

TABELA 14 -ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS UNIDADES AMOSTRADAS PARA O ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA (ICA)

| Parâmetros                                    | População          | Amostra                      |
|---|--------------------|------------------------------|
| Nº de Unidade Primárias UP- Bairros           | $M = 75$           | $m = 8$                      |
| Número de Unidades Secundárias (US) - Quadras | $N = 13624$        | $n = 104$                    |
| Média do Número de US por UP                  | $\bar{N} = 181,65$ | $\bar{n} = 13$               |
| População (P) na j-ésima UP                   |                    | $p = 7,08$                   |
| Média Populacional por UP                     |                    | $\hat{p} = 5,49$             |
| Variância da População por US Ponderada       |                    | $S_e^2 = 10,47$              |
| Variância da Amostra dentro dos Bairros       |                    | $S_w^2 = 787,77$             |
| Variância da Média                            |                    | $s_{\bar{p}}^2 = 1,98$       |
| Erro Padrão                                   |                    | $s_{\bar{p}} = 1,41$         |
| Erro Padrão Porcentual                        |                    | $s_{\bar{p}}\% = 25,63$      |
| Intervalo de Confiança                        |                    | $[2,7 \leq P \leq 8,27] = P$ |
| Graus de Liberdade                            |                    | $g_l = 103$                  |

FONTE: O autor (2024)

## 6. DISCUSSÃO

### 6.1 IMAGENS DE SATÉLITE E QGIS PARA OBTENÇÃO DO ICA

A utilização de imagens de satélite e ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) é essencial para a atualização contínua de dados em ambientes urbanos em constante transformação, permitindo um monitoramento eficaz da evolução da cobertura arbórea ao longo do tempo. Essa abordagem fornece informações cruciais para a gestão urbana e a formulação de políticas públicas que promovam a sustentabilidade e a preservação ambiental. Segundo Aikoh, Homma e Abe (2023), a análise temporal da cobertura arbórea revela as dinâmicas urbanas e suas implicações ambientais, possibilitando uma compreensão mais profunda dos impactos das intervenções humanas e das mudanças climáticas. A integração de tecnologias avançadas, como a segmentação semântica e o uso de imagens do Google Street View, com a gestão ambiental, facilita a tomada de decisões informadas e a implementação de estratégias que visem a resiliência e a saúde dos ecossistemas urbanos, tornando-se um pilar fundamental para a construção de cidades mais verdes e sustentáveis.

A comparação das estimativas dos parâmetros de cobertura arbórea medidos em diferentes locais, tanto em medições de campo quanto utilizando o Google Street View e o QGIS, pode fornecer conhecimentos valiosos sobre a exatidão e confiabilidade das medições realizadas por diferentes métodos. Canetti et al. (2018) destacam que a utilização de imagens de alta resolução permite uma análise mais detalhada da cobertura florestal urbana, possibilitando a identificação de mudanças ao longo do tempo e a avaliação da eficácia das políticas de arborização urbana. Além disso, a integração de diferentes abordagens, como medições diretas e técnicas de sensoriamento remoto, pode enriquecer a análise e fornecer uma base de dados mais robusta para o planejamento urbano sustentável. Essa abordagem multifacetada é essencial para entender a dinâmica das áreas verdes urbanas e suas implicações para a qualidade de vida dos residentes.

Maringá, por exemplo, se destaca com 16,83% da área do município com cobertura arbórea, enquanto Iracemápolis município do estado de São Paulo apresenta apenas 7,48%, sendo menos da metade do valor do índice de cobertura arbórea de Maringá. Piracicaba, por sua vez, apresenta 9,80% de cobertura arbórea, o que indica uma variação significativa entre as cidades (Silva et al., 2011). Essa discrepância ressalta a

importância de utilizar ferramentas como o Google Street View e o QGIS para monitorar e comparar a cobertura arbórea em diferentes contextos urbanos. Canetti et al. (2018) enfatizam que a análise de dados de cobertura arbórea em áreas urbanas não apenas fornece uma visão clara das condições atuais, mas também permite a avaliação das políticas de arborização e seu impacto na qualidade de vida dos residentes, destacando a necessidade de estratégias de gestão que considerem essas variações.

