

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA**

PEDRO PAULO XAVIER DA COSTA DORAZIO

**GEORREFERENCIAMENTO DE ÁRVORES EM VIAS PÚBLICAS COM IMAGENS
ESFÉRICAS NOS BAIROS JARDIM CIDADE NOVA E RESIDENCIAL
MORUMBI NA CIDADE DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO/MG**

MONTE CARMELO– MG

2022

PEDRO PAULO XAVIER DA COSTA DORAZIO

**GEORREFERENCIAMENTO DE ÁRVORES EM VIAS PÚBLICAS COM IMAGENS
ESFÉRICAS NOS BAIRROS JARDIM CIDADE NOVA E RESIDENCIAL
MORUMBI NA CIDADE DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa

MONTE CARMELO– MG

2022

PEDRO PAULO XAVIER DA COSTA DORAZIO

**GEORREFERENCIAMENTO DE ÁRVORES EM VIAS PÚBLICAS COM IMAGENS
ESFÉRICAS NOS BAIROS JARDIM CIDADE NOVA E RESIDENCIAL
MORUMBI NA CIDADE DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa

Aprovado em 16 de Agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa (UFU)

Prof^ª. Dra. Mirna Karla Amorim da Silva (UFU)

Prof^ª. Dra. Luziane Ribeiro Indjai (UFU)

RESUMO

A arborização urbana contribui para o bem-estar da população urbana, tendo impacto direto no conforto térmico, na melhoria da qualidade do ar, redução da poluição sonora e visual. De forma indireta, a arborização urbana pode contribuir para a melhoria da saúde física e mental da população urbana. Por outro lado, a presença de arborização urbana pode incorrer em acidentes, trazendo riscos para a população, principalmente quando a vegetação está em contato com linhas de transmissão elétrica ou quando não há manejo adequado. Esse manejo adequado da vegetação urbana pode potencializar os benefícios e ainda reduzir os riscos de acidentes. No entanto o manejo adequado só é possível a partir de dados que permitam ao poder público tomar conhecimento da situação atual das árvores presentes nas vias. Várias técnicas podem ser utilizadas para aquisição desses dados e nesse trabalho foi utilizado um sistema de mapeamento móvel terrestre com câmara esférica, nos bairros Jardim Cidade Nova e Residencial Morumbi do município de São Sebastião do Paraíso/MG. Foram georreferenciadas 240 árvores e na comparação com o mapeamento realizado com uma ortofoto de tamanho de pixel aproximado de 5cm, a discrepância entre os dois georreferenciamento foi de 2,461m, o que mostra a viabilidade desse tipo de georreferenciamento.

PALAVRAS-CHAVE: Árvores urbanas, Mapeamento Móvel Terrestre, Imagens Esféricas, Sistema de Informação Geográfica

ABSTRACT

Urban afforestation contributes to the well-being of the urban population, having a direct impact on thermal comfort, improving air quality, reducing noise and visual pollution. Indirectly, urban afforestation can contribute to improving the physical and mental health of the urban population. On the other hand, the presence of urban afforestation can lead to accidents, bringing risks to the population, especially when the vegetation is in contact with electrical transmission lines or when there is no proper management. This proper management of urban vegetation can enhance the benefits and also reduce the risk of accidents. However, proper management is only possible based on data that allow the public authorities to become aware of the current situation of the trees present on the roads. Several techniques can be used to acquire these data and in this work a land mobile mapping system with a spherical camera was used, in the Jardim Cidade Nova and Residencial Morumbi neighborhoods of the municipality of São Sebastião do Paraíso/MG. 240 trees were georeferenced and in comparison with the mapping performed with an orthophoto of approximate pixel size of 5cm, the discrepancy between the two georeferencing was 2.461 m, which shows the feasibility of this type of georeferencing.

KEYWORDS: Urban Trees, Mobile Land Mapping, Spherical Images, Geographic Information System.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo.	14
Figura 2: Base Cartográfica no QGis.	15
Figura 3: Criando Shapefile Eixo das vias e bordo.	16
Figura 4: manipulação das shape.	17
Figura 5: Câmara VIRB 360°.	18
Figura 6: Interface do login no Programa IntSig.	18
Figura 7: Configurações iniciais.	19
Figura 8: Exemplo de vídeo escolhido para georreferenciar as árvores.	20
Figura 9: Legenda do georreferenciamento.	20
Figura 10: Exemplo de seleção do vídeo.	21
Figura 11: Exemplo de identificação de feição (árvore).	21
Figura 12: Exemplo de como centralizar a feição e marcar na Shapefile.	22
Figura 13: Extração das informações do Banco de Dados.	23
Figura 14: Discrepância para o ponto mais próximo.	24
Figura 15: Configuração dos Rótulos no Qgis.	25
Figura 16: Mapa Jardim Cidade Nova.	26
Figura 17: Árvores Georreferenciadas no Bairro Jardim Cidade Nova.	27
Figura 18: Mapa Residencial Morumbi.	28
Figura 19: Árvores Georreferenciadas no bairro Residencial Morumbi.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de códigos e discrepâncias.	33
Tabela 2: Estatística das discrepâncias.	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Aeronave Remotamente Pilotada.
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System.</i>
GPS	<i>Global Positioning System.</i>
HD	<i>High Definition.</i>
IMU	Unidade de Navegação Inercial.
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging.</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
SLAM	<i>Simultaneous Localization and Mapping.</i>
TLS	<i>Terrestrial Laser Scanning.</i>
UTM	<i>Universal Transversa Mercator.</i>
SMMT	Sistema de Mapeamento Móvel Terrestre.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 ARBORIZAÇÃO URBANA	11
3.2 IMAGEAMENTO REMOTO	11
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
4.2 PRODUÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA	15
4.3 GEORREFENCIAMENTO COM IMAGENS ESFÉRICAS	17
5 RESULTADOS	24
6 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
APÊNDICE A: Tabela de códigos e discrepâncias.	33

1 INTRODUÇÃO

A arborização urbana tem papel fundamental na gestão das cidades, uma vez que esta deve estar incluída nos projetos, planos e programas urbanísticos dos municípios; ela colabora não somente nas demandas ambientais, como também contribui diretamente no bem-estar social e na qualidade de vida dos cidadãos (SABADINI JUNIOR, 2017).

A arborização urbana é compreendida por todos os elementos vegetais que integram o cenário ou a paisagem urbana, correspondendo a um dos componentes bióticos mais relevantes das cidades. De maneira técnica, a arborização urbana pode ser dividida em áreas verdes, a exemplo de parques, bosques, praças e jardins; e arborização das vias públicas (COPEL, 2015).

De acordo com Coletto e Müller (2008), planejar a arborização é imprescindível para o desenvolvimento urbano e demanda, sobretudo, a compreensão do cenário existente, por meio de um inventário quali-quantitativo.

Visando a realização do devido levantamento de dados para um inventário da arborização urbana, é possível que este seja efetuado de diversas formas e com diferentes custos. Sistemas que lidam com tecnologia de varredura laser terrestre, levantamento topográfico, levantamento com dispositivos móveis (celular, GPS de navegação), imagens de satélite podem ser utilizados (BORGES; MARIM; RODRIGUES, 2012 apud BARBOSA et al., 2018).

Um Sistema de Mapeamento Móvel Terrestre (SMMT) utiliza uma plataforma móvel com sensores de imageamento e posicionamento embarcados que possibilitam a obtenção de imagens georreferenciadas para aquisição de informações enquanto trafega pelas vias públicas também pode ser utilizado para tal inventário (BARBOSA et al., 2018).

