



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Tecnologia

LUIZ PAULO DOMINGOS MENDES

Varredura Digital e possibilidades de integração de dados SIG e BIM para monitoramento e gestão urbana

Limeira/SP
2023

LUIZ PAULO DOMINGOS MENDES

Varredura Digital e possibilidades de integração de dados SIG e BIM para monitoramento e gestão urbana

Dissertação apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia, na Área de Sistemas de Informação e Comunicação.

Orientadora: Prof.^a Dr^a Eloisa Dezen-Kempter

Este trabalho corresponde à versão final da Dissertação defendida por Luiz Paulo Domingos Mendes e orientado pela Professora Doutora Eloisa Dezen-Kempter.

Limeira/SP
2023

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Felipe de Souza Bueno - CRB 8/8577

M522v Mendes, Luiz Paulo Domingos, 1990-
Varredura digital e possibilidades de integração de dados SIG e BIM para monitoramento e gestão urbana : levantamento aerofotogramétrico em escala distrital e construção de base cadastral multifinalitária no município de Limeira/SP / Luiz Paulo Domingos Mendes. – Limeira, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: Eloisa Dezen-Kempter.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Fotogrametria. 2. Nuvem de pontos. 3. Aeronaves não tripuladas. 4. Cadastro territorial multifinalitário. I. Dezen-Kempter, Eloisa, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. III. Título.

Informações Complementares

Título em outro idioma: Digital scanning and possibilities of integration of GIS and BIM data for urban monitoring and management : aerophotogrammetric survey on a district scale and construction of a multipurpose cadastral base in the municipality of Limeira/SP

Palavras-chave em inglês:

Photogrammetry

Point cloud

Drone aircraft

Multipurpose cadastre

Área de concentração: Sistemas de Informação e Comunicação Titulação: Mestre em Tecnologia **Banca examinadora:** Eloisa Dezen-Kempter [Orientador] Vitor Eduardo Molina Júnior Lucas Ricardo Cestaro Data de defesa: 24-02-2023

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-1763-9279>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/1980229910591741>

FOLHA DE APROVAÇÃO

Abaixo se apresentam os membros da comissão julgadora da sessão pública de defesa de dissertação para o Título de Mestre em Tecnologia na área de concentração Sistemas de Informação e Comunicação, a que se submeteu o aluno Luiz Paulo Domingos Mendes, em 24 de fevereiro de 2023 na Faculdade de Tecnologia – FT/UNICAMP, em Limeira/SP.

Profa. Dra. Eloisa Dezen-Kempter

Presidente da Comissão Julgadora

Prof. Dr. Vitor Eduardo Molina Júnior

Faculdade de Tecnologia da Unicamp

Prof. Dr. Lucas Ricardo Cestaro

Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Ata da defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria de Pós-graduação da Faculdade de Tecnologia.

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

RESUMO

A utilização de modelos digitais tridimensionais obtidos por meio de tecnologias de escaneamento 3D tem sido cada vez mais comum em diversos setores, incluindo a indústria, agricultura, arquitetura, engenharia e construção (AEC) entre outros. Neste trabalho, o objeto de estudo é a constituição de modelos digitais tridimensionais através do processo fotogrametria digital, a partir de imagens capturadas com suporte de RPAS (remotely piloted aircraft systems), com finalidade de aplicação para o planejamento urbano. Para isso, foram realizados dois levantamentos de infraestrutura urbana em cidades da Região Metropolitana de Piracicaba; um estudo piloto no bairro histórico de Monte Alegre, em Piracicaba, e outro em uma região de ocupação diversificada no município de Limeira/SP, por meio de levantamento aéreo, constituição de nuvem de pontos e geração de ortofotos para a criação de um banco de dados vetorial georreferenciado e visualização de um modelo de cidade digital tridimensional. A integração de produtos gerados através do processo de fotogrametria e softwares que oferecem suporte para a Gestão de Cidades é um passo importante para a melhoria dos cadastros imobiliários municipais, bem como um passo para o avanço do conceito de cidades inteligentes. Nesse contexto, para registro e análise de dados, o SIG se apresenta como o referencial para aplicações em macroescala (distritos, cidades), e o BIM como alternativa para a microescala (edifícios). São avaliados nesta pesquisa os benefícios para gestão de cidades, de técnicas de levantamento aéreo utilizando RPAS, processamento de imagens, bem como, integração de dados entre SIG e BIM para gestão, processamento e armazenamento da informação.

Palavras-Chave: fotogrametria, nuvem de pontos, aeronaves não tripuladas, cadastro territorial multifinalitário

ABSTRACT

Digital Scanning and Possibilities of Integration of GIS and BIM Data for Urban Monitoring and Management

The use of three-dimensional digital models obtained through 3D scanning technologies has become increasingly common in various sectors, including industry, agriculture, architecture, engineering, and construction (AEC) among others. In this work, the object of study is the constitution of three-dimensional digital models through the digital photogrammetry process, from images captured with the support of RPAS (remotely piloted aircraft systems), for the purpose of urban planning application. For this, two surveys of urban infrastructure were carried out in cities of the Metropolitan Region of Piracicaba; a pilot study in the historic neighborhood of Monte Alegre, in Piracicaba, and another in a region of diversified occupation in the municipality of Limeira/SP, through aerial survey, constitution of a point cloud and generation of orthophotos for the creation of a georeferenced vector database and visualization of a three-dimensional digital city model. The integration of products generated through the photogrammetry process and software that supports City Management is an important step towards improving municipal real estate registries, as well as a step towards advancing the concept of smart cities. In this context, for data recording and analysis, GIS presents itself as the reference for macro-scale applications (districts, cities), and BIM as an alternative for micro-scale applications (buildings). The benefits for city management of aerial survey techniques using RPAS, image processing, as well as data integration between GIS and BIM for management, processing, and storage of information are evaluated in this research.

Keywords: photogrammetry, point clouds, drone aircraft, multipurpose cadastre

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Nuvens de pontos geradas a partir das técnicas LiDAR e DAP	17
Figura 2 - Diagrama - conceituação da pesquisa.....	19
Figura 3 - Diagrama - estrutura da pesquisa	22
Figura 4 - Diagrama - construção do CIM/DIM	25
Figura 5 - Foto divulgação de aspirador de pó com tecnologia de varredura digital..	31
Figura 6 - Captação de nuvem de pontos utilizando escâner à laser.	32
Figura 7 - Nuvem de pontos obtida por LiDAR – Interface do software Faro Scene ...	32
Figura 8 – Modelo tridimensional de motocicleta gerado através de fotogrametria - Interface do software Recap Photo	33
Figura 9 - Pontos da captura fotográfica para geração da nuvem de pontos- Interface do software Recap Photo	34
Figura 10 - [A] Drone modelo DJI Inspire [B] Registro dos pontos de captura do voo - interface do software Context Capture	35
Figura 11 - A altura de voo influência na resolução pixel por metros que será obtida.	36
Figura 12 - Diagrama - proposta de utilização de tecnologias nesta pesquisa	37
Figura 13 - Mapa de Localização de Limeira	38
Figura 14 - Antiga plantação de Laranja em Limeira	39
Figura 15 - Evolução Urbana de Limeira.....	39
Figura 16 - Mapa de densidade de ocupação populacional	41
Figura 17 - Mapa de ocupação	42
Figura 18 - Exigências inovadoras de desenho urbano previstas no PD de 2009	44
Figura 19 - Abordagem Metodológica	52
Figura 20 - Bairro Monte Alegre (nuvem de pontos)	55
Figura 21 - Avenida Dr. Lauro Corrêa da Silva.....	56
Figura 22 - Modelo Digital gerado do Bairro Monte Alegre – Interface do software Context Capture	58
Figura 23 - Alvo natural utilizado para captura com receptor GPS de simples frequência	59
Figura 24 - Capela de São Pedro	60
Figura 25 - Ortofoto do Bairro Monte Alegre	61
Figura 26 - Diferentes níveis de detalhamento	62
Figura 27 - Altitudes destacadas em cores na nuvem de pontos – Interface do software Recap Pro.....	62
Figura 28 - Nuvem de pontos do interior da Capela São Pedro, gerada através de imagens obtidas a partir de diferentes câmeras fotográficas.....	63
Figura 29 - Mapa de evolução histórica das construções de Monte Alegre	65
Figura 30 - Mapa do grau de descaracterização das construções de Monte Alegre ...	65
Figura 31 - Mapa de grau de conservação das construções de Monte Alegre	66
Figura 32 - Segunda Ortofoto gerada no Bairro Monte Alegre, utilizando o RPAS DJI INSPIRE 2	67

Figura 33 - Interface do APP Pix4D, indicando a Coleta 01 com o DJI INSPIRE 2	68
Figura 34 - Interface do Aplicativo e protocolo de voo adotado com altitude de 90m	68
Figura 35 - Interface do Aplicativo e protocolo da Coleta 02 e protocolo de voo adotado, resultando 340 imagens.....	69
Figura 36 - Ortofoto processada a partir de imagens levantadas em dois processamentos.....	70
Figura 37 - Áreas cobertas na primeira fase do levantamento - Interface do Pix4D ...	72
Figura 38 - Protocolo de varredura aplicado na primeira fase do levantamento - Interface do Pix4D	73
Figura 39 - Áreas cobertas na segunda fase do levantamento - Interface do Pix4D ...	73
Figura 40- Protocolo de varredura aplicado na segunda fase do levantamento - Interface do Pix4D	74
Figura 41 - Levantamento PML - Interface do AutoCAD	75
Figura 42 - Importação das fotos - Interface do Context Capture.....	77
Figura 43 - Erro na aerotriangulação de imagens - Interface do Context Capture	78
Figura 44 - Ortofoto levantamento 01	79
Figura 45 - Ortofoto levantamento 02	80
Figura 46 - Modelo 3D reconstruído - Interface do Context Capture.....	80
Figura 47 - Modelo 3D reconstruído a partir das imagens do primeiro levantamento	81
Figura 48 - Localização do ponto de controlo na ortofoto.....	84
Figura 49 - sobreposição das ortofotos - Interface do ArcGIS Pro	85
Figura 50 - Vetorização das construções - Interface do ArcGIS Pro	86
Figura 51 - Construção da base vetorial.....	87
Figura 52 - Modelagem das construções - Interface do ArchiCAD	89
Figura 53 - Importação do IFC - Interface do InfraWorks	90
Figura 54 - Enriquecimento semântico - Interface do ArcGIS Pro.....	91
Figura 55 - Arquivos importados - Interface InfraWorks.....	92
Figura 56- Publicações decorrentes da pesquisa.....	99

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Benefícios da integração SIG e BIM	26
Quadro 2 - Desafios da integração SIG e BIM.....	28
Quadro 3 - Benefícios do cadastro predial multifinalitário.....	47
Quadro 4 - Ilustração do instrumental utilizado para aplicação da pesquisa.....	51
Quadro 5 - Dados do primeiro processamento no Context Capture	78
Quadro 6 - Dados do segundo processamento no Context Capture.....	79
Quadro 7 - Lista de produtos gerados e seus respectivos links para download.....	93