A viabilidade prática da utilização de ferramentas como QGIS e Google Earth Pro para a mensuração do ICA é evidente, especialmente em áreas urbanas onde o acesso físico pode ser limitado. A capacidade de realizar análises espaciais detalhadas e de gerar mapas temáticos a partir de dados obtidos remotamente é uma vantagem que não pode ser subestimada. Além disso, a integração de dados de diferentes fontes pode enriquecer a análise e proporcionar uma visão mais abrangente da cobertura arbórea nas cidades. Segundo Silva et al. (2020), a eficácia das tecnologias de sensoriamento remoto na obtenção de dados ambientais é inegável, destacando a importância de métodos integrados que combinam medições de campo e análises remotas para uma avaliação mais precisa da cobertura arbórea.

A utilização de imagens de satélite e ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) é fundamental para a atualização contínua de dados em um ambiente urbano em constante transformação. Essa abordagem permite um monitoramento eficaz da evolução da cobertura arbórea ao longo do tempo, fornecendo informações cruciais para a gestão urbana e a formulação de políticas públicas que promovam a sustentabilidade e a preservação ambiental. Segundo Pianta et al. (2024), a análise temporal da cobertura arbórea não apenas revela as dinâmicas urbanas, mas também suas implicações ambientais, permitindo uma compreensão mais profunda dos impactos das intervenções humanas e das mudanças climáticas. Essa integração de tecnologias avançadas com a gestão ambiental pode, portanto, facilitar a tomada de decisões informadas e a implementação de estratégias que visem a resiliência e a saúde dos ecossistemas urbanos.

Por fim, a discussão sobre a exatidão e a confiabilidade dos dados obtidos por meio dessas tecnologias deve ser contínua. A validação dos dados coletados com medições de campo é essencial para garantir que as análises realizadas sejam robustas e representativas da realidade. A combinação de diferentes métodos de coleta de dados pode, portanto, ser a chave para uma avaliação mais completa e eficaz do Índice de

Cobertura Arbórea nas áreas urbanas. Como afirmam Costa e Santos (2021), a integração de abordagens qualitativas e quantitativas é fundamental para uma compreensão holística das questões ambientais urbanas.

## 6.2 PROCESSO DE AMOSTRAGEM PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE COBERTURA ARBÓREA (ICA) EM ÁREAS URBANAS

A estrutura hierárquica da cidade de Curitiba apresenta desafios significativos para a realização de um censo de cobertura arbórea, exigindo um sistema de amostragem adaptável à sua complexidade urbana. É fundamental que a amostragem considere as características distintas dos bairros, como densidade populacional e a presença de áreas verdes, para garantir que os dados coletados sejam representativos da realidade urbana. A metodologia deve ser flexível o suficiente para capturar a diversidade da vegetação urbana, conforme enfatizado por Galdino et al. (2022), que destacam a importância de um planejamento adequado na quantificação da cobertura arbórea. Essa abordagem não apenas facilita a coleta de dados, mas também orienta políticas públicas e iniciativas de urbanismo sustentável, promovendo espaços verdes que atendam às necessidades da população e do meio ambiente.

Os resultados obtidos para o Índice de Cobertura Arbórea (ICA) em Curitiba indicam uma média de 5,49%. Esse valor, embora abaixo do ideal, ainda é superior ao registrado em algumas áreas urbanas do Brasil. É importante destacar que essa média não inclui parques e outras áreas verdes, como praças e reservas urbanas, o que poderia elevar significativamente o percentual. Em comparação com outros estudos, Souza (2011) apontou uma cobertura arbórea média de apenas 6,68% em Recife, enquanto Gomes e Queiroz (2011) registraram 7,75% em Birigui, São Paulo. Esses dados sugerem que, apesar das limitações, Curitiba apresenta um desempenho relativamente superior em termos de cobertura arbórea em relação a outras cidades brasileiras.