Nesse trabalho, foram utilizados dados de um levantamento terrestre com um SMMT realizado na cidade de São Sebastião do Paraíso-MG, que coletou vídeos de 360 graus das vias da cidade. Com um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi possível, através do trabalho em escritório, assistir aos vídeos e realizar o georreferenciamento das árvores dos bairros Residencial Morumbi e Jardim Cidade Nova e produzir uma base cartográfica para gestão futura desses dados de arborização.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

- Produzir uma base cartográfica de árvores em vias públicas com um Sistema de Mapeamento Móvel Terrestre.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar imagens 360 georreferenciadas para produção de uma base cartográfica de árvores em vias urbanas.
- Comparar o georreferenciamento terrestre com o georreferenciamento aéreo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ARBORIZAÇÃO URBANA

As árvores desempenham papel importante ao longo das redes rodoviárias, isto porque auxiliam na manutenção da qualidade ambiental das estradas, na redução dos poluentes do ar e no ruído das ruas. Além disso, Santos (2001) argumenta que a arborização é imprescindível a qualquer planejamento urbano e possui atribuições extremamente significativas relacionadas a minimização do impacto das chuvas, balanço hídrico, e fomento da qualidade de vida da comunidade. É nesse sentido que o inventário de indivíduos arbóreos se mostra oportuno para a manutenção das vias e segurança dos seus usuários. A qualidade de vida da população na área urbana pode ser melhorada em relação à qualidade do ar e à sensação de bem-estar quando o entorno é arborizado. Pode ocorrer também menor propagação de doenças respiratórias quanto maior for a quantidade de árvores, o que tem impacto direto na economia em investimentos e serviços relacionados à saúde pública. Geralmente o valor imobiliário de áreas estrategicamente arborizadas é maior e o contrário também é verdade. Ou seja, áreas consideradas de risco - à inundação, por exemplo, já foram desmatadas. Esses trechos muitas vezes estão na periferia das cidades e alocam população de baixa renda, mostrando então relação inversa com a arborização.

3.2 IMAGEAMENTO REMOTO

Como métodos convencionais de quantificação e localização de indivíduos arbóreos são caros e dispendiosos (SAFAIE et al., 2021), os avanços nas tecnologias de sensoriamento remoto nas últimas décadas vêm fornecendo maneiras inovadoras de medir, mapear e categorizar árvores em ambiente urbano. Imagens aéreas, dados *Light Detection And Ranging* (LiDAR), *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) ou até mesmo os sistemas móveis de mapeamento (SMMT) têm possibilitado o mapeamento digital de grandes centros urbanos e têm sido utilizados com frequência por pesquisadores para modelagem do ambiente rodoviário uma vez que são capazes de obter informações precisas com segurança e eficiência.

Dados LiDAR e TLS são amplamente difundidos para aquisição de informações sobre vegetação ao longo de vias urbanas (NOVO et al., 2020; SAFAIE et al., 2021; WANG et al., 2019). Embora a precisão espacial dessas metodologias sejam altas (LIANG et al., 2018), elas apresentam limitações quando utilizados em grandes áreas, além do processamento de dados não ser trivial. Nesse contexto, os SMMT são particularmente atrativos devido a sua eficiência e baixo custo. Basicamente, essa tecnologia utiliza uma plataforma móvel com sensores de

imageamento e posicionamento embarcados. A partir desses sensores, é possível a obtenção de imagens georreferenciadas as quais permitem a aquisição de informações necessárias para implementação, melhoria e conservação de ambientes urbanos

Diversas metodologias para detecção de indivíduos arbóreos vêm sendo propostas pela comunidade científica. Contudo, umas das dificuldades para detecção desse tipo de alvo está relacionada com a oclusão por outros objetos, o que inibe a extração automática de árvores a partir de nuvens de pontos geradas por dados LiDAR e/ou TLS, ou por imagens aéreas (NING; TIAN; WANG, 2021). Outro fator não menos importante, apontado por Koeser et al. (2016), é que recursos municipais escassos levam muitos municípios a não subsidiar inventários de árvores urbanas. Como uma alternativa a evitar os altos custos de equipamentos associados a levantamentos TLS e LiDAR, (ROBERTS et al., 2019) menciona que a fotogrametria de curto alcance (SMMT) tem o potencial de se tornar um meio eficiente de inventariar e medir árvores em ambiente urbano. Além disso, os SMMT podem fornecer os dados necessários para a produção de imagens georreferenciadas e, conseqüentemente, a criação e atualização de bancos de dados de forma rápida e econômica.

Os sistemas móveis de mapeamento são uma tecnologia cujo desenvolvimento começou no final da década de 1980 e está em constante crescimento (TOSCHI et al., 2015). Estes sistemas podem ser montados em veículos, mochilas ou barcos, sendo os dois primeiros frequentemente usados em áreas urbanas (KUKKO et al., 2012; BRÉDIF; VALLET; FERRAND, 2015 apud WANG et al, 2019). Um sistema móvel de mapeamento é composto basicamente por dois sistemas principais: o sistema de imageamento e o sistema de navegação. O sistema de imageamento é caracterizado por sensores que incluem câmaras digitais, *laser scanners*, LiDAR e radar, por exemplo. Por sua vez, o sistema de navegação é composto por um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) combinado por uma unidade de navegação inercial (IMU). A IMU são sistemas que fornecem a posição, orientação e altitude do veículo no qual os sensores estão embarcados (GUAN et al., 2016).

Com o intuito de minimizar os custos de um SMMT, muitos desses sistemas são compostos por câmaras não métricas, receptores GNSS de simples frequência e a unidade de medida inercial. Contudo, esse tipo de sistema carece de maior rigor no momento de avaliação da coerência dos dados gerados, uma vez que em áreas urbanas onde a precisão do GNSS/IMU se degrada significativamente, a qualidade dos dados coletados também é prejudicada (JAVANMARDI et al., 2017), uma vez que a precisão dos dados finais está relacionada à precisão da posição e atitude do sensor (QIAN et al., 2016).

O mapeamento e inventário da vegetação é um campo de aplicação importante dos sistemas móveis de mapeamento. Dentre as principais aplicações estão aquelas relacionadas a aquisição de informações da estrutura ou espécie da vegetação, além da geolocalização de indivíduos arbóreos. As árvores geralmente são mapeadas com dispositivos GNSS e, portanto, possuem coordenadas bastante precisas. No entanto, de acordo com Laumer et al. (2020) antes da prevalência dos sistemas GNSS, as árvores eram normalmente referenciadas apenas pelo endereço da rua. No entanto, esse tipo de inventário é inviável em grandes centros urbanos.