LISTA DE SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Aplicativo
ASCE	American Society of Civil Engineers
BIM	Building Information Modelling
CIM	City Information Modelling
DAP	Digital Aerial Photogrammetry
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
DIM	District Information Modelling
GIS	Geographic Information System
GNSS	Global Navigation Satellite System
HBIM	Heritage Building Information Modelling
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote
LoD	Level of Detail
LOD	Level of Development
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
RPA	Remote Pilot Aircraft
RPAS	Remote Pilot Aircraft Systems
SfM	Structure from Motion
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UA	Unmanned Aircraft
UAS	Unmanned Aircraft Systems
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado

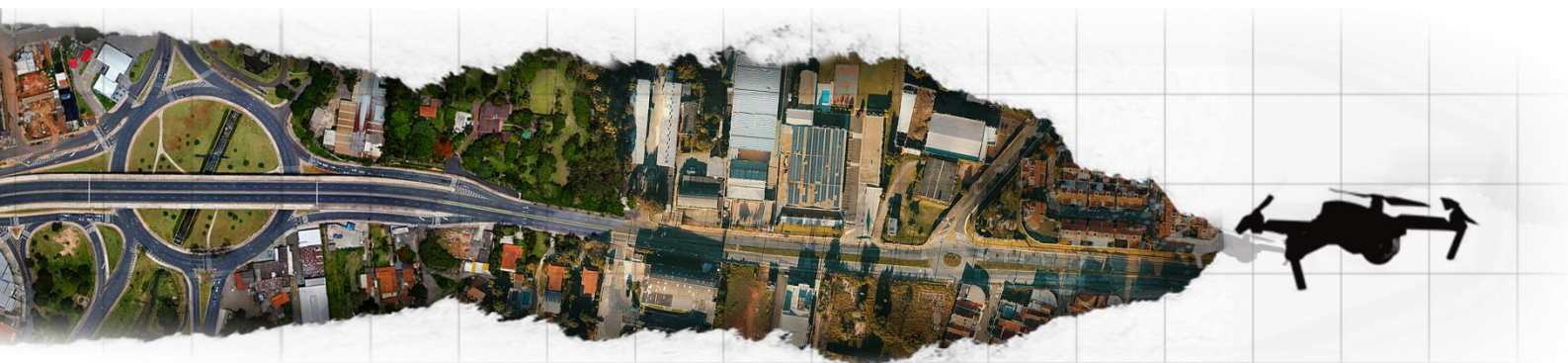
SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE SIGLAS	11
SUMÁRIO.....	12
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Justificativa.....	18
1.2. Objetivos	20
1.3. Estrutura da Dissertação	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1. Integração SIG e BIM	24
2.2. Varredura Digital.....	30
2.3. Gestão Urbana – abordagem local	38
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1. Varredura digital, modelagem e enriquecimento semântico	49
3.2. Objeto de Estudo.....	55
4. ESTUDO DE CASO – PIRACICABA/SP.....	57
4.1. Estudo piloto Bairro Monte Alegre - DIM.....	57
4.2. Estudo preliminar da área e planejamento de voo.....	58
4.3. Pontos de controle para georreferenciamento.....	59
4.4. Voo na área para aquisição dos dados	60
4.5. Processamento e registro dos dados obtidos	61
4.6. Pós processamento e mapeamento da área.....	62
4.7. Modelagem BIM dos edifícios mais relevantes	63
4.8. Enriquecimento semântico da base cadastral multifinalitária	64
4.9. Extração de mapas temáticos.....	64
4.10. Levantamento complementar.....	66
5. ESTUDO DE CASO – LIMEIRA/SP.....	71
5.1. Estudo preliminar da área e planejamento de voo.....	71

5.2.	Pontos de controle para georreferenciamento.....	74
5.3.	Voo na área para aquisição dos dados	76
5.4.	Processamento e registro dos dados.....	77
5.5.	Pós processamento e mapeamento da área.....	82
5.5.1.	SIG - Prefeitura Municipal de Limeira.....	82
5.5.2.	SIG – Alimentação da base territorial georreferenciada.....	83
5.6.	Modelagem BIM dos edifícios mais relevantes	88
5.7.	Enriquecimento semântico da base cadastral multifinalitária	91
5.8.	Plataforma de integração	92
5.9.	Produtos da pesquisa.....	93
6.	DISCUSSÃO	94
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
7.1.	Contribuições da pesquisa	98
8.	REFERÊNCIAS	100

Os produtos desta pesquisa, estão disponíveis através do link ou qr code:

<https://bit.ly/mendes2023>



1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a expansão urbana implicam em majoração na demanda por serviços públicos, sejam eles: transporte, equipamentos de saúde, educação, segurança e outros. Gerenciar estes serviços de forma inteligente e com suporte das tecnologias emergentes é uma necessidade iminente (KIAVARS et al., 2018).

Por sua dinâmica e complexidade, os espaços urbanos carecem de atenção de equipes técnicas multidisciplinares que lidam com o território. Softwares que integram robustas bases de dados e que contemplem as mais diversas áreas do conhecimento, são fundamentais para intersecção de dados, ampliando as possibilidades de gerenciamento territorial.

Em busca de maior conexão com a cidade real, as técnicas de georreferenciamento atuam com suporte de imagens de satélite para subsidiar informações acerca do crescimento urbano, surgimento de novas construções e seus respectivos mapeamento. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) possibilita, além de diversas simulações, um acompanhamento de forma visual do uso do solo, evolução das manchas urbanas e auxiliam a administração pública na concepção de cadastro imobiliário de imóveis. Neste contexto, a implantação do cadastro tridimensional e multifinalitário do município, munido de informações que transcendam àquelas que, fundamentalmente, são necessárias para cadastro do Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU), é um passo de enriquecimento semântico que contribui na transição para cidades inteligentes.

Já no âmbito da arquitetura, as técnicas de *Building Information Modelling* (BIM) atuam na escala do edifício, com uma área de análise reduzida em comparação à escala territorial analisada por sistemas SIG, apresentando um nível maior de detalhamento e informações na microescala, podendo ser usado para criar, gerenciar e compartilhar os dados do ciclo de vida de instalações prediais (Ma e Ren, 2017).

Integrando as metodologias SIG e BIM, temos um modelo digital de cidade mais robusto, trazendo informações mais precisas quanto a interferências que possam existir e os reais impactos causados na vizinhança e no meio ambiente. Essa integração

trata-se de um passo amplamente reconhecido como crucial frente às demandas de modelagem da cidade 3D, sendo possível graças ao aumento da capacidade de processamento computacional atual e disponibilidade de software (OHORI et al., 2018).

As aplicações do SIG 3D Web abordam questões relacionadas ao gerenciamento de desastres, planejamento da cidade, sistema de transporte, simulação de inundações etc. (SINGH et al., 2016).

Dentre as técnicas de alimentação e criação de base de dados para estes sistemas, SIG-BIM, destacamos, neste momento, as de sensoriamento remoto. Tecnologia de alto custo que vem passando por grandes avanços nos últimos anos, devido ao desenvolvimento tecnológico de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA¹) ou Unmanned Aircraft (UA), popularmente conhecidas como drone.

Os RPAS são sistemas que permitiram que câmeras fossem embarcadas para a varreduras digitais de áreas com um baixo custo (Varela et al., 2019), comparado a outras técnicas. Com câmeras de alta resolução é possível realizar levantamento de grandes áreas, antes, geralmente, adquiridas por satélite.

A fotogrametria digital aérea, por meio das técnicas de Structure From Motion (SfM), possibilita a criação de nuvens de pontos e Modelos Digitais de Elevação (MDE) a partir de dados obtidos por levantamentos aéreos. Esse processo, que antes era realizado por escâneres tridimensionais a laser (Light Detection and Ranging - LiDAR), possui alta precisão, mas apresenta um valor de mercado elevado, tornando inacessível sua utilização em diversos casos. Com a fotogrametria digital aérea, é possível obter resultados similares com um custo mais acessível, o que amplia suas possibilidades de aplicação.

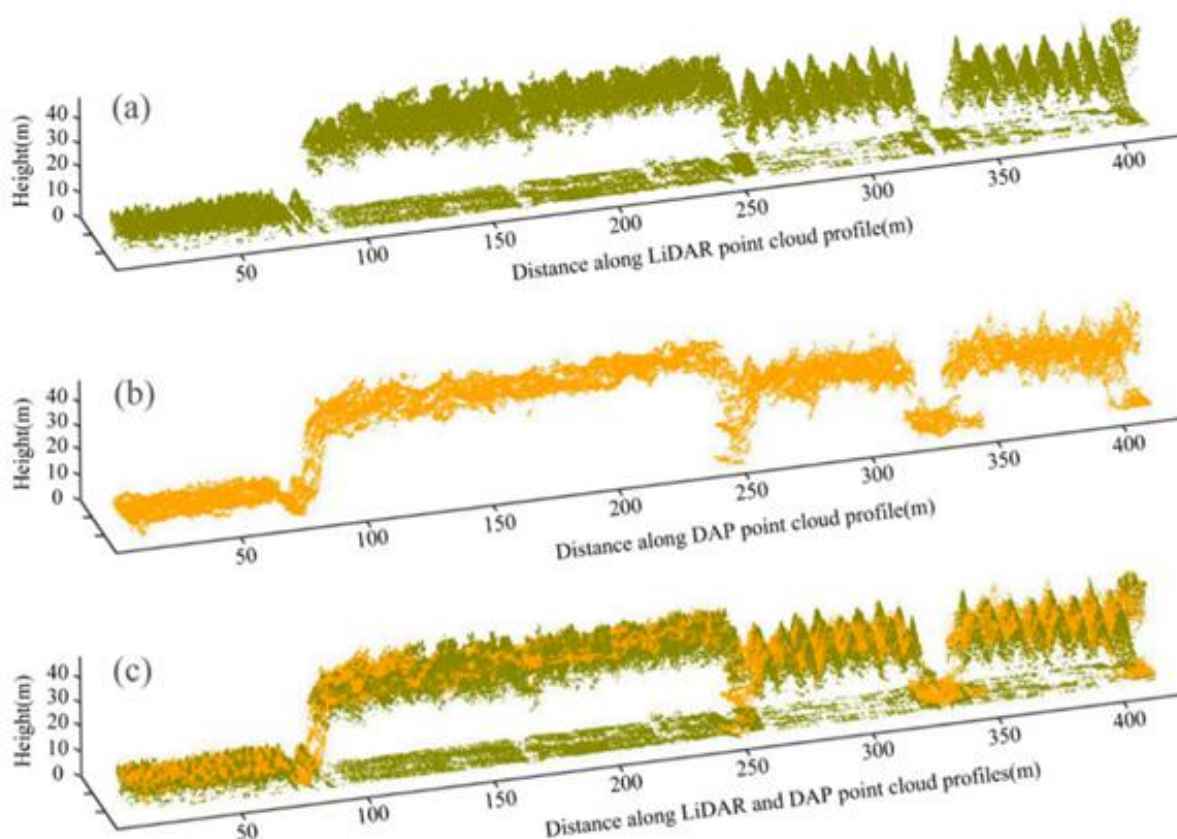
A capacidade de se atualizar esses modelos com grande frequência e baixo custo amplia as possibilidades de monitoramento das cidades, um avanço que só é possível com um maior entendimento das técnicas *Points to GIS* e *Points to BIM*.