Os resultados do estimador desenvolvido para o Índice de Cobertura Arbórea (ICA) deve considerar não apenas a eficácia do modelo, mas também sua viabilidade prática. A implementação de um sistema de amostragem que leve em conta as particularidades de cada bairro pode facilitar a coleta de dados e a análise da cobertura arbórea, proporcionando uma visão mais abrangente da arborização urbana. Essa abordagem, como sugerido por Alivio et al. (2023), não apenas otimiza o processo de coleta de

informações, mas também auxilia na formulação de políticas públicas voltadas para a melhoria da qualidade de vida nas cidades, permitindo que as autoridades desenvolvam estratégias mais eficazes para promover a sustentabilidade urbana e aumentar o bem-estar da população.

A comparação do índice de cobertura arbórea de Curitiba, que é de 5,49%, com outras cidades, como São Paulo, Porto Alegre e Belo Horizonte, revela que Curitiba ainda está distante do valor ideal sugerido por Lombardo (1985), que é de 30%. Pereira et al. (2010) calcularam um ICA de 8,02% em Porto Alegre e 12,57% em Belo Horizonte, enquanto São Paulo apresenta um ICA de 12,50%, segundo Locatelli et al. (2018). Embora esses valores sejam superiores ao de Curitiba, ainda estão aquém do ideal. Esses dados ressaltam a importância de um planejamento urbano que considere a arborização como um elemento essencial para a qualidade de vida.

Atualmente, não há um índice específico que defina a área mínima ideal de Índice de Cobertura Arbórea (ICA) por habitante em áreas urbanas. No entanto, diversos estudos apresentam valores que merecem consideração. Cavalheiro e Del Picchia (1992) sugerem que o ideal seria de 12 m<sup>2</sup> de área verde por habitante, enquanto a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU) recomenda um mínimo de 15 m<sup>2</sup> por habitante (SBAU, 1996). Esses valores podem servir como importantes referências para o planejamento de áreas verdes em Curitiba.

A compreensão aprofundada da arborização urbana em Curitiba fornece informações valiosas para orientar decisões e ações futuras no manejo florestal urbano e na conservação da biodiversidade. Nesse contexto, a análise do índice de cobertura arbórea (ICA), que revelou uma média de 5,49% para a cidade, deve ser discutida à luz da metodologia de amostragem utilizada e dos resultados obtidos em nível local, como nos bairros.

A metodologia aplicada, baseada em um sistema de amostragem adaptado à estrutura hierárquica de Curitiba, permitiu uma coleta de dados eficiente e representativa. Essa abordagem possibilitou não apenas o cálculo do ICA médio da cidade, mas também a avaliação detalhada da cobertura arbórea em diferentes bairros. Os resultados indicam que alguns bairros apresentam índices que se enquadram dentro do intervalo de confiança estabelecido, enquanto outros ficaram próximos ou até mesmo abaixo da média geral. Esses achados destacam a desigualdade na distribuição de cobertura arbórea, evidenciando áreas que demandam maior atenção em políticas públicas.

Por exemplo, bairros com cobertura arbórea significativamente inferior à média apontam para a necessidade de intervenções específicas, como o aumento de plantios em vias públicas e áreas subutilizadas. Por outro lado, bairros que se aproximaram ou superaram a média podem servir como referência para boas práticas de arborização urbana.

A análise estatística reforça a robustez dos dados obtidos pelo processo de amostragem, permitindo comparações confiáveis entre bairros e fornecendo subsídios para a formulação de estratégias mais eficazes. Em suma, além de evidenciar a importância da arborização para a qualidade de vida e sustentabilidade ambiental, a metodologia empregada demonstrou ser uma ferramenta poderosa para identificar padrões e orientar ações específicas. Essa abordagem detalhada reforça a necessidade de um planejamento urbano que priorize a arborização como elemento-chave para o desenvolvimento sustentável de Curitiba.

## **7. CONCLUSÕES**

O Índice de Cobertura Arbórea (ICA) em Curitiba foi estimado por meio de um processo de amostragem em dois estágios, adaptado para unidades de tamanhos desiguais. Essa metodologia demonstrou ser eficaz na obtenção de resultados representativos, permitindo identificar diferenças significativas na cobertura arbórea entre os bairros da cidade. A aplicação desse método reforça sua viabilidade para estudos futuros e para subsidiar políticas públicas voltadas ao planejamento e manejo da arborização urbana.