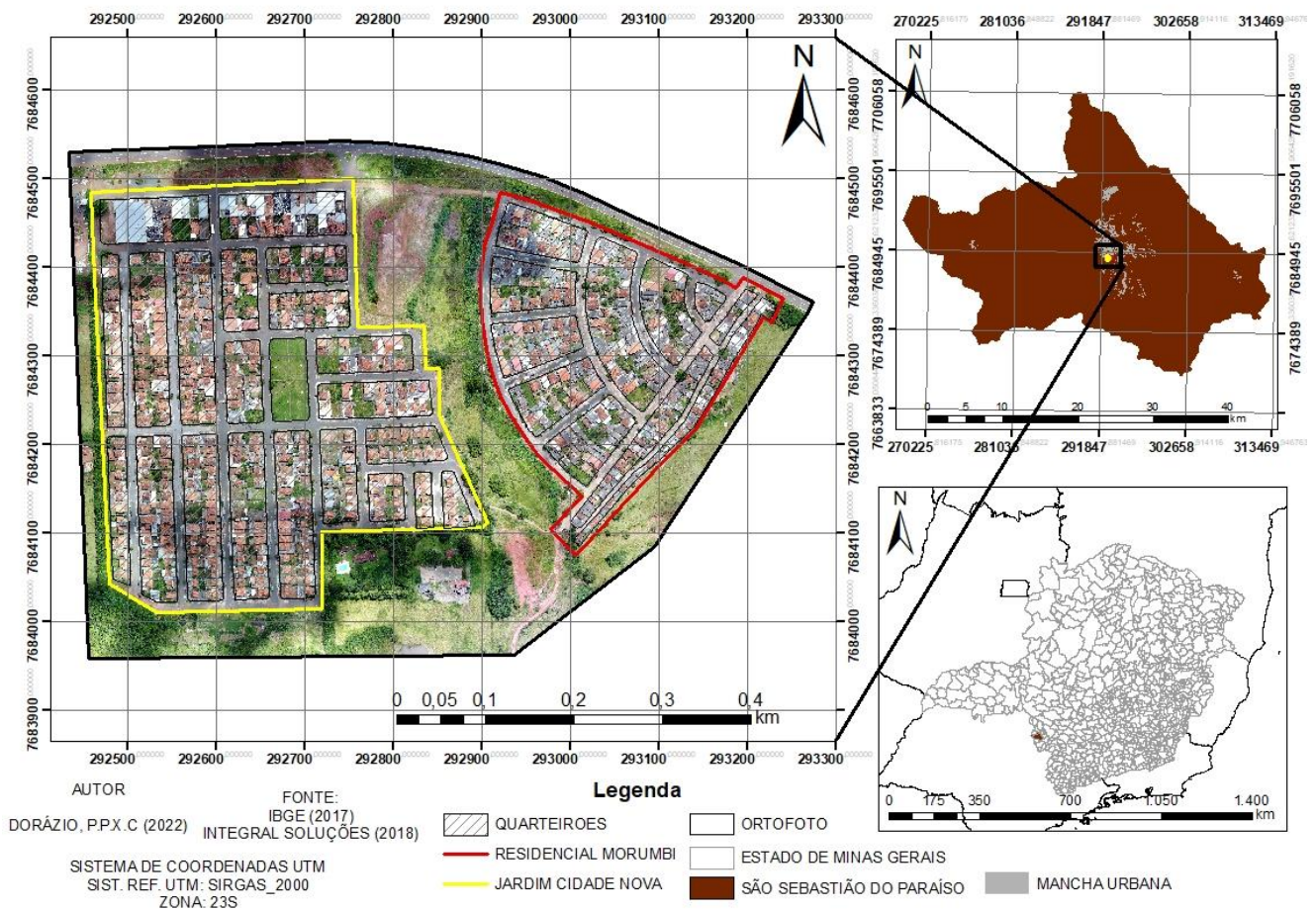
O sensoriamento remoto terrestre, por sua vez, pode ser mais aplicável para o gerenciamento de árvores individuais devido a possibilidade de aquisição de informações em grandes áreas (ROBERTS et al., 2019). Nesse contexto, os SMMT são particularmente atrativos devido a sua eficiência e baixo custo, além de permitirem a obtenção de imagens georreferenciadas que possibilitam a aquisição de informações necessárias para implementação, melhoria e conservação de ambientes urbanos. Diversos trabalhos com o objetivo de geolocalização de árvores podem ser encontrados na literatura. Por exemplo, Fan et al. (2020) propuseram a utilização de um *smartphone* e da metodologia *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) para estimar em tempo real a posição de árvores e corrigir o efeito de deriva para realização de inventários florestais em grandes áreas. Laumer et al. (2020) propuseram uma metodologia para atualização de inventários de árvores mais antigos a partir de imagens panorâmicas no nível da rua. Mais recentemente, Lumnitz et al. (2021) apresentaram um método acessível e rápido para a criação de inventários de árvores a partir de imagens do nível da rua e redes neurais convolucionais para detectar e localizar de árvores nas imagens.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de São Sebastião do Paraíso está localizado na região sudoeste do estado de Minas Gerais (Figura 1), tem área de aproximadamente 814,9 Km², está a uma altitude média de 973m acima do nível do mar e apresenta coordenadas geográficas 20° 55' 2" S e 46° 59' 29" O. De acordo com o IBGE a população é de aproximadamente 71.915 habitantes, destes 92% residem na área urbana. Das residências em área urbana, 97,4% têm acesso à saneamento básico, 79,6% estão localizados em vias públicas com arborização e 15,1% estão localizados em vias públicas com infraestrutura adequada (existências de sistema de escoamento de águas pluviais, calçada, pavimentação e guia) (IBGE, 2021).

Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo.



Fonte. O Autor (2022).

As áreas dos bairros Residencial Morumbi e Jardim Cidade Nova foram escolhidas para o projeto pois os dados do levantamento terrestre e aéreo, além do SIG, foram disponibilizados pela empresa Integral Soluções (Integral Soluções, 2022) e ambos os levantamentos foram realizados no mesmo dia em 28 de Fevereiro de 2018.

4.2 PRODUÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

Com a disponibilização da Ortofoto, que foi gerada com imagens obtidas com uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) Phantom 4 Advanced, foram vetorizados os quarteirões, as calçadas, os eixos das ruas e as árvores presentes nas calçadas, com criação das receptivas camadas *shapefiles* (Figura 2), utilizando o *software* QGIS 3.18.2, e para a criação do layout final, foi utilizado o ArcGIS 10.5 (Versão Estudantil).

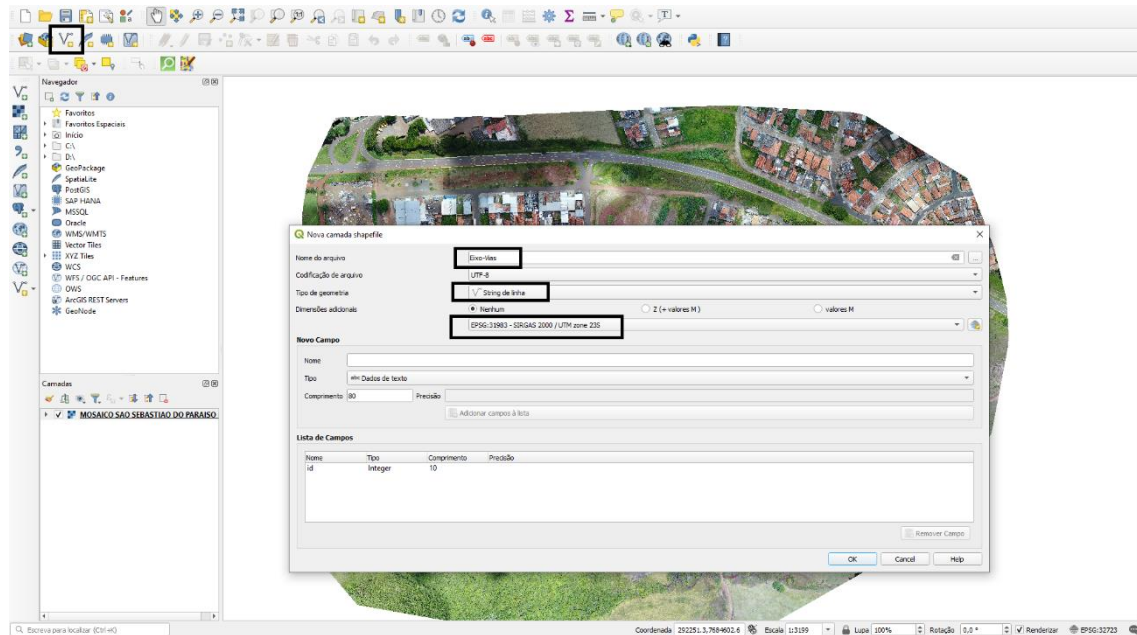
Figura 2: Base Cartográfica no QGis.



Fonte: Autor (2022).

Em seguida, foi criado no QGIS dois *shapefiles* no formato “linha” para criação da camada eixo das vias e bordo (Figura 3), e no formato “polígono” para criação das camadas dos quarteirões, e para a delimitação dos bairros Jardim Cidade Nova e Residencial Morumbi, e uma *shapefile* no formato “ponto” para criação da camada Árvores.

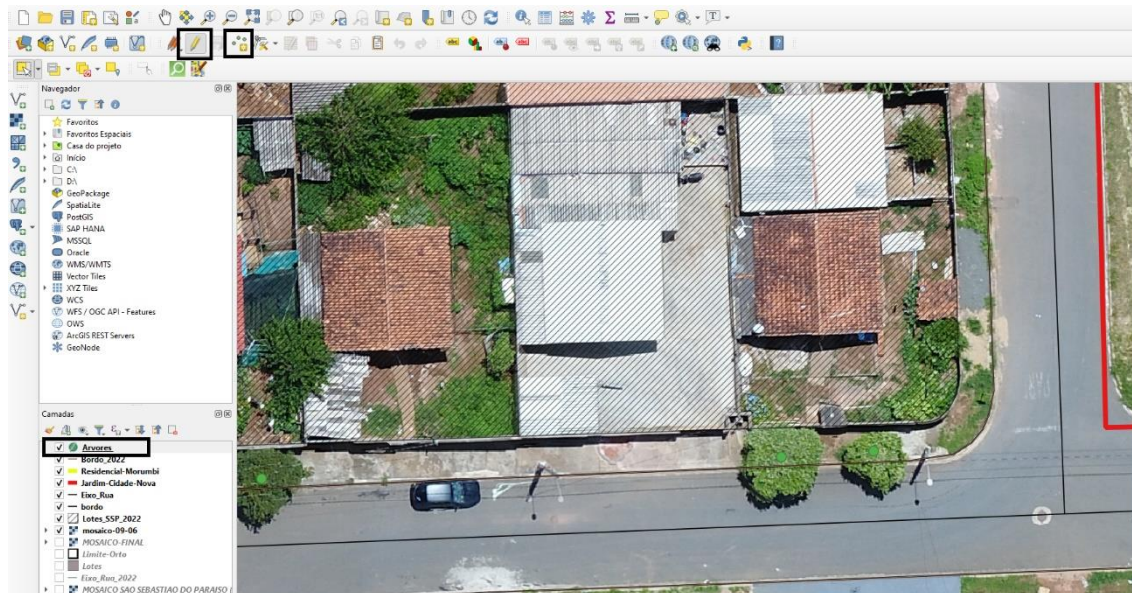
Figura 3: Criando Shapefile Eixo das vias e bordo.