Cao et al. (2019) realiza uma comparação entre as nuvens de pontos geradas a partir de dados obtidos por LiDAR e a nuvem gerada por fotogrametria (DAP) evidenciando, inclusive, as possibilidades de sua sobreposição. Uma alternativa

¹ Após considerar o termo "VANT" Veículo aéreo não tripulado obsoleto, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (DECEA) adota o termo RPAS, oriundo do inglês "Remotely Piloted Aircraft System".

para capturas mais complexas. A Figura 1 mostra um comparativo realizado neste trabalho, sendo a primeira nuvem gerada a partir dos dados obtidos com a tecnologia LiDAR, a segunda pelo processo DAP e, por fim, a terceira nuvem, um modelo híbrido, gerado pela fusão dos dois modelos anteriores. Ressalta-se que a área de estudo desta pesquisa é relacionada a plantações de eucalipto.

Figura 1 - Nuvens de pontos geradas a partir das técnicas LiDAR e DAP



Fonte: Cao et al. (2016)

Embarcar câmeras em RPAs se tornou uma alternativa de baixo custo para obtenção de modelos 3D de grandes áreas com alta precisão. Com o apoio dessa tecnologia torna-se possível a modelagem de perfis topográficos, vias, massas vegetativas e edifícios, inserindo-os em um modelo virtual fidedigno à implantação da cidade. A possibilidade de se obter ortofotos cotidianamente, perfis digitais de elevação, nuvens de pontos e a terceira dimensão em modelos SIG com enriquecimento semântico, amplia as possibilidades de discussão, predição, planejamento e projeto de propostas para o ambiente urbano.

1.1. Justificativa

As tecnologias emergentes de varredura digital, em especial as relacionadas com técnicas de Structure from Motion (SfM), fornecem produtos que possibilitam análises precisas e detalhadas do espaço da cidade alavancando o processo de planejamento urbano, em especial em tempos de discussão acerca de cidades inteligentes e sustentáveis.

As tecnologias para varredura digital, em especial as relacionadas à nuvem de pontos, têm sido amplamente aplicadas em diversas áreas de pesquisa, como monitoramento de mudanças climáticas, agropecuária e construção civil. No entanto, há de se discutir ainda, sua aplicabilidade no âmbito do planejamento urbano, área que ainda pouco as explora para levantamentos e documentação.

Modelos gerados através da tecnologia SIG, quando integrados com as possibilidades apresentadas pelos dados espaciais obtidos em nuvens de pontos, podem ser enriquecidos com informações de terceira dimensão, agregando dados que, até então, eram vistos apenas em modelos BIM, na escala da edificação. Através da integração SIG e BIM o planejamento urbano ganha novas possibilidades, como a de obter-se modelos tridimensionais através da informação, um processo denominado de City Information Modelling (CIM) e District Information Modelling (DIM).

Há, contudo, a necessidade de uma melhor compreensão de como softwares necessários para o desenvolvimento de modelos CIM podem ser integrados, avaliando os formatos de arquivos e interoperabilidade, bem como, seu armazenamento e recuperação em bases de dados estruturadas.

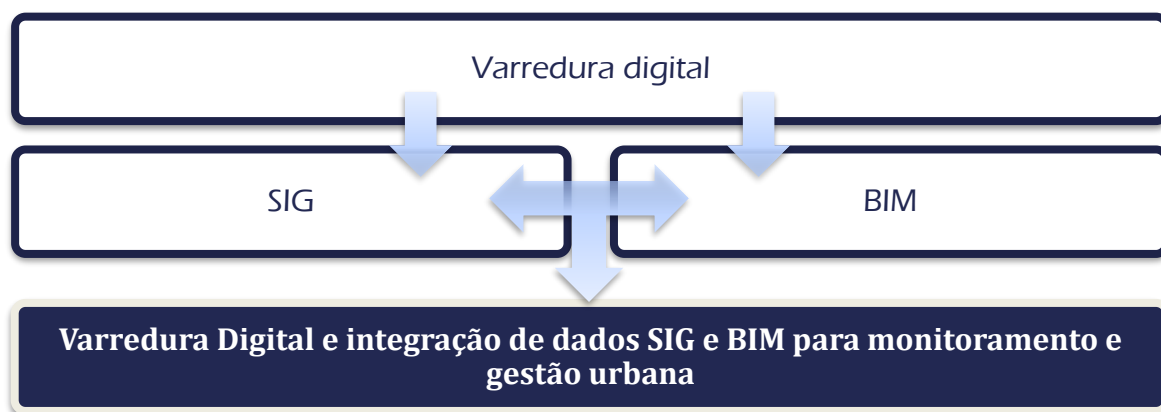
Os modelos CIM (macro-escala) e DIM (média-escala) são de grande relevância para o planejamento urbano, pois constituem importantes mecanismos de controle do uso do solo e análise de parâmetros da cidade como distribuição de equipamentos de infraestrutura, densidade demográfica entre outros relacionados à qualidade do espaço urbano, economia e sustentabilidade.

Neste contexto, as seguintes justificativas desta pesquisa são:

- O uso de modelos 3D semanticamente enriquecidos tem sido consolidado no mercado nacional para edifícios novos, pouco tem sido aplicado para edificações existentes e menos ainda com finalidade da gestão urbana;
- A integração de tecnologias de fotogrametria aérea, SIG e BIM é um campo pouco explorado e potencialmente benéfico para gestão e desenvolvimento do ambiente construído e natural;
- As tecnologias de fotogrametria aérea, SIG e BIM geram dados precisos e confiáveis essenciais para as atividades de gestão e monitoramento das cidades.

A Figura 2 apresenta o diagrama de conceituação desta pesquisa.

Figura 2 - Diagrama - conceituação da pesquisa



Fonte: do autor

1.2. Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é estudar a integração de técnicas de varredura digital com RPAS, para geração de nuvens de pontos por SfM, e a integração das tecnologias SIG e BIM para gerar um modelo digital de cidade tridimensional, visando analisar suas potencialidades para a gestão urbana.

Os objetivos específicos, que constituem etapas definidas para o propósito principal, são:

- Aplicar métodos de levantamento aéreo com RPAS e restituição fotogramétrica para geração de nuvens de pontos, modelos digitais de superfície (MDS) e ortofotos para subsidiar a modelagem de áreas com enfoque em análises urbanísticas;
- Realizar cadastro multifinalitário piloto em 3D, no bairro Monte Alegre em Piracicaba/SP, para definição de um protocolo a ser aplicado na cidade de Limeira/SP;
- Aplicar o protocolo de aquisição e modelagem de dados visando a criação de um cadastro multifinalitário tridimensional em trecho da Av. Dr. Lauro Corrêa da Silva em Limeira/SP;
- Analisar a integração dos modelos 3D, gerados com suporte da nuvem de pontos, em ambientes SIG e BIM, visando a gestão da informação em um banco de dados territorial do objeto de estudo.

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada para atender os objetivos propostos no item 1.2, abrangendo aspectos teóricos e práticos e o processo de desenvolvimento de modelos 3D semanticamente enriquecidos para a escala da cidade, esclarecendo passo a passo a metodologia empregada e as possibilidades de aplicação.

Assim, o trabalho está organizado em 5 capítulos, sendo o primeiro referente ao contexto e à estrutura da pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta a Fundamentação Teórica, na busca por inovações tecnológicas, fundamentando e direcionando todas as etapas deste trabalho: do protocolo de aquisição de dados até o seu registro, pós-processamento e análise técnica de sua aplicabilidade na área de planejamento urbano.

No Capítulo 3, Materiais e Métodos, são apresentados os equipamentos e softwares utilizados, ambos, selecionados a partir de pesquisas anteriores desenvolvidas no Laboratório Lab.ARO3D e da disponibilidade de equipamentos e licenças na Faculdade de Tecnologia da Unicamp.

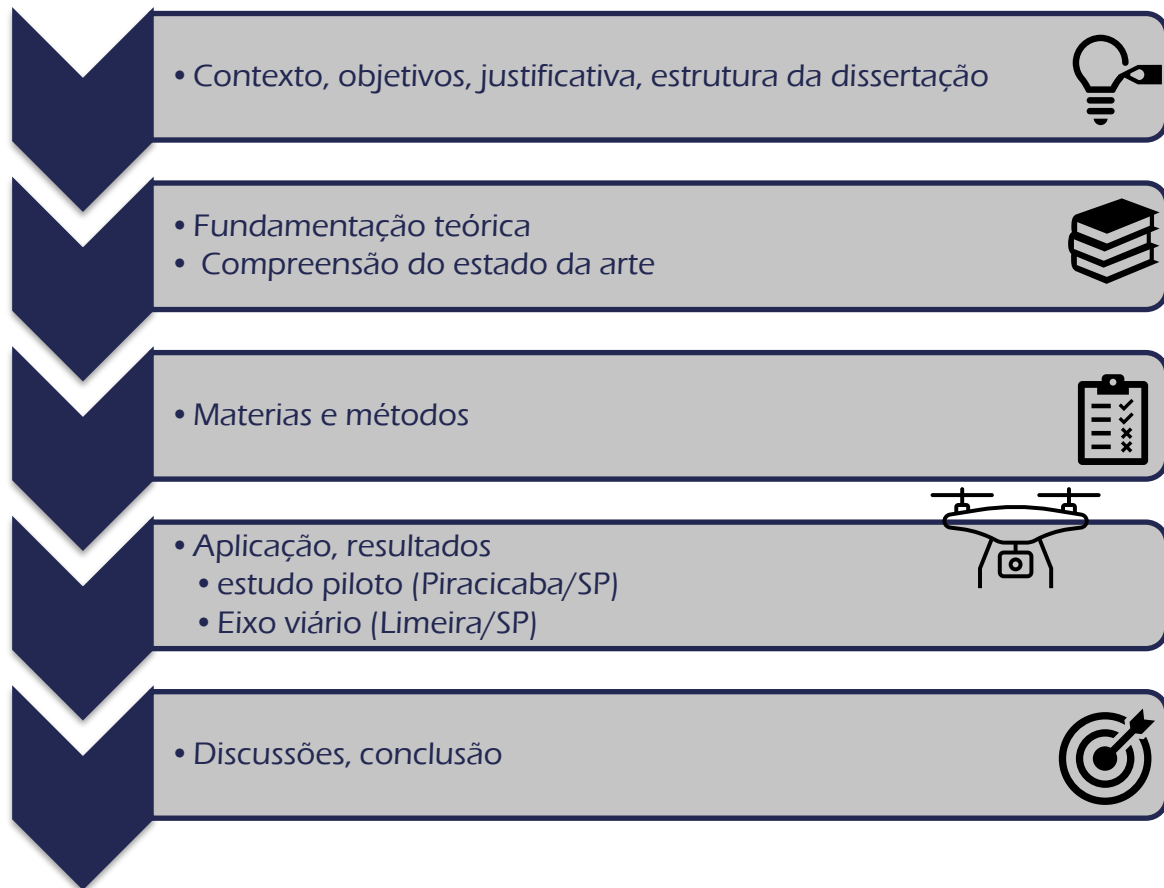
Os Capítulos 4 e 5 abordam a aplicação prática dos levantamentos realizados (coleta, processamento e modelagem). O objeto de estudo compreende uma avenida no município de Limeira/SP, escolhida para pesquisa por se tratar de um importante eixo viário com característica de via arterial e ocupação diversificada (comércio, residências, serviços e indústrias), sendo uma das principais conexões com o sul do município, área onde se espera o crescimento de Limeira nos próximos anos.