O processo de obtenção das métricas para compor o Índice de Cobertura Arbórea (ICA) foi realizado utilizando imagens de satélite processadas no QGIS e dados do Google Street View, além de incluir variáveis adicionais, como diâmetro e altura das árvores. Essa metodologia demonstrou ser eficaz e pode ser facilmente reproduzida de forma gratuita, tornando-se uma ferramenta acessível para futuras pesquisas e aplicações práticas na arborização urbana.

A correta delimitação das áreas de vegetação, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e a capacitação da equipe de campo são aspectos cruciais para garantir a acuidade e confiabilidade dos dados coletados, impactando diretamente na avaliação da cobertura vegetal arbórea e na qualidade das análises realizadas.

As medidas obtidas por meio de imagens e medições em campo não apresentaram diferenças estatísticas significativas, o que reforça a confiabilidade dos dados coletados.

## 8. REFERÊNCIAS

AIKOH, T., HOMMA, R., & ABE, Y. (2023). Comparando a medição manual convencional do índice de visualização verde com métodos automáticos modernos usando o google street view e a segmentação semântica. **Urban Forestry & Urban Greening**, 80, 127845.

ALBUQUERQUE, R. W. (2018). Métodos de amostragem em estudos de cobertura vegetal urbana. **Revista Brasileira de Engenharia Florestal**, 6(2), 87-95.

ALIVIO, M. B., BEZAK, N., & MIKOŠ, M. (2023). The size distribution metrics and kinetic energy of raindrops above and below an isolated tree canopy in urban environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, 85, 127971.

BATISTA, D. B. Benefits of urban forests for cities: a review of the literature. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 29, p. 14-22, 2018. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.11.009.

BIONDI, D.; SILVA, A.; SANTOS, P. Urban forests: ecosystem services and management. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 133-140, 2015. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.12.009.

CANAVESI, V., et al. (2010). Equipe e recursos necessários para a mensuração de variáveis em estudos de cobertura urbana. **Journal of Urban Forestry**, 25(3), 210-225.

CANETTI, A., GARRASTAZU, M. C., DE MATTOS, P. P., BRAZ, E. M., & NETTO, S. P. (2018). Understanding multi-temporal urban forest cover using high resolution images. **Urban Forestry & Urban Greening**, 29, 106-112.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, Vitória, 1992. Anais. Vitória: CBAU, 1992. p. 29-35.

COSTA, P. E SANTOS, M. (2021). "Integração de Métodos Qualitativos e Quantitativos em Estudos Ambientais Urbanos".

FERREIRA, L. E ALMEIDA, T. (2019). "Monitoramento da Cobertura Arbórea em Ambientes Urbanos: Desafios e Oportunidades".

GALDINO, V. L., CIELO-FILHO, R., CÂMARA, C. D., & COSTA, M. B. (2022). A planning framework to guide the creation of urban green spaces using existing forest fragments in the urban territory: A case study from Foz do Iguaçu, Brazil. *Trees, Forests and People*, 10, 100347.

GOMES, M. F.; QUEIROZ, D. R. E. Avaliação da cobertura vegetal arbórea na cidade de Birigui com emprego de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

LIBÓRIO, A., & SILVA, P. (2018). Geovisualização e geocolaboração do patrimônio histórico de Cabo Frio-RJ. *Revista de Comunicação e Linguagens*, N.56, 73-83.

LIBÓRIO, R. E SILVA, M. (2018). "Análise da Cobertura Vegetal Urbana: Métodos e Tecnologias".

LOCATELLI, M. M., ARANTES, B. L., DA SILVA FILHO, D. F., POLIZEL, J. L., & FRANCO, M. D. A. R. (2018). Panorama atual da cobertura arbórea da cidade de São Paulo. *Revista Labverde*, 9(1), 29-48.

LU, C., et al. (2004). Variáveis estruturais das árvores e sua influência na cobertura vegetal urbana. *Journal of Urban Forestry*, 20(4), 312-325.