Fonte: Autor (2022).

Feito isso, foi importado para o projeto os *shapefiles* mencionados anteriormente a partir da ferramenta “Adicionar camada vetorial”. Inicialmente, são definidos alguns parâmetros tais como cor do ponto e tipo da linha além de sua espessura no caso da camada eixo das vias, bordo, árvores e limites da área de estudo, no caso dos quarteirões são definidos parâmetros relacionados a cor do polígono e preenchimento. Uma vez que as camadas vetoriais foram carregadas no QGIS, a ferramenta *Toggle Editing* foi utilizada para colocar e alternar entre as camadas no modo de edição (Figura 4). Para adicionar um novo atributo em uma camada vetorial, foi utilizada a ferramenta “Adicionar Ponto”. Por fim, um novo atributo é encerrado a partir de um clique com o botão direito do mouse. Após a edição de um atributo ser encerrado, é aberta uma caixa de diálogo chamada “Atributos” a partir da qual é possível inserir informações sobre a feição recém-criada, por exemplo nome da via, número do lote etc.

Figura 4: manipulação das shape.



Fonte: Autor (2022).

O georrefenciamento das árvores na ortofoto foi realizado para ser a referência na comparação com o georreferenciamento realizado com o mapeamento móvel terrestre.

4.3 GEORREFENCIAMENTO COM IMAGENS ESFÉRICAS

O levantamento terrestre foi realizado com uma unidade de mapeamento móvel terrestre, equipada com uma câmara VIRB 360° (Figura 5) da marca GARMIN e por sistema GNSS/IMU da marca *Xsens*. A integração dos sistemas de posicionamento (GNSS) e atitude (IMU) possibilitam o georreferenciamento de cada um dos frames registrados pela câmara. A câmara VIRB 360° capturou os vídeos a uma taxa de 30 quadros por segundo, no formato MP4 e com resolução de 3840x2160 pixels.

Figura 5: Câmera VIRB 360°



Fonte: (GARMIN, 2022). Acesso em: 20 Out 2021.

O processamento dos dados foi realizado por meio do *software* IntSig, implementado em linguagem C#, em ambiente *Microsoft Visual Studio*, integrando aplicações da biblioteca *DotSpatial* em conjunto com ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG)(Integral Soluções, 2022). Para utilizar o sistema é necessário um login e senha (Figura 6) que foram previamente cadastrados no banco de dados.

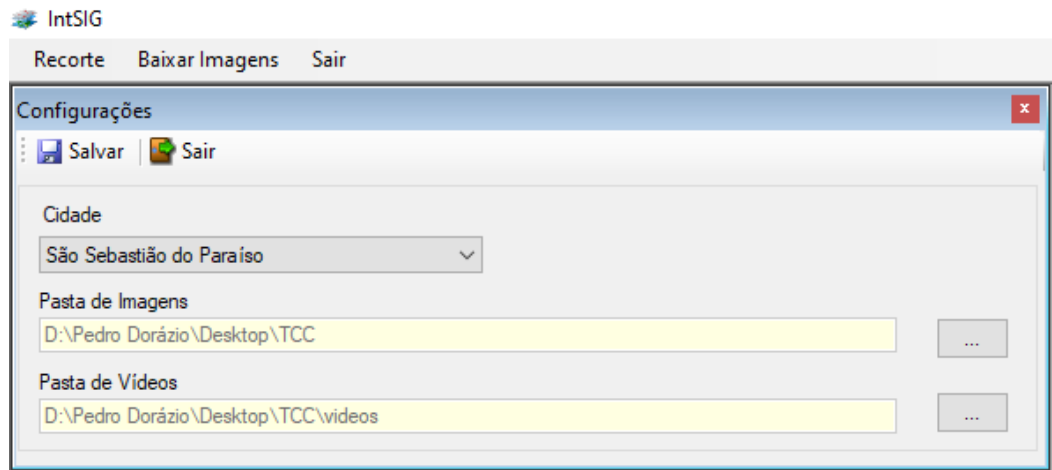
Figura 6: Interface do login no Programa IntSig.



Fonte: Autor (2022).

Feito o login no sistema, é necessário realizar a configuração do ambiente começando com a indicação onde estão armazenados os vídeos (Figura 7).

Figura 7: Configurações iniciais.

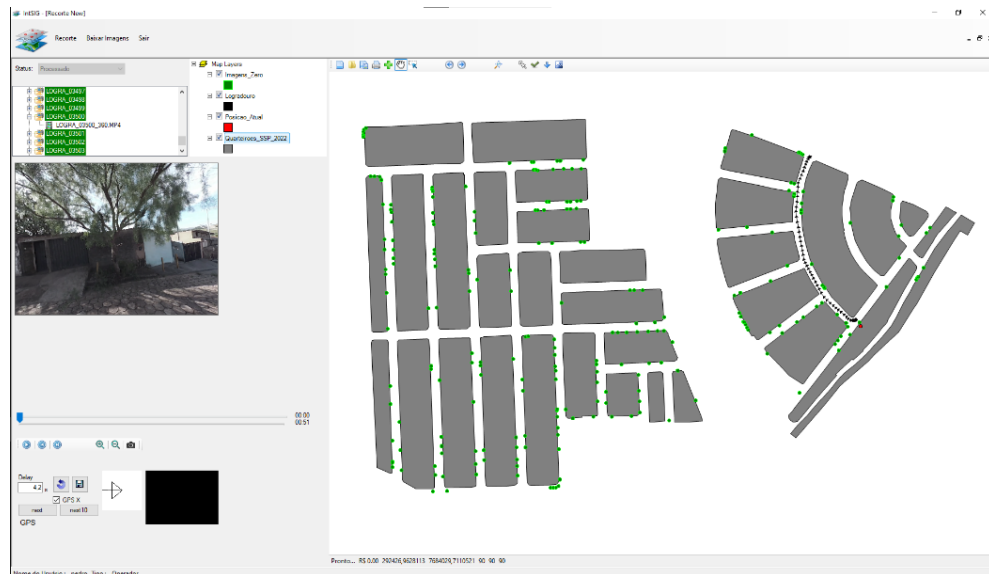


Fonte: Autor.

Os vídeos não são armazenados no Banco de Dados e sim localmente no computador utilizado para este trabalho, essa estratégia foi utilizada para não ser necessário o uso de internet na reprodução do vídeo.

Em seguida é necessário adicionar a camada vetorial das quadras que foram vetorizadas a partir da ortofoto. Ao selecionar uma rua (LOGRA_*) para georreferenciar as árvores o respectivo vídeo é posicionado e as coordenadas da posição do veículo (formato Shp.) também são carregadas no ambiente (Figura 8).

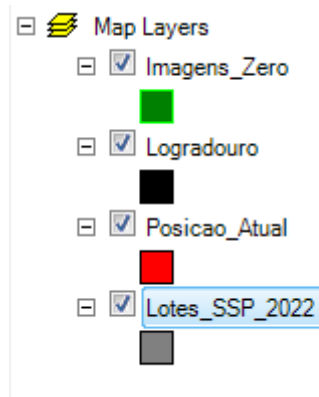
Figura 8: Exemplo de vídeo escolhido para georreferenciar as árvores.



Fonte: Autor (2022).