Preliminarmente ao levantamento da avenida, foi realizada atividade semelhante de estudo das técnicas abordadas neste trabalho na disciplina FT 043 – Tópicos em Tecnologia para Informação, ofertada neste programa de pós-graduação. Nesta disciplina, um bairro da cidade de Piracicaba/SP foi levantado, com orientação dos docentes. A atividade possibilitou um entendimento das técnicas e a identificação dos passos essenciais para definição de alguns protocolos de emprego de RPAS para varredura digital, assim como processamento e modelagem semântica.

Os Capítulos 6 e 7, Discussão e Considerações Finais, expõe os resultados alcançados até o momento e diretrizes para finalização da pesquisa. Portanto, apresenta um relato de toda esta atividade, apresentando análise crítica do projeto como forma de contribuição, indicando as dificuldades encontradas nesta trajetória e apontando possibilidades de futuros estudos para responder às questões levantadas.

A Figura 3, constitui o diagrama da organização da pesquisa.

Figura 3 - Diagrama - estrutura da pesquisa



Fonte: do autor.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Gestão urbana, dentro da administração pública, requer dados confiáveis para uma melhor compreensão das condições factuais da cidade, a fim de otimizar processos e melhor gerir os recursos. Além disso, a cidade está em constante movimento. Responsiva a seus habitantes, se atualiza e cresce, bem como a sua população, ocasionando aumento na demanda de serviços públicos e dificultando análises precisas, dada a constante modificação do território.

Crescimento da densidade demográfica, adensamento populacional, verticalização de áreas existentes (transformando uso e ocupação do solo), expansão de perímetro urbano, denotam o ciclo de vida dinâmico e complexo das cidades (AMORIM, 2015).

Da mesma forma, respondemos, enquanto população, às propostas da cidade. Mais ruas, implicam em mais tráfego; melhores condições de ciclovias, mais ciclistas; melhor espaço urbano, mais vida na cidade (GEHL, 2010), daí se extrai a importância de um bom planejamento, subsidiado por uma base de dados constantemente atualizada.

Segundo Gehl (2010), primeiro moldamos a cidade e posteriormente elas nos moldam. Indica, também, a necessidade de avaliar a cidade em três escalas: grande, média e pequena. A primeira, refere-se ao tratamento holístico e abrange bairros, funções e instalações de tráfego. Explica que esta escala é a cidade vista de cima e à distância, de uma perspectiva aérea. Partes individuais, como bairros e organizações dos espaços públicos encontram-se na média escala, tal qual, a vista da cidade por meio de um helicóptero. Por fim, a escala pequena, a qual refere-se a paisagem humana, vista pelas pessoas que a utilizam, ao nível dos olhos.

2.1. Integração SIG e BIM

“Simplificando, urbanismo e planejamento urbano podem ser descritos como um trabalho envolvendo níveis de escala muito diferentes.” (GEHL, 2010)

Para avaliar a cidade em diversos níveis de detalhes e diferentes escalas, através da integração das tecnologias SIG e BIM, almeja-se um modelo tridimensional de cidade que contemple diversas bases de dados, com variáveis multidisciplinares, subsidiando análises e tomadas de decisões, de maneira a criar um vínculo mais estreito entre o técnico profissional e as reais demandas sociais. Integrar dados de infraestrutura urbana, transporte, distribuição de energia, iluminação pública, coleta e afastamento de esgoto, distribuição de água potável, serviços de saúde, segurança pública, educação, prevenção de desastres, entre outros.

A gestão inteligente de serviços aumenta a necessidade de lidar com grandes bases dados, oriunda de diferentes fontes, com vários tipos e formatos, como informações de cidades em 3D, dados de GPS, tráfego, celular, fluxo de IoT (*Internet of Things*), BIM, ambientais e sociais (KIAVARZ et al., 2018).

Por atuar na escala do edifício, a tecnologia BIM carece de capacidade em análises geoespaciais como: planejamento de rotas, seleção do local, planejamento para entrega de material de construção, garantir a segurança da construção e o planejamento do layout do local (BASIR et al., 2018).

Em uma análise que avalia os benefícios da utilização da abordagem da macro escala para a microescala, Bansal (2012) afirma que o foco principal do BIM é nas tarefas de planejamento interno do edifício, como em relação ao uso do espaço e consumo de energia, aquecimento, ventilação ou ar-condicionado. Já a tecnologia SIG possibilita o planejamento das tarefas externas da construção, como escolha do terreno, planejamento do canteiro de obras, entrega de mercadorias e serviços e operações de evacuação de emergência.

Se por um lado a tecnologia BIM beneficia os processos de microescala, quando subsidiada, também, com dados da macro escala, em outra via o SIG avança com softwares que possibilitam a alimentação de dados espaciais 3D (CHENAUX et al.,

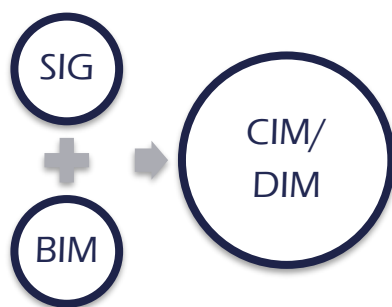
2019). Análises mais complexas podem ser realizadas, já que, o SIG 3D pode delimitar e representar edifícios, centros urbanos e rurais em relação às suas propriedades geométricas e semânticas – sejam estes dados elementos estruturais de edifícios, relevo, vegetação, transporte, corpos d’água, mobiliário urbano.

Segundo Shirowzhan et al. (2020), a nova geração SIG está na análise espacial online. Denominado CyberGIS, a sua implementação envolve questões como trabalho com dados em nuvem, hardware, software, velocidade de internet e qualificação técnica dos usuários. Para que seja possível a visualização em tempo real desses modelos, é preciso que tecnologias IoT sejam interoperáveis com o CyberGIS.

A integração de projetos SIG-BIM é inovadora, quando baseada em dados cartográficos abertos, arquivos vetoriais e raster existentes em diferentes escalas e nuvens de pontos ou modelos 3D (BARAZZETTI, 2018), produz um modelo mais realista de ambientes construídos, seja em grande ou pequena escala (SHIROWZHAN et al., 2020), além de ser um forte subsídio para projetos de cidades inteligentes sustentáveis (VACCA et al., 2018), quando integrada com tecnologias como IoT e AR/VR (CARNEIRO, 2018).

Dessa integração, representada na Figura 4, obtém-se o CIM e o DIM.

Figura 4 - Diagrama - construção do CIM/DIM



Fonte: do autor.

“CIM é uma analogia ao BIM em urbanismo. É um sistema de elementos urbanos representados por símbolos em um espaço 2D e dentro de um espaço 3D. Ele também é concebido como expansão 3D do GIS (SI3D ou Sistema de Informação 3D) enriquecido com vistas em vários níveis e múltiplas

escalas, caixa de ferramentas de projeto e inventário de elementos 3D com seus relacionamentos” (STOJANOVSKI, 2013, p. 4, apud, AMORIM, 2015)

Para Amorim (2015), a visão de CIM tem que contemplar a visão de BIM, com a ressalva de que o primeiro envolve complexidade e problemas maiores, dada a diferença em dimensões e complexidades do ambiente urbano ante a uma única edificação.

O Quadro 1 sintetiza os benefícios da integração SIG e BIM, segundo alguns autores:

Quadro 1 - Benefícios da integração SIG e BIM

Benefícios da integração SIG e BIM	
BARAZZETTI, (2018)	São soluções complementares. Um banco de dados conectado à representação gráfica de objetos, onde se pode realizar modelagem e soluções parametrizadas para elementos de infraestrutura urbana. Possibilidade de simulações avançadas;
LIU et al., (2017)	Possibilita o gerenciamento eficaz das informações em diversos estágios do ciclo de vida de um projeto: planejamento, design, construção, operação e manutenção. Disponibilidade de informação em qualquer escala espacial e temporal. Gestão eficaz de informações heterogêneas de diferentes fontes é um suporte essencial para tomada de decisões.
CHEN et al., (2018)	CIMs que incluem infraestrutura digital, podem apoiar programas para cidades inteligentes.
CHENAUX et al., (2019)	Facilita a conservação e manutenção da infraestrutura de tecidos históricos, bem como sua divulgação para fins educacionais. Modelagem de informação com informações tridimensionais possibilita análises mais complexas. SIG 3D pode representar edifícios, centros urbanos e rurais em relação às suas propriedades geométricas, semânticas e de visualização. A adição de atributos semânticos permite análises complexas e consultas espaciais 3D para modelagem de cidade e elementos urbanos, incluindo o tecido urbano, elementos estruturais de edifícios, relevo, vegetação, transporte, corpos hídricos, mobiliário urbano e terrenos.

GUZZETTI et al., (2019)	O cadastro de mobiliário de infraestrutura de áreas urbanas em ambiente BIM permitiria economia de tempo e custos em licitações, manutenções e execuções de projetos. Possibilidade de visualizar conexões entre elementos visíveis (acima do solo) e invisíveis(subsolo).
BARAZZETTI e BANFI, (2017)	SIG é capaz de realizar análises geoespaciais avançadas, mas faltam vários instrumentos e ferramentas para modelagem paramétrica normalmente disponíveis em BIM. Ao mesmo tempo, o software BIM, projetado para edifícios, tem ferramentas limitadas para lidar com dados geoespaciais. BIM e SIG podem aparecer como soluções complementares à transição da escala local (construção) para a infraestrutura (onde os dados geoespaciais não podem ser negligenciados) A modelagem paramétrica integrada com geoinformação é uma ferramenta poderosa para simplificar e acelerar algumas fases do fluxo de trabalho de projeto. Infraestrutura BIM e dados geoespaciais estão intimamente conectados para projetar, construir e gerenciar infraestruturas existentes ou novas.
VACCA et al., (2018)	A integração SIG-BIM é um forte suporte para projetar cidade sustentável inteligente devido à sua capacidade de integração de dados. Possibilidade de análises quantitativa, aplicação de tecnologias e gestão urbana. Possibilita a gestão de dados e informações precisas de construções específicas com uma compreensão detalhada do seu entorno.
ELLUL et al., 2018	Mapeamento topográfico, avaliação de propriedades, planejamento de transportes, licenciamento de construções e gestão de infraestrutura, com oportunidades relacionadas em sistemas cadastrais, de gestão e planejamento de rodovias
DE JESUS et al., (2018)	Realizar análises espaciais que considerem a representação tridimensional e semântica de objetos.
MA e REN (2017)	Gestão de programa de megaprojetos de renovação urbana e melhor entender os resultados ainda em fase de planejamento. Simulação de consumo de energia. Ciclo de vida do ambiente urbano. Auxiliar na definição de melhores locais e fases projetuais para implantação de hospital de emergência (controle da base de dados de imóveis disponíveis, fontes de dados da web etc.)