MILANO, M. S. Planejamento da arborização urbana: relações entre áreas e ruas arborizadas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., Curitiba, 1990. Anais ... Curitiba: FUPEF, 1990. p. 60-71.

OLIVEIRA, P. et al. Amostragem e coleta de dados para o cálculo do Índice de Cobertura Arbórea em estudos de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 22, n. 4, p. 789-802, 2019.

PEREIRA, C. P.; ROCHA, R. J.; MENGUE, V. P. Comparação de índices e espacialização da cobertura vegetal arbórea dos bairros Centro de duas metrópoles brasileiras: Belo Horizonte e Porto Alegre. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 106-125, 2010.

PIANTA, M., CALBI, M., DAGNINO, D., TURCATO, C., & ROCCOTIELLO, E. (2024). Peri-urban Mediterranean plant communities are shaped by chronic anthropogenic disturbances. *Urban Forestry & Urban Greening*, 95, 128333.

ROLLO, A., et al. (2007). Urban tree canopy assessment: A case study in the city of Campinas, Brazil. *Urban Ecosystems*, 10(4), 459-474.

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, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0112-6>.

SANQUETTA, C. R. et al. Simultaneous estimation as alternative to independent modeling of tree biomass. *Annals of Forest Science*, [s. l.], v. 72, n. 8, p. 1099–1112, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0497-2>.

SANTOS, L. M.; LIMA, F. R. Cálculo do Índice de Cobertura Arbórea em áreas urbanas: metodologia e aplicações. **Revista de Geografia Urbana**, v. 25, n. 3, p. 112-125, 2020.

SBAU – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA. “Carta a Londrina e Ibiporã”. Boletim Informativo, v. 3, n. 5, p. 3, 1996.

SILVA FILHO, D. F., et al. (2005). Análise da cobertura arbórea urbana de Campinas-SP por meio de imagens digitais. **Revista Árvore**, 29(6), 1013-1022.

SILVA, A. B. et al. Importância do Índice de Cobertura Arbórea (ICA) na avaliação ambiental de áreas urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 789-802, 2018.

SILVA, A. B., et al. (2018). Hierarquias espaciais na análise da cobertura vegetal urbana: um estudo de caso em áreas urbanas. **Revista Brasileira de Engenharia Florestal**, 36(2), 123-135.

SILVA, A. B.; SANTOS, C. D.; OLIVEIRA, E. S. (2016). Importância da avaliação das áreas verdes urbanas para o planejamento municipal: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 8(3), 345-359.

SILVA, A., OLIVEIRA, J. E SANTOS, R. (2020). "Sensoriamento Remoto e Análise Espacial: Aplicações em Estudos Ambientais". Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 93-117, 2011.

SILVA, A.; GONÇALVES, P.; LEITE, F. (2005). Estudo sobre a cobertura vegetal urbana. **Revista de Meio Ambiente**, 10(2), 45-58.

SILVA, C. A., DE OLIVEIRA SEBOK, F. G., LIMA, I. C., DA SILVA FILHO, D. F., & POLIZEL, J. L. (2011) O uso do sensoriamento remoto por meio de imagens de satélite de alta resolução para extração de cobertura arbórea intraurbana no interior do Estado de São Paulo. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15, 738-743.

SOUZA, C. D. (2016). Estratégias de manejo e conservação da vegetação urbana: uma revisão da literatura. **Revista de Engenharia Ambiental**, 23(4), 78-92.

SOUZA, C. R. O. O Índice de Cobertura Arbórea como indicador de qualidade ambiental em áreas urbanas. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental**, São Paulo, 2016.

SOUZA, R.; NACHTERGAELE, F.; CARBONI, M. (2010). Arborização urbana: planejamento e manejo.

SOUZA, W. Caracterização da cobertura arbórea dos parques urbanos da cidade de Recife - PE. 100 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Departamento de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

VALLEJO, A. N., RAUMER, H. G. S. V., & EISENBERG, B. (2024). The interplay of land-use and land-ownership as a key for urban greening management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 128442.