Após ser adicionado a *shapefile* dos quarteirões, o programa irá mostrar uma legenda, permitindo alteração de cor, para que facilite o georreferenciamento (Figura 9), em que se vê *Imagens_zero*: Árvores Georreferenciadas; *Logradouro*: Rota por onde o carro trafegou capturando os vídeos; *Posição Atual*: Posição atual do carro; *Quarteiroes_SSP_2022*: *Shapefile* referente aos lotes dos bairros Jardim Cidade Nova e Residencial Morumbi no município de São Sebastiao do Paraíso.

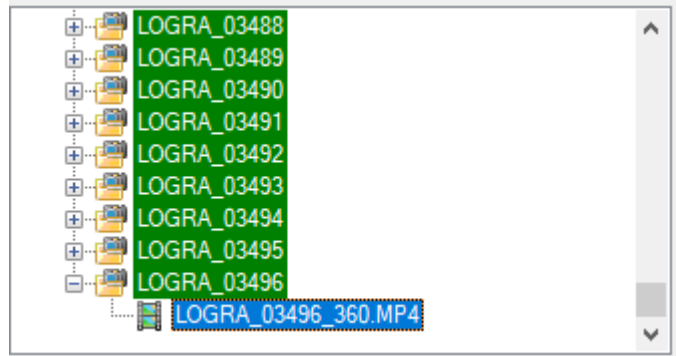
Figura 9: Legenda do georreferenciamento



Fonte: Autor (2022).

Cada rota levantada possui um vídeo, e para iniciar o georreferenciamento, é necessário que o usuário escolha um vídeo (Figura 10).

Figura 10: Exemplo de seleção do vídeo.



Fonte: Autor (2022).

Após selecionar um vídeo e tocar o mesmo, o usuário observa a cena com a câmera sempre fixada no eixo central do carro e ao identificar uma árvore, o vídeo é pausado (Figura 11).

Figura 11: Exemplo de identificação de feição (árvore).



Fonte: Autor (2022).

Como o vídeo é em 360 graus, ele pode ser posicionado de forma perpendicular a árvore, com opções de centralizar, fazer o zoom + ou zoom - além de movimentar em 3D o vídeo. Ao enquadrar a árvore, o usuário clica no ícone da câmera e na shape, para indicar o local onde a

árvore será georreferenciada de forma semiautomática (Figura 12), em seguida, clica no ícone do disquete para salvar as informações: número do vídeo, minuto e segundo do vídeo, o zoom e a inclinação. A posição geográfica onde a fachada do imóvel está localizada é indicada pelo círculo de cor vermelha e a árvore por um círculo de cor verde.

Figura 12: Exemplo de como centralizar a feição e marcar na Shapefile.



Fonte: Autor (2022).

Após o trabalho de georreferenciamento, ou seja, após a visualização de todos os vídeos e georreferenciamento das árvores presentes na cena, uma rotina foi utilizada para gerar imagens das árvores. Essa rotina, acessou o banco de dados, e produziu uma imagem em formato JPG da árvore e no arquivo tem o metadado *Exif* (Latitude e Longitude).

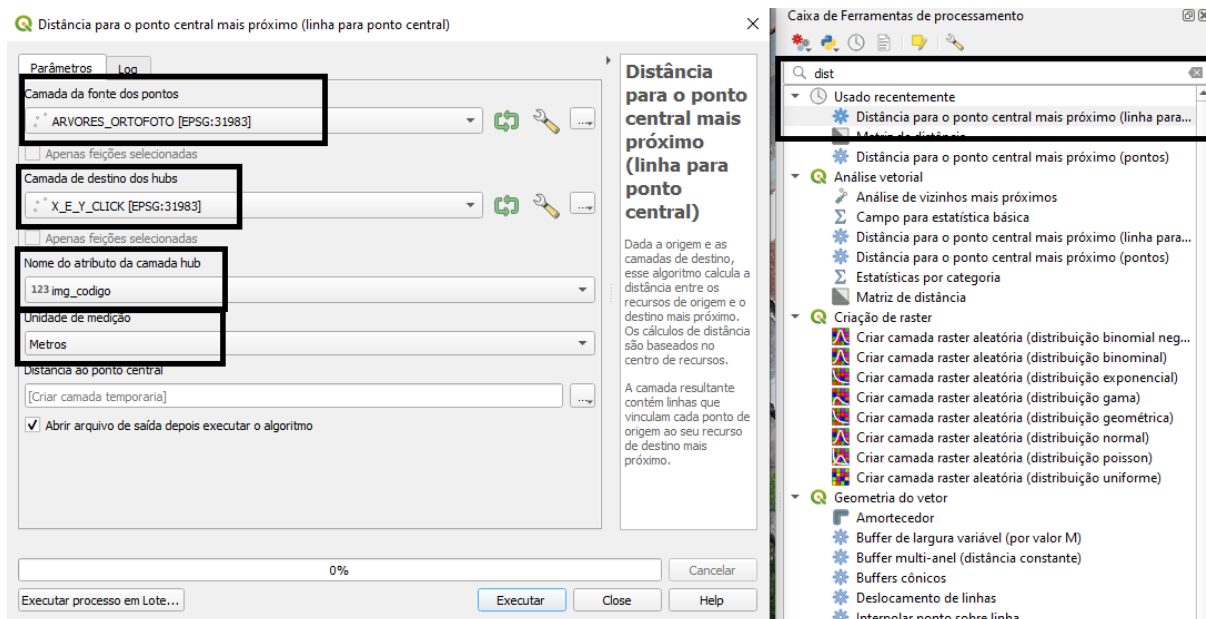
5 RESULTADOS

Para levantar os dois bairros, foram gravados 27 vídeos com tempo total de 22 minutos e 14 segundos, e uma média de 49 segundos.

Foram georreferenciadas 240 árvores e para gerar as imagens de cada árvore, uma rotina é executada no IntSIG, que grava uma imagem no formato JPEG e os dados de latitude e longitude de cada imagem.

Para fazer a comparação entre os dois georreferenciamentos (a base com as árvores vetorizadas com a ortofoto e a base com o georreferenciamento com os vídeos georreferenciados), foi calculada a distância euclidiana (discrepância) entre as duas coordenadas, para estimar a média de erro no georreferenciamento com os vídeos 360.

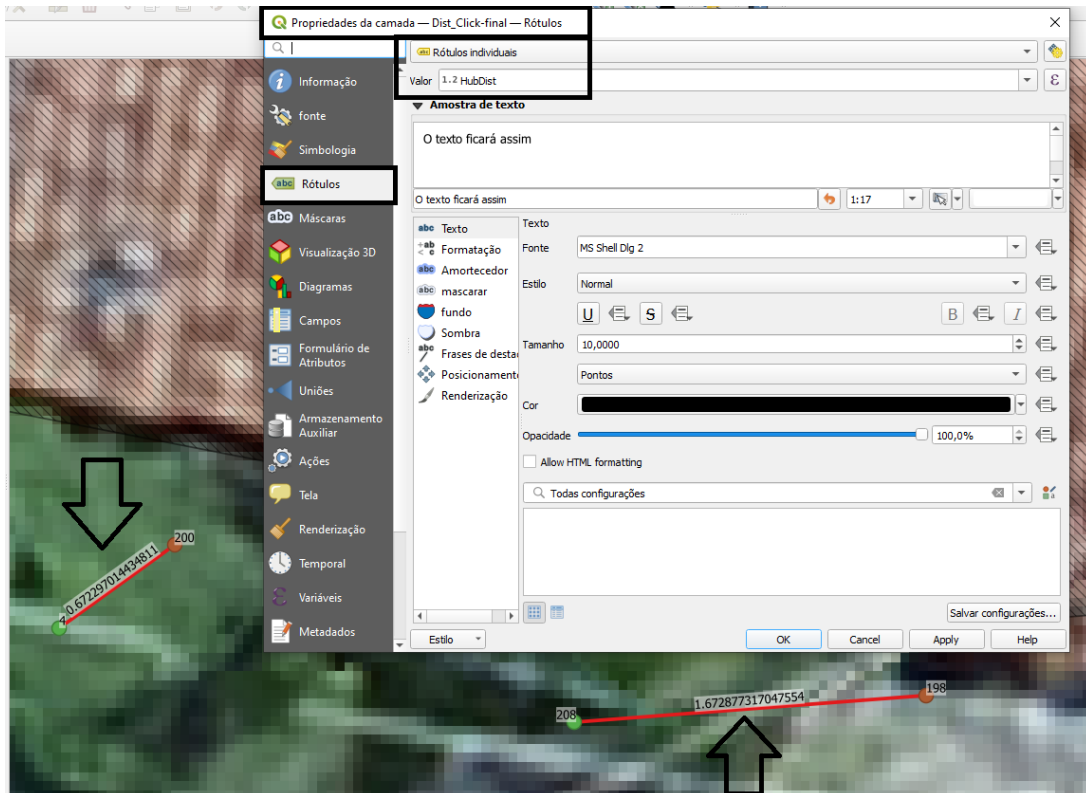
Figura 14: Discrepância para o ponto mais próximo.