DENG et al., (2016)	A integração SIG-BIM possibilita criar mapas de ruídos que leve em consideração a influência de quaisquer alterações internas e externas.
----------------------------	---

Fonte: do autor

Integrar as duas tecnologias em projetos, de forma eficiente, ainda é um desafio (BARAZZETTI, 2018). A necessidade de processamento em diferentes softwares, ocasiona constante importação/exportação, resultando, geralmente, em perda de informações. Amorim (2015) verifica que tanto as plataformas CAD, quanto GIS, apresentam estes problemas de perda de informações, mesmo quando se trata de interoperabilidade dentro do seu próprio escopo (SIG-SIG) ou (CAD-CAD), seja em produtos de fabricantes distintos ou, até mesmo entre produtos de mesmo fabricante.

Da mesma forma que apresenta benefícios, a construção CIM traz desafios. Frente a estes, sintetizamos no Quadro 2 essas dificuldades, segundo alguns autores que estudam a integração.

Quadro 2 - Desafios da integração SIG e BIM

Desafios da integração SIG e BIM	
BARAZZETTI, (2018)	Necessidade de equipes multidisciplinares. O processo de importação/exportação incorre na perda de dados.
LIU et al., (2017)	Baixa flexibilidade e baixa extensibilidade. A incompatibilidade de informações, não apenas na diferença de formato padrão, mas também diferentes usuários, focos de aplicação, estágios de desenvolvimento, escalas espaciais, sistemas de coordenadas, representações semânticas e geométricas, níveis de granularidade e métodos de armazenamento e acesso à informação.
CHEN et al., (2018)	O processo requer uma quantidade considerável de retificações manuais e poder computacional, e isso se torna extremamente trabalhoso quando a tarefa está na escala urbana. A reconstrução pode ser trabalhosa, demorada e sujeita a erros. A geração automática de tais modelos para áreas urbanas de alta densidade permanece um desafio devido a condições topográficas complexas e dados irrelevantes (ruídos) para os edifícios, e complexidade computacional crescente exponencialmente quando a tarefa é reconstruir centenas de edifícios em escala urbana.
BARAZZETTI, (2018)	Indisponibilidade de ferramentas capazes de explorar de maneira avançada o SIG BIM.

	Requer muita modelagem manual para obter um modelo eficaz. Perda de informações entre softwares.
GUZZETTI et al., (2019)	As dificuldades relatadas pelo autor, se dão na modelagem. Inexistência de famílias específicas para áreas urbanas, dificuldade em definição de nível de detalhamento (saliência de um PV no asfalto, por exemplo, ou uma pedra inclinada).
BARAZZETTI e BANFI, (2018)	É preciso assegurar melhor nível de interoperabilidade, especialmente na escala do edifício. É necessário realizar transições dos arquivos entre softwares comerciais diferentes, não apenas em uma única direção (importar/exportar diversas vezes para obtenção dos produtos)
CAMPANARO et al., (2016)	Os softwares SIG disponíveis mostram limitações em lidar com as geometrias complexas na escala arquitetônica que, no campo de patrimônio cultural edificado, tendem a ser regra.
VACCA et al., (2018)	Faltam aplicativos de código aberto. É necessário muito tempo de modelagem, quando há muitos detalhes, sendo necessário avaliar se o custo-benefício de executá-los é satisfatório.
VACCA et al., (2018)	Não é possível exportar um modelo paramétrico criado em REVIT para qualquer software SIG.
ELLUL et al., 2018	Há uma falta de compreensão sobre o que exatamente envolve o GeoBIM. Falta de padronização e interoperabilidade.
BERLO et al., (2013)	Demanda melhorias nas funções de interoperabilidade, sendo a troca de dados sem falhas entre BIM e SIG um desafio. Os dados IFC de origem BIM e GIS ainda são dois mundos distintos, com processos, padrões e culturas próprias.
JESUS et al., (2018)	Interoperabilidade entre formatos de arquivos e ferramentas totalmente capazes de estruturar, manipular, analisar e representar 3D em formatos adequados para modelagem geométrica e semânticas de cidades ainda não foram desenvolvidas.
MA e REN (2017)	Diferentes tipos de plataformas e padrões de integração. Há a necessidade de práticas e validações em diferentes campos para todo o ciclo de vida.
DENG et al., (2016)	Gerar mapas de ruído tridimensionais exige muito para o atual poder de computação. O mapeamento de ruídos 3D em LoDs altos requer muito tempo de processamento. Os atuais softwares de mapeamento de ruído só permitem a avaliação de ruído interno ou externo separadamente.

Fonte: do autor

Através da tabela percebe-se que, dentre as discussões acerca dos desafios da integração levantadas pelos autores, destaca-se a referência a interoperabilidade, seguido de padronização de níveis de detalhamento, que são distintos nas duas tecnologias, assim como os softwares autorais não estão ainda preparados para essa integração, faltando soluções *open source* para isso.

2.2. Varredura Digital

Tecnologias de escaneamento, ou varredura digital, apresentaram significativo avanço nos últimos anos, possibilitando que levantamentos agreguem informações tridimensionais com muito mais precisão e agilidade. Diversos tipos de sensores vêm sendo utilizados em áreas distintas e com os mais diversificados propósitos. Na construção civil, por exemplo, a varredura digital auxilia na salvaguarda do patrimônio histórico, facilitando a documentação do estado atual de construções (*as-is*) que, em muitos casos, sequer possuem o projeto original (*as-design*) disponível. Na indústria automotiva, a varredura em tempo real é o que possibilita o surgimento dos veículos autônomos.

Hoje, as tecnologias de varredura digital são encontradas, até mesmo, em pequenos aparelhos, como smartphones e aspiradores de pó. Na Figura 5, são apresentadas imagens de divulgação do “Aspirador Robô XR 500” da empresa Liectroux, disponível comercialmente, por valores abaixo de R\$ 2.000,00. Este equipamento possui tecnologia de varredura, capaz de mapear os ambientes do imóvel, sendo capaz de retornar a uma base pré-estabelecida para carregamento e, após o mapeamento, o usuário pode indicar quais cômodos o equipamento deve realizar a limpeza.

Figura 5 - Foto divulgação de aspirador de pó com tecnologia de varredura digital



Fonte: Site oficial do fabricante, acesso em novembro de 2022.

A varredura digital por LiDAR (*Light Detection and Ranging*), ao nível terrestre, pode ser realizada por equipamentos estáticos, apoiados em tripés, por meio de equipamento instalado em veículos terrestres, navios ou aeronaves², ou mesmo, utilizados manualmente pelo técnico. Na Figura 6, são apresentados dois equipamentos da empresa FARO utilizados para o fim de levantamento tridimensional de geometrias complexas em construções históricas, sendo que em [A] foi utilizado escâner de mão (Faro Freestyle) para digitalização de altar religioso e em [B], laser escâner terrestre (TLS) - Faro Focus 3D - apoiado sobre tripés para levantamento de gruta revestida internamente e externamente por pedras irregulares, levantamento que seria inviável se realizado por instrumentos de medição manuais, como trena.

² MLS - "Mobile Laser Scanning", em português, "Varredura Laser Móvel". A técnica de MLS é utilizada em diversas aplicações, como mapeamento de vias urbanas, inspeção de estruturas e construções, modelagem de terrenos e monitoramento ambiental.

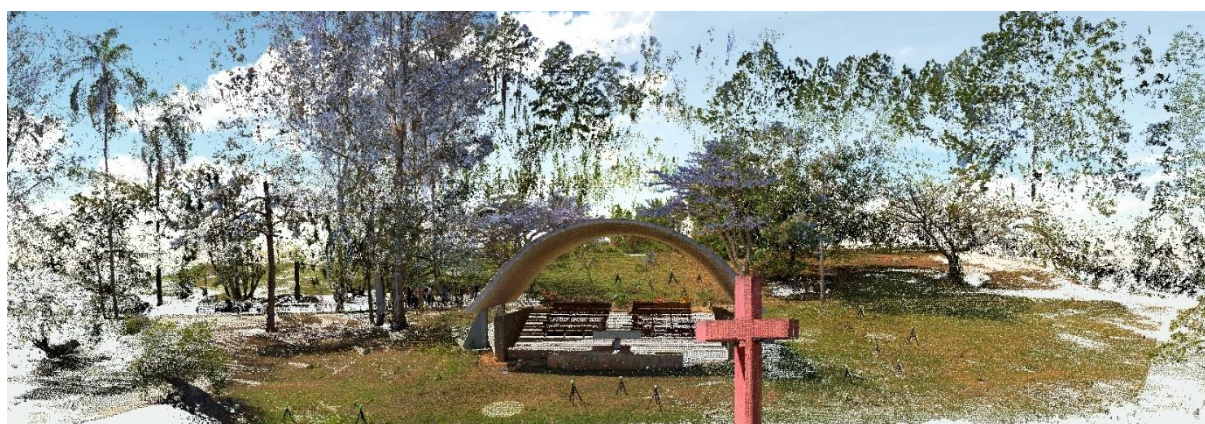
Figura 6 - Captação de nuvem de pontos utilizando escâner à laser.



Fonte: do autor

A Figura 7, apresenta o escaneamento LiDAR da capela da Fazenda Veneza, em Valinhos/SP. Trata-se de atividade realizada durante o workshop “*Laser scanning e manipulação de nuvem de pontos*”, oferecido pela empresa FARO no 2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (SBTIC), realizado em 2019. É possível observar que, não só os elementos que correspondem à geometria da construção são digitalizados, mas, também, todos os elementos que compõem seu contexto de implantação (chamados ruídos), como vegetação, terreno e topografia.