Fonte: Autor (2022).

Com todas as discrepância e pontos identificados, o próximo passo foi representá-las no mapa (Figura 15).

Figura 15: Configuração dos Rótulos no Qgis.

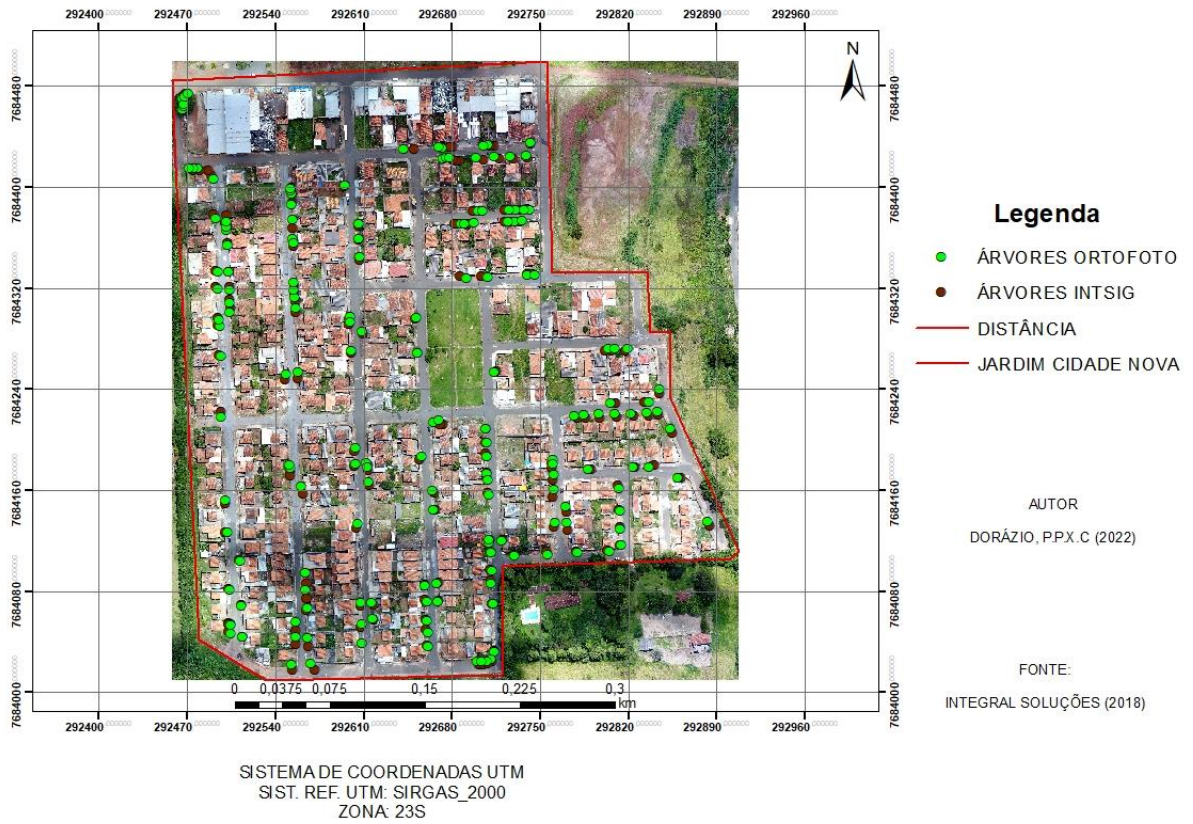


Fonte: Autor (2022)..

Diante dos processos anteriores, cada ponto teve seu código identificado e todas as discrepância identificadas no projeto (mapa), e na Tabela 1 (que pode ser visualizada no APÊNDICE A).

A partir das coordenadas obtidas no levantamento móvel terrestre e no georreferenciamento das árvores com a ortofoto, foram gerados dois mapas finais, um de cada bairro. O primeiro mapa é do bairro Jardim Cidade Nova (Figura 16).

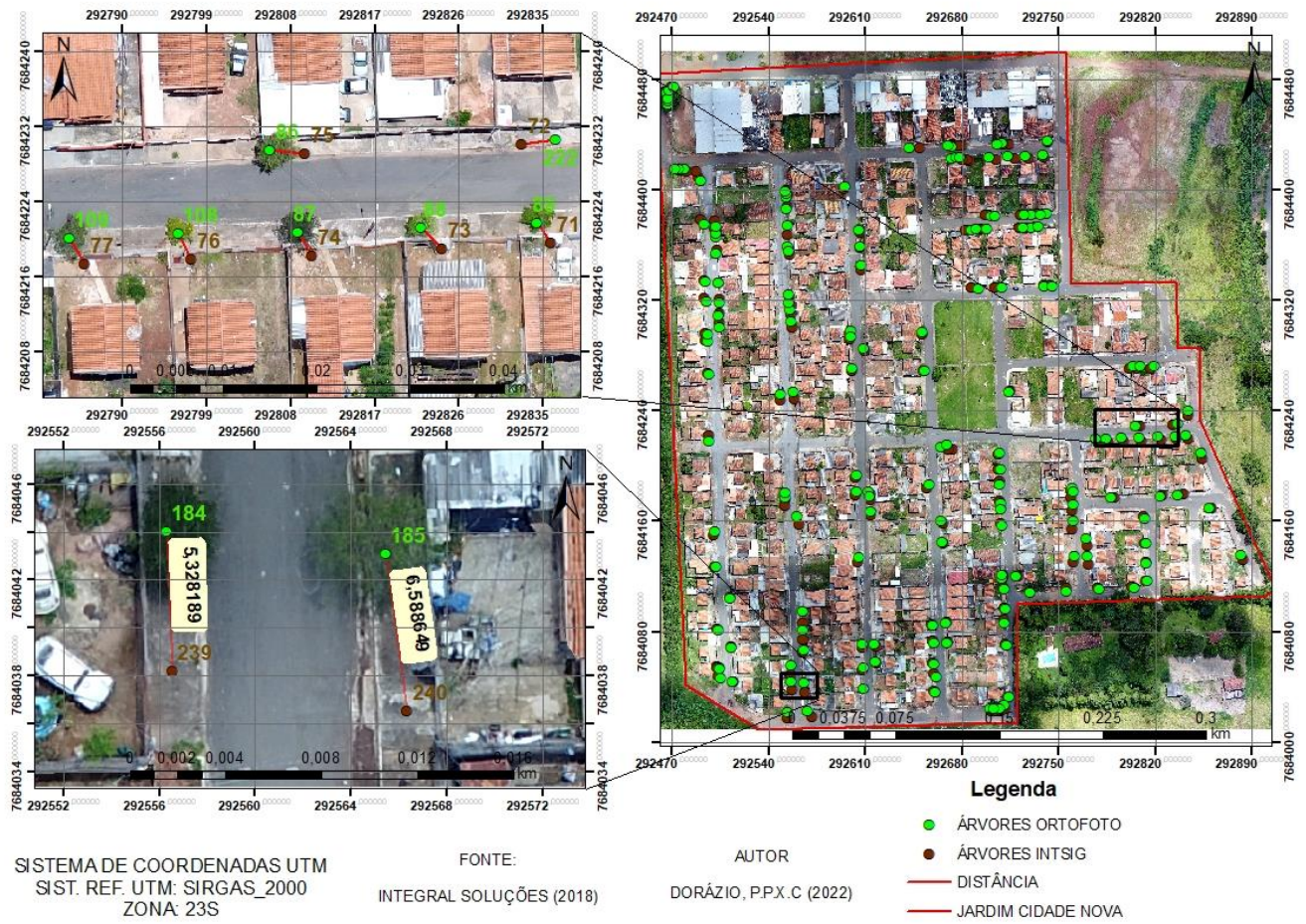
Figura 16: Mapa Jardim Cidade Nova



Fonte: Autor (2022).

No bairro Jardim Cidade Nova, foram georreferenciadas um total de 174 árvores (Figura 17).

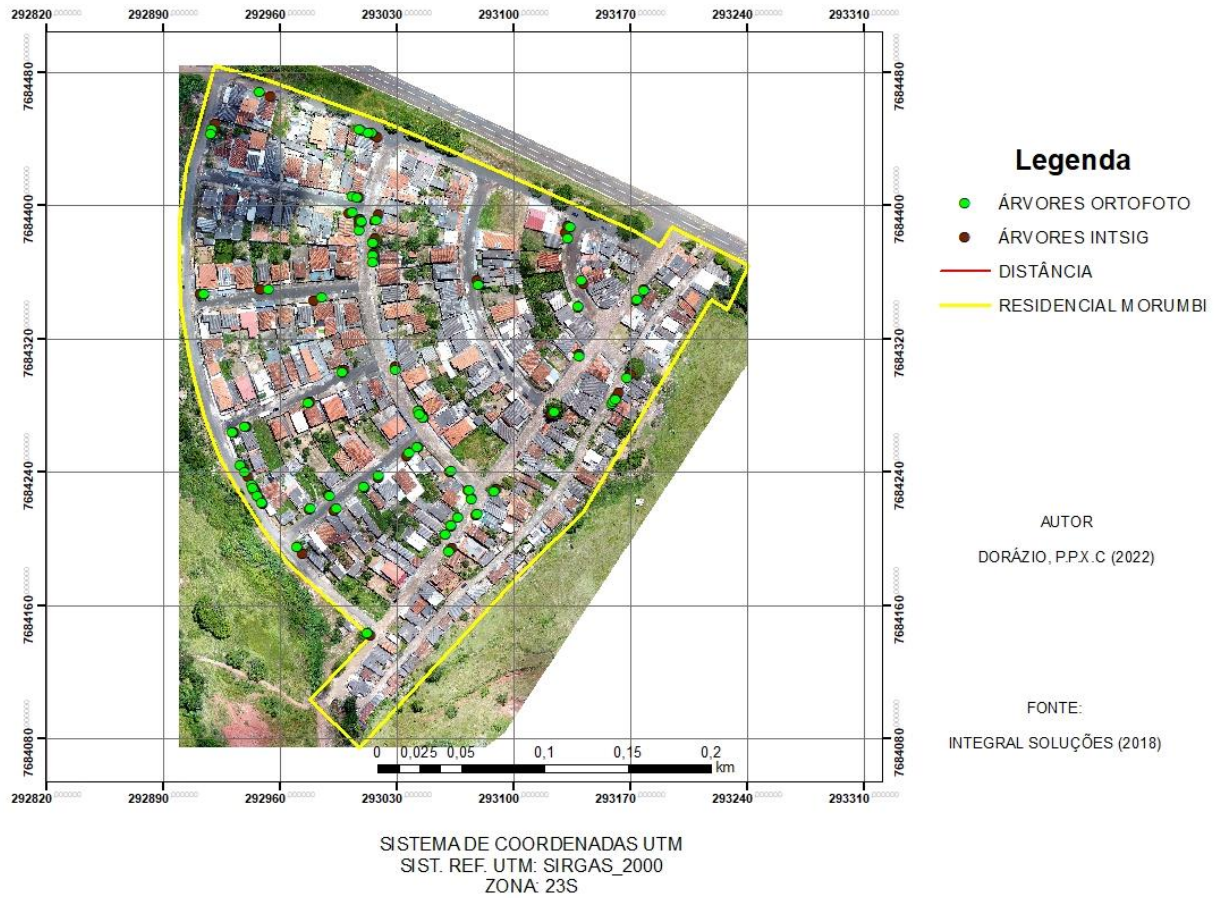
Figura 17: Árvores Georreferenciadas no Bairro Jardim Cidade Nova.



Fonte: Autor (2022).

O segundo mapa elaborado, foi do Residencial Morumbi (Figura 18).

Figura 18: Mapa Residencial Morumbi.



Fonte: Autor (2022).

No bairro Residencial Morumbi, foram encontradas um total de 66 árvores georreferenciadas (Figura 19).

Figura 19: Árvores Georreferenciadas no bairro Residencial Morumbi.



Fonte: Autor (2022).

A partir das discrepâncias, a seguinte Tabela 2 resume as estatísticas descritivas do georreferenciamento das árvores na área de estudo.

Tabela 2: Estatística das discrepâncias.

	Discrepâncias(n=240)	Discrepâncias Cidade Nova (n=174)	Discrepâncias Residencial Morumbi (n=66)
Mínimo (m)	0,1119	0,1602	0,1119
Máximo (m)	8,4291	8,4291	7,1785
Média (m)	2,461	2,6468	1,9761
Mediana (m)	1,9677	2,2020	1,6522
Desvio padrão	1,6587	1,6901	1,4784

Fonte: Autor (2022).

6 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi produzir uma base cartográfica das árvores nas vias públicas de dois bairros na cidade de São Sebastião do Paraíso/MG usando um SMMT.

Na comparação do georreferenciamento utilizando vídeos 360° com o georreferenciamento aéreo foi obtida uma discrepância média de 2,46m. que pode ser considerada satisfatória para esse tipo de mapeamento, pois para fins da gestão do inventário das árvores, essa diferença não é impactante, pois uma equipe de fiscalização, com essa precisão conseguirá identificar a árvore. Além disso a imagem da árvore possibilitaria uma fácil identificação em campo.

Outro ponto importante são as imagens das árvores que podem ajudar em uma classificação em escritório por especialistas, contribuindo com o inventário das espécies nas vias do município.

Também vale a pena destacar a importância desse mapeamento pois em trabalhos futuros, poderá ser possível identificar possíveis alterações na paisagem como o crescimento e supressão dessa vegetação, o que contribuiria para a gestão desse patrimônio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, R. L.; GALLIS, R. B. A.; HIRAGA, A. K.; SILVA, F. A. Quantificação e georreferenciamento semiautomático de árvores urbanas. *Revista SBAU, Curitiba – PR*, v.13, n.4, p. 41-53, 2018.
- COLLETO, E. P.; MÜLLER, N. G.; WOLSKI, S. S. Diagnóstico da Arborização de Vias Públicas do Município de Sete de Setembro-RS. *Revista SBAU, Piracicaba*, v.3, n.2, p. 110-122, jun. 2008.
- COPEL DISTRIBUIÇÃO. Arborização de vias públicas - Guia para os Municípios. Data de publicação: 31/03/2015. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcweb/download/7387/>> Acesso em: 20 ago 2021.
- FAN, Y. et al. A trunk-based SLAM backend for smartphones with online SLAM in large-scale forest inventories. ***ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing***, v. 162, p. 41–49, abr. 2020.
- GARMIN. **VIRB® 360**, 2022. Disponível em: <<https://www.garmin.com/en-US/p/562010>>
- GUAN, H. et al. Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review. ***International Journal of Image and Data Fusion***, v. 7, n. 3, p. 219–242, 2 jul. 2016.
- IBGE. 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 13 mar. 2022
- IBGE **Cidades**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sao-sebastiao-do-paraiso/panorama>>. Acesso em: 13 mar. 2022
- Integral Soluções**. 2022. Disponível em: <<http://integralsol.com.br/index.php/a-empresa1>>
- FAN, Y. et al. A trunk-based SLAM backend for smartphones with online SLAM in large-scale forest inventories. ***ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing***, v. 162, p. 41–49, abr. 2020.
- GUAN, H. et al. Use of mobile LiDAR in road information inventory: a review. ***International Journal of Image and Data Fusion***, v. 7, n. 3, p. 219–242, 2 jul. 2016.
- JAVANMARDI, M. et al. Towards High-Definition 3D Urban Mapping: Road Feature-Based Registration of Mobile Mapping Systems and Aerial Imagery. ***Remote Sensing***, v. 9, n. 10, p. 975, 21 set. 2017.
- KOESER, A. K. et al. Municipal tree risk assessment in the United States: Findings from a comprehensive survey of urban forest management. ***Arboricultural Journal***, v. 38, n. 4, p. 218–229, out. 2016.
- LAUMER, D. et al. Geocoding of trees from street addresses and street-level images. ***ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing***, v. 162, p. 125–136, abr. 2020.
- LIANG, X. et al. International benchmarking of terrestrial laser scanning approaches for forest inventories. ***ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing***, v. 144, p. 137–179, out. 2018.