Figura 7 - Nuvem de pontos obtida por LiDAR – Interface do software Faro Scene



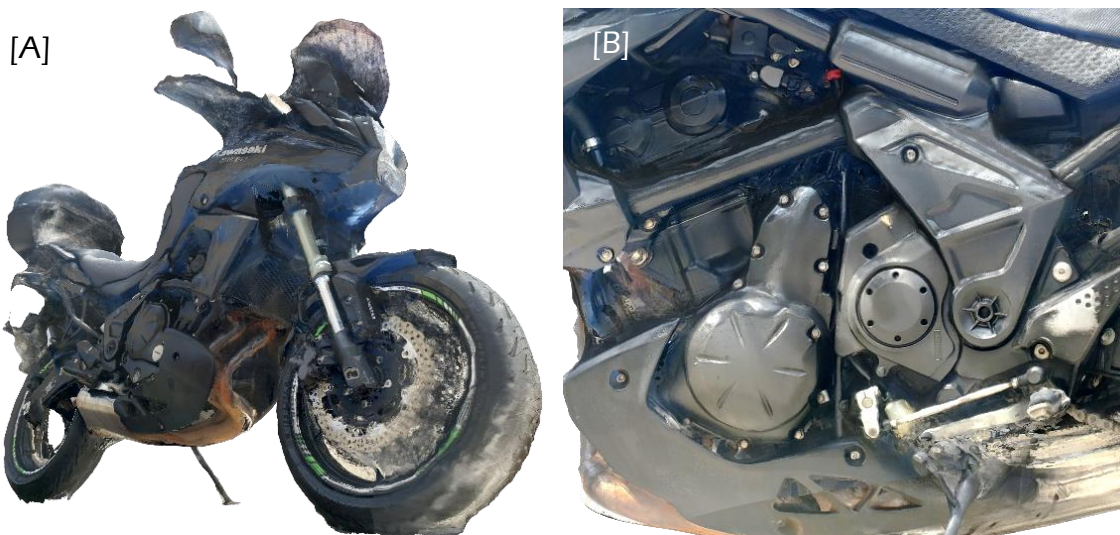
Fonte: SBTIC 2019

Com isso, otimiza-se o tempo para aferimento, aumenta-se a precisão e, com a geração da nuvem de pontos, é reduzida a necessidade de retorno *in loco* para conferências e aferições que possam ter sido ignoradas no levantamento.

As nuvens de pontos geradas a partir de equipamentos de tecnologia LiDAR apresentam grande precisão, com exatidão milimétrica e geram nuvens densas. As nuvens de pontos geradas por SfM, apesar de menos densas, apresentam precisão centimétrica (NASCIMENTO e DEZEN-KEMPTER, 2019), sendo hoje acessível a praticamente qualquer usuário, já que, as fotografias podem ser obtidas, até mesmo, por câmeras de smartphone.

Na Figura 8, é apresentado modelo tridimensional gerado por esta técnica, utilizando um smartphone comum, da marca *Samsung*. As imagens foram processadas no software RECAP PRO, onde se obteve a seguinte nuvem de pontos. A imagem [A] apresenta o modelo como um todo, já a imagem [B] apresenta um destaque aumentado da nuvem de pontos, onde é possível visualizar o nível de detalhamento obtido na geração do modelo.

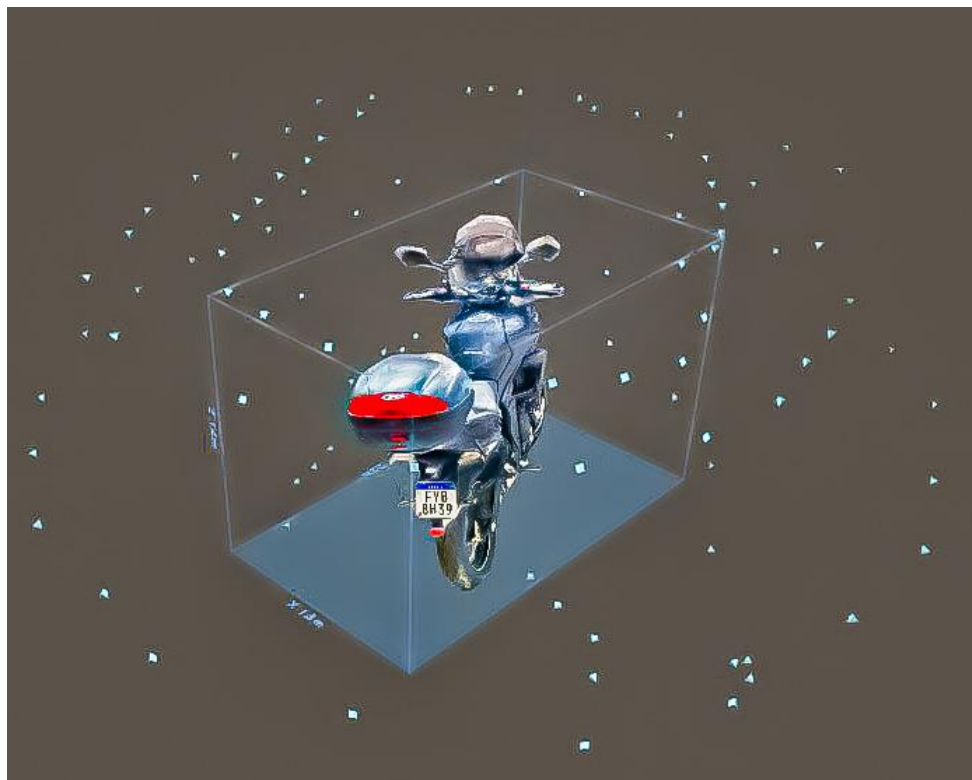
Figura 8 – Modelo tridimensional de motocicleta gerado através de fotogrametria - Interface do software Recap Photo



Fonte: do autor

Este modelo tridimensional, foi gerado através da captura de 114 fotos, feitas ao redor do veículo, com diferentes ângulos e alturas, representados pelos retângulos azuis na Figura 9.

Figura 9 - Pontos da captura fotográfica para geração da nuvem de pontos- Interface do software Recap Photo



Fonte: do autor

As tecnologias de digitalização à laser, fotogrametria integradas a técnicas de visualização computacional tridimensional, podem aumentar exponencialmente a eficácia das estratégias de conservação de edifícios antigos e aproveitar as ferramentas analíticas SIG para investigar estruturas em três dimensões (CAMPANARO, 2016).

Tendo em vista os níveis de detalhamento até aqui abordados, constata-se que, a considerar a macro escala existente no planejamento urbano, as nuvens de pontos geradas pelo processo de fotogrametria apresentam níveis de detalhamento suficientes para os levantamentos tridimensionais de infraestrutura e cidade.

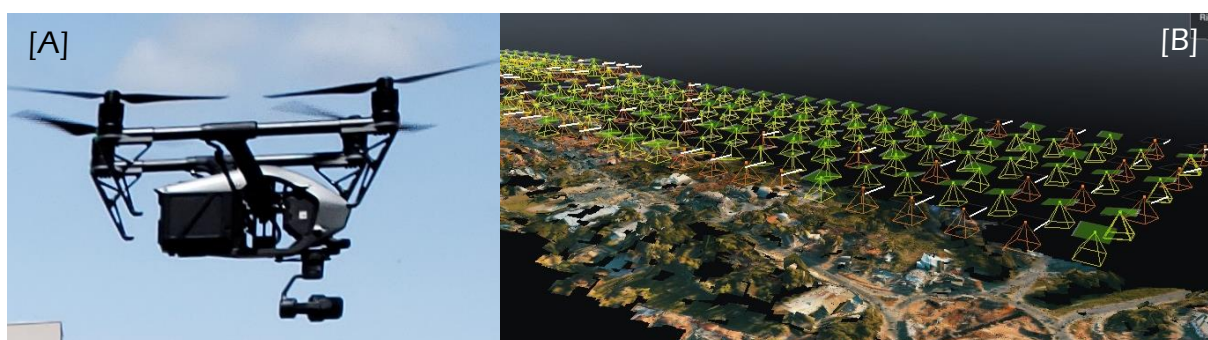
A captura de grandes áreas, bem como o detalhamento de geometrias de coberturas de edifícios, viadutos e bosques, no entanto, torna-se inviável se realizada apenas com varredura ao nível terrestre. A utilização de RPAS permite a cobertura de áreas mais extensas, além de locais de difícil acesso, seja por motivos naturais (topografia, brejos, existência de animais silvestres) ou mesmo antrópicos (construções obstruindo passagem, riscos de segurança pública).

Segundo Tziavou et al. (2018), a principal aplicação dos RPAS, que se desenvolveram significativamente nas últimas décadas, é o mapeamento, visualização

e modelagem tridimensional, contribuindo para aplicações como levantamentos topográficos, soluções fotogramétricas, análise de desastres, mapeamento arqueológico, agricultura e silvicultura.

Na Figura 10, em [A] visualizamos um dos modelos de RPAS com câmera embarcada disponíveis no mercado e, em [B], é possível ver o registro de voo indicando os pontos de captura fotográfica para o processo DAP, para gerar o modelo tridimensional.

Figura 10 - [A] Drone modelo DJI Inspire [B] Registro dos pontos de captura do voo - interface do software Context Capture



Fonte: do autor

Vários estudos apontam o alto potencial de utilização das nuvens de pontos geradas através da combinação de voos para processamento por correspondência de pontos, particularmente no que diz respeito a modelagem de terreno e objetos urbanos (FRITZ et al., 2013).

Para alimentação cadastral das bases de dados, seja em construção de modelos BIM, SIG ou CIM, o estado da arte apresenta um grande avanço nas técnicas de varredura digital

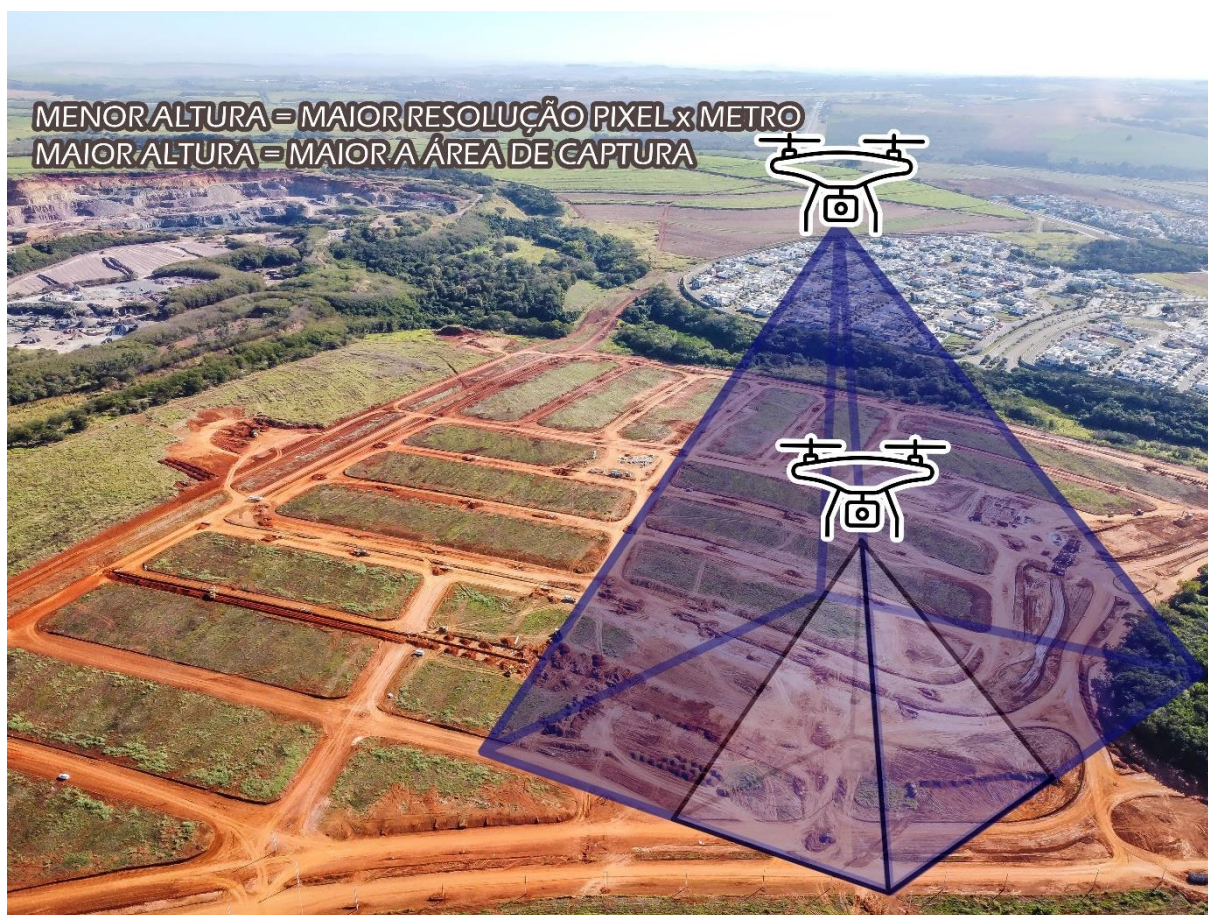
O objetivo da captura deve ser levado em consideração na hora de se definir os parâmetros de voo. Para Fritz et al. (2013), tradicionalmente os voos eram feitos em direção nadir³. A prática, no entanto, apesar de permitir a geração de ortofotos, impede o registro de estruturas verticais (nesse estudo em específico, aponta que os troncos de árvores ficam obstruídos neste ângulo de captura).

Os parâmetros de voo incluem, ainda, a distância de amostragem do solo (GSD) e grau de sobreposição longitudinal e lateral das imagens. Em geral, a distância

³ Refere-se ao ângulo de 90° em relação ao solo.

focal (f) da câmera digital é fixa, com isso, quanto maior a altura de captura, com relação ao solo, menor é o GSD (resolução da imagem, para identificação de detalhes), dado em pixels por metro, aumentando, no entanto, a área de cobertura (HE et al., 2012). A imagem seguinte, ilustra a situação, demonstrando que o mesmo equipamento, utilizando da mesma ferramenta de captura, abrange uma área maior, quando está posicionado em maior altitude.

Figura 11 - A altura de voo influencia na resolução pixel por metros que será obtida.



Fonte: do autor

Esta definição, é dada pelas equações seguintes, apresentadas no estudo de He et al. (2012), e definem o tamanho do pixel que será obtido na fotografia com relação a: (f) distância focal da câmera – em milímetros, (H) é a altura do voo – em metros, GSD é a distância da amostragem de solo – em metros, μ é o tamanho do pixel – em pixel por metros e os parâmetros W e S referem-se ao tamanho da imagem em pixels.

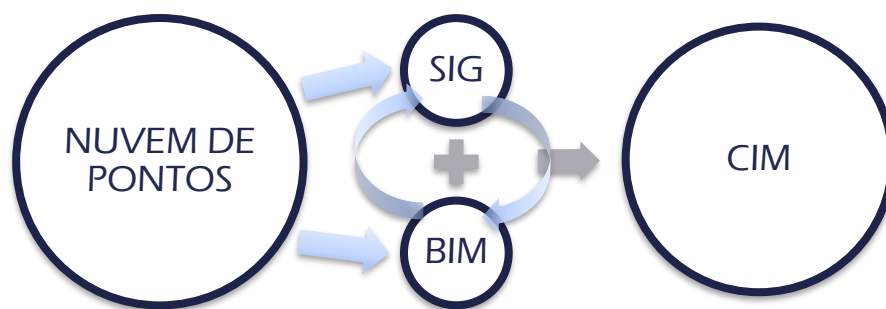
$$GSD = \frac{H}{f} \mu$$

$$\mu = \frac{W}{S_W} = \frac{H}{S_H}$$

A se considerar a celeridade do processo de coleta de imagens, podemos evidenciar que: quanto menos imagens, mais rápida será a varredura, logo, quanto mais alto for realizado o voo, maior a área de cobertura por foto, menos fotos serão necessárias para se completar o levantamento. No entanto, outro parâmetro que não pode ser desconsiderado é a variável de resolução, já que, o GSD obtido é calculado com base nesta mesma distância, sendo necessário, portanto, avaliar qual o GSD será necessário para o levantamento realizado na hora de se planejar o voo.

Para alimentação cadastral das bases de dados tridimensionais, seja em construção de modelos BIM, SIG ou CIM, o estado da arte apresenta um grande avanço nas técnicas de varredura digital. É representado na Figura 12, diagrama da proposta de utilização de tecnologias nesta pesquisa.

Figura 12 - Diagrama - proposta de utilização de tecnologias nesta pesquisa



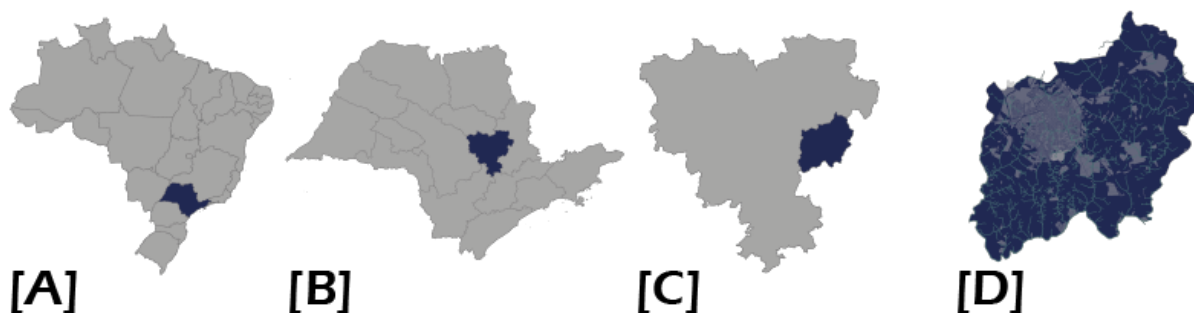
Fonte: do autor.

2.3. Gestão Urbana – abordagem local

Em contexto amplo acerca da gestão urbana, foram apontados, até aqui, diversos benefícios da integração SIG-BIM, bem como, alimentação de base de dados com informações tridimensionais, obtidas através de nuvens de pontos. Discute-se agora, a questão do espaço urbano e intraurbano⁴ de nosso objeto de estudo.

De maneira breve, avaliamos agora o contexto local do município escolhido para o estudo de caso, avaliando suas peculiaridades e mazelas, com relação aos padrões genéricos e rompendo possíveis estereótipos. A Figura 13 indica a localização da cidade Limeira, sendo [A] o país, [B] estado, [C] região Metropolitana e [D] limite municipal.

Figura 13 - Mapa de Localização de Limeira



Fonte: do autor

Integrante da Região Metropolitana de Piracicaba, sancionada pela Lei Complementar nº 1360/2021, Limeira é uma cidade média, localizada no estado de São Paulo. O Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) estima que em 2021 a população limeirense chegou a 310.783 habitantes. Sua logística é estratégica por estar inserida entre algumas das principais rodovias do país, a Rodovia Anhanguera SP-050, Rodovia dos Bandeirantes SP-348, Rodovia Washington Luís SP-364 e Rodovia Engenheiro João Tosello SP-147.

⁴ Por avaliar o termo espaço urbano muito abrangente, VILLAÇA (2012) utiliza o termo espaço intraurbano para melhor analogia aos arranjos internos do espaço urbano.

A proximidade com grandes metrópoles influencia diretamente seu crescimento, que apresentou um PIB per capita de R\$ 45.035,17 em 2019 (IBGE). Historicamente conhecida por sua produção de laranjas (Fig. 14), hoje, no entanto, o município possui o título de Capital Nacional da Joia Folheada, sancionado pelo governador Geraldo Alckmin em 2017.

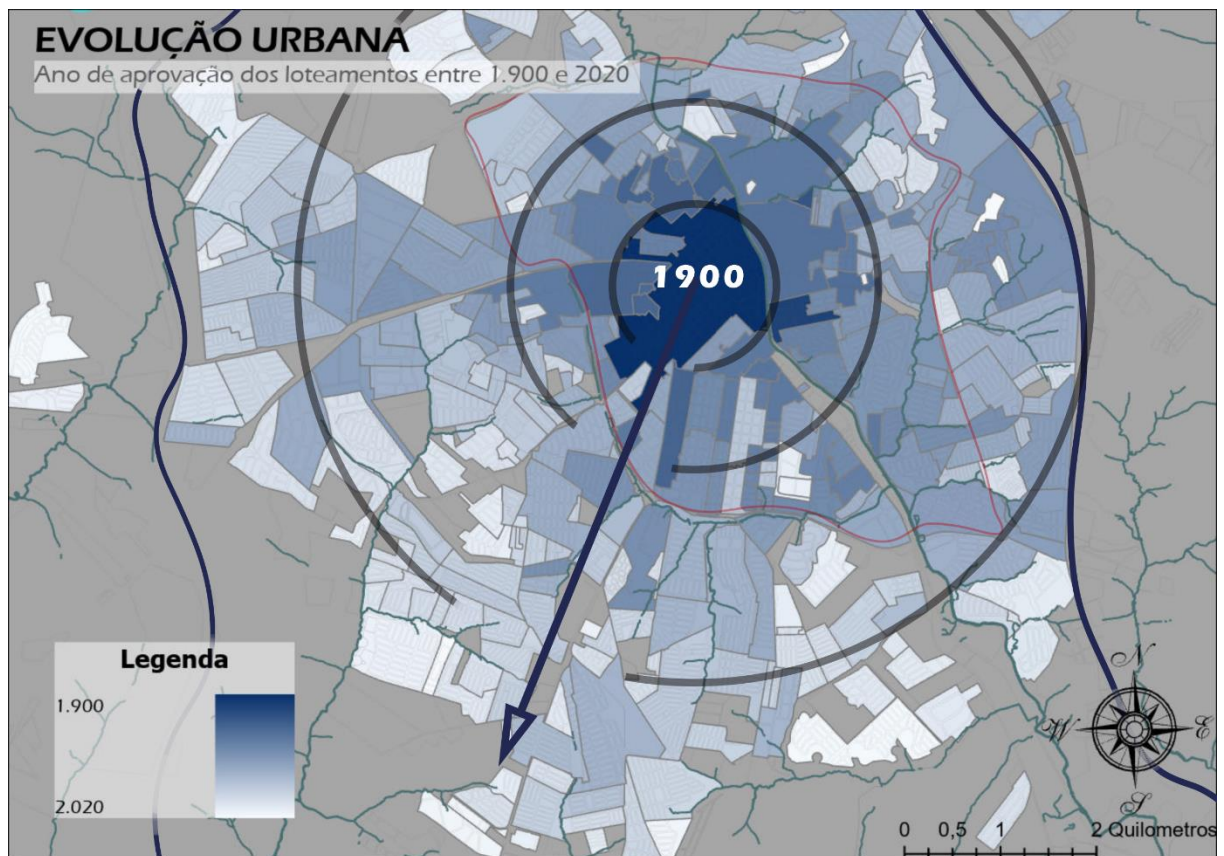
Figura 14 - Antiga plantação de Laranja em Limeira



Fonte: IBGE

A evolução da ocupação no município se deu de forma radial, com bairros implantados de maneira dispersa ao redor da malha existente da última década. O mapa de Evolução Urbana de Limeira, Figura 15, demonstra isso. Importante observar que o município possui duas barreiras limitantes a seu crescimento, sendo a oeste, a Rodovia Bandeirantes e a leste, a Rodovia Anhanguera.

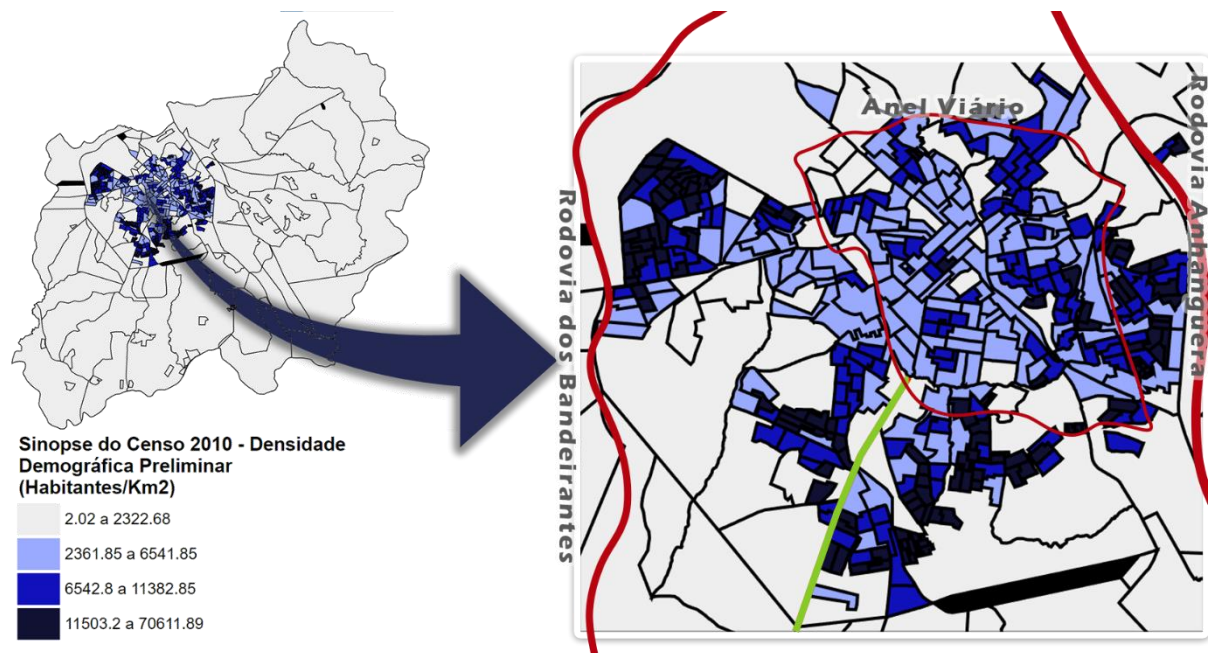
Figura 15 - Evolução Urbana de Limeira



Fonte: do autor

O mapa de densidade demográfica, de acordo com os dados do Censo 2010 do IBGE (Fig. 16), indica o adensamento existente nas áreas periféricas do município, é possível observar o entorno da Avenida Dr. Lauro Corrêa da Silva (destacada em verde no mapa).

Figura 16 - Mapa de densidade de ocupação populacional



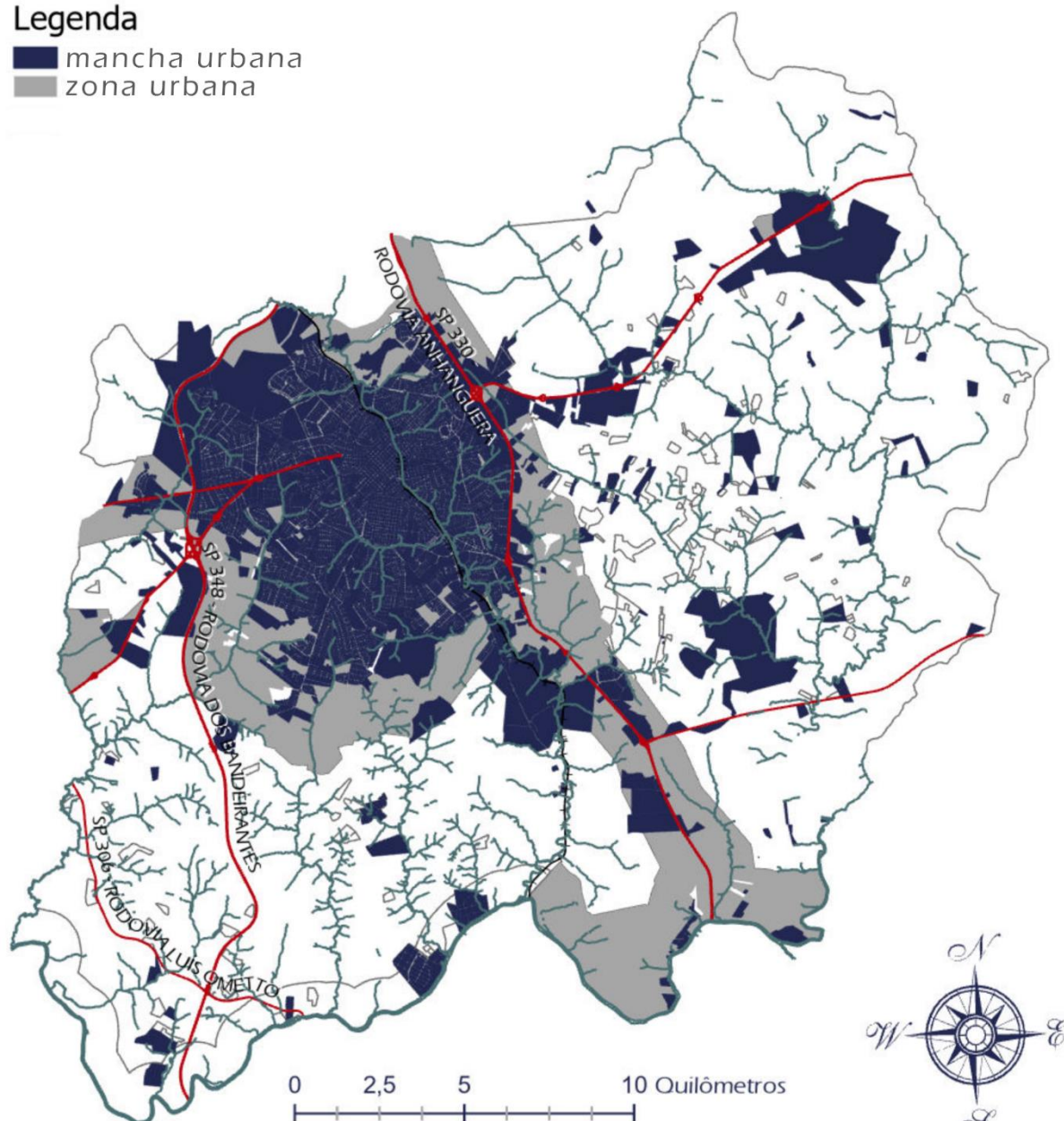
Fonte: IBGE, Censo 2010

O atual Plano Diretor Territorial e Ambiental (PD) de Limeira (Lei Complementar 442/2009 e suas alterações) delimita, em seu anexo 5, o Macrozoneamento do município. A Figura 17 apresenta a Zona Urbana, de acordo com o PD, sobreposta pelas quadras existentes; assim, torna-se possível observar onde se encontram os vazios urbanos. Em uma comparação com a Figura 16, é possível notar que a região sul do município possui uma das maiores taxas de ocupação sendo, ainda, região onde se encontram maior parte dos vazios urbanos.

Figura 17 - Mapa de ocupação

MANCHA URBANA**Legenda**

- mancha urbana
- zona urbana



Fonte: IBGE, Censo 2010

Uma particularidade do município, também possível de se observar no mapa da mancha de ocupação (Fig. 17), são os núcleos que foram parcelados clandestinamente em área rural, desconectados da malha urbana. Estes, pulverizados em área rural, formam, na maior parte dos casos, condomínios de lotes destinados à recreação. Sua regularização é realizada através da Lei Complementar 813/2018 e suas

alterações, que, reconhecendo o caráter irreversível das ocupações, busca reduzir o impacto ambiental, em especial, nas áreas de mananciais.

Essas ocupações irregulares, somam aproximadamente 350 núcleos urbanos informais, quase em sua totalidade desconectados de toda infraestrutura pública de saneamento básico, rede de transporte público, equipamentos educacionais e de saúde, evidenciando a distância entre o planejamento e a real expansão da cidade.

Sciota et al. (2022), em publicação realizada no portal Vitruvius, faz uma análise de qual é a forma resultante do atual (PD) de Limeira, mais de dez anos⁵ após sua implementação. Sciota, que coordenou a elaboração do atual plano diretor, avalia as novas ocupações com relação à “Integração Social”, “Mobilidade e Conexão Urbana” e “Paisagem Urbana”, para melhor compreensão da qualidade do espaço produzido. Indica que na relação morfológica de produção de cidades, em especial da concepção de espaços públicos e/ou coletivos e privados, são critérios inovadores desta lei:

- “1. obrigatoriedade de se criar lotes para habitação de interesse social em qualquer novo loteamento ou condomínio;*
- 2. limitação da dimensão da área fechada nos NUFs — Núcleos Urbanos Fechados, instituídos por loteamento fechado;*
- 3. variabilidade de tamanho de lotes, gerando a possibilidade de melhor integração entre camadas sociais diferentes;*
- 4. obrigatoriedade de lotes não residenciais no contorno dos NUFs;*
- 5. obrigatoriedade de contiguidade para novos parcelamentos, conectando-os à cidade existente. “*

Fonte: Sciota et al, 2022

A Figura 18 sintetiza as exigências inovadoras de desenho urbano previstas no PD.

⁵ Ressalta-se que, apesar de o Estatuto das Cidades definir a validade de 10 anos para planos diretores, o município de Limeira ainda não concluiu sua revisão, que teve início antes do período de pandemia ocasionada pelo SARS-CoV-2, coronavírus.

Figura 18 - Exigências inovadoras de desenho urbano previstas no PD de 2009

EXIGÊNCIA LEGAL	PADRÕES MORFOLÓGICOS IDENTIFICADOS	
	atendida	não atendida
QDR1: Dimensão máxima da quadra (indica a área máxima fechada)		
QDR4: Variabilidade de tamanhos de lotes no loteamento		
SIV 2: continuidade das vias do entorno		
CTG 1: contiguidade à malha urbana existente		
FCH 1: lotes externos localizados no alinhamento com a via pública		

Fonte: Sciota et al, 2022

A definição de um tamanho máximo para as quadras indicada no