LUMNITZ, S. et al. Mapping trees along urban street networks with deep learning and street-level imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 175, p. 144–157, maio 2021.

NING, X.; TIAN, G.; WANG, Y. Shape classification guided method for automated extraction of urban trees from terrestrial laser scanning point clouds. **Multimedia Tools and Applications**, v. 80, n. 24, p. 33357–33375, out. 2021.

NOVO, A. et al. Canopy detection over roads using mobile lidar data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 5, p. 1927–1942, 3 mar. 2020.

QIAN, C. et al. An Integrated GNSS/INS/LiDAR-SLAM Positioning Method for Highly Accurate Forest Stem Mapping. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 3, 23 dez. 2016.

ROBERTS, J. et al. Mobile Terrestrial Photogrammetry for Street Tree Mapping and Measurements. **Forests**, v. 10, n. 8, p. 701, 19 ago. 2019.

SABADINI JUNIOR, J. C. Arborização urbana e a sua importância à qualidade de vida. Revista Jus.com., 2017. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/57680/arborizacao-urbana-e-a-sua-importancia-a-qualidade-de-vida>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

SAFAIE, A. H. et al. Automated street tree inventory using mobile LiDAR point clouds based on Hough transform and active contours. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 174, p. 19–34, abr. 2021.

SANTOS, A.S. R. Dos. Arborização urbana: importância e aspectos jurídicos. Revista Jurídica - Bahia- novembro/ 2001; **Revista Meio Ambiente Industrial**- SP- nov./dez. 2001. Disponível em: <<http://www.aultimaarcadenoe.com.br/arborizacao-urbana/>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

TOSCHI, I. et al. Accuracy Evaluation Of A Mobile Mapping System With Advanced Statistical Methods. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XL-5/W4, p. 245–253, 18 fev. 2015.

WANG et al. A Survey of Mobile Laser Scanning Applications and Key Techniques over Urban Areas. **Remote Sensing**, v. 11, n. 13, p. 1540, 28 jun. 2019.

APÊNDICE A: Tabela de códigos e discrepâncias.

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
1	199	1,8557
2	194	3,1080
3	197	3,6113
4	200	0,6723
5	193	2,4566
6	192	1,4568
7	191	2,2647
8	201	2,4111
9	190	1,9123
10	189	0,7015
11	187	0,4968
12	210	2,6039
13	211	0,4333
14	186	1,0299
15	209	1,0434
16	208	0,8829
17	185	0,5803
18	168	1,0798
19	167	1,9590
20	169	0,6800
21	170	0,5786
22	171	0,7271
23	172	0,2354
24	180	1,1711
25	163	0,1119
26	177	0,5877
27	92	1,1489
28	92	3,1412
29	216	1,6400

(continua)

(continua)

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
30	203	1,6644
31	204	1,3601
32	91	3,2663
33	91	1,9840
34	89	1,9810
35	88	1,2094
36	87	1,7192
37	205	1,4220
38	84	5,5890
39	206	1,8509
40	207	1,1301
41	166	1,5485
42	184	3,1018
43	182	3,0260
44	183	1,6675
45	181	2,6532
46	202	1,6718
47	176	4,3804
48	46	1,7766
49	47	2,3689
50	44	0,9475
51	43	0,9871
52	42	0,9210
53	41	1,4670
54	40	2,6081
55	38	1,4432
56	37	1,6150
57	36	1,7494
58	35	3,3882
59	34	1,9631
60	33	2,6576

(continua)

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
61	32	2,7105
62	30	1,7602
63	31	0,1602
64	29	2,0627
65	28	2,3268
66	28	0,4179
67	25	3,9260
68	27	1,6670
69	24	2,9989
70	68	2,4695
71	69	1,6407
72	69	4,0056
73	7	1,6681
74	4	0,5495
75	55	2,3611
76	116	4,0717
78	113	1,9564
79	117	3,2471
80	117	1,9425
81	115	1,8424
82	139	1,1559
83	140	1,4694
84	80	2,8681
85	141	3,9491
86	75	3,7311
87	74	2,8884
88	73	3,2218
89	71	2,6381
90	70	2,6781
91	142	4,2223
92	145	4,4597

(continua)

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
93	146	1,4159
94	162	2,4148
95	161	0,5238
96	160	1,3492
97	159	0,6204
98	158	1,7873
99	156	2,3584
10	154	5,4730
101	153	4,0824
102	152	4,9175
103	151	5,8544
104	150	4,3379
105	147	2,4739
106	148	1,9927
107	148	1,5536
108	76	3,0512
109	77	3,1733
110	81	3,0618
111	22	0,8522
113	21	1,2973
114	20	2,4012
115	17	2,1241
116	15	1,5242
117	13	1,1749
118	155	0,8901
119	12	1,3478
120	11	2,1457
121	10	0,8502
122	9	0,5275
123	8	2,5056
124	53	2,2020

(continua)

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
125	51	2,5033
126	136	1,5965
127	135	2,8034
128	134	1,4458
129	132	1,8369
130	133	1,6162
131	131	1,2210
132	130	1,7072
133	129	1,3819
134	128	2,2854
135	127	3,1647
136	83	5,3145
137	83	3,4293
138	126	0,2854
139	125	1,4803
140	106	1,9301
141	109	3,0008
142	137	5,1858
143	138	5,1251
144	123	1,9069
145	122	3,3132
146	122	4,3329
147	120	1,5023
148	120	4,7297
149	62	5,4297
150	66	8,1167
151	59	1,1303
152	56	2,9533
153	57	5,0381
154	60	5,4817
155	221	0,9103

(continua)

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
156	220	0,7657
157	219	0,8077
158	222	1,4075
159	223	6,6372
160	224	1,6788
161	224	1,7474
162	110	1,0466
163	111	1,9190
164	229	3,5636
165	227	3,2164
166	227	2,6099
167	226	3,0318
168	105	1,4575
169	108	1,6622
170	231	4,6443
171	230	4,0948
172	232	2,2630
173	232	5,2460
174	234	6,1499
175	104	2,2501
176	101	2,1738
177	100	2,5551
178	99	3,4960
179	97	2,7472
180	98	2,0807
181	96	1,6693
182	50	5,7667
183	238	5,3282
184	240	6,5886
185	94	0,3036
186	237	1,7371

(continua)

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
187	235	5,2616
188	23	1,5777
189	95	2,0339
190	102	2,0742
191	102	1,7890
192	107	1,9677
193	112	1,4796
194	114	2,2777
195	143	3,7999
196	144	2,3551
197	157	1,5270
198	164	1,1708
199	165	1,4324
200	173	3,4329
201	175	7,1786
202	176	0,1434
203	176	6,1026
204	188	1,0273
205	194	1,5937
206	196	1,0918
207	198	1,6729
208	217	4,7027
209	218	5,1929
210	212	4,0075
211	212	2,2839
212	212	0,4221
213	215	2,8714
214	238	6,8178
215	49	4,1699
216	19	1,6125
217	18	1,2802

(conclusão)

ORTOFOTO	INTSIG	DISCREPÂNCIAS (m)
218	14	1,1296
219	16	0,6891
220	52	2,6624
221	72	3,5850
222	79	3,1279
223	79	2,9099
224	6	0,8912
225	5	0,9589
226	3	1,1666
227	2	1,3736
228	65	7,7619
229	65	5,0897
230	65	2,6992
231	62	8,3553
232	39	3,8896
233	48	0,3571
234	46	1,8531
235	235	8,4291
236	54	0,8505
237	59	4,6573
238	174	2,5753
239	85	1,3684
240	89	0,3500

Fonte: Autor (2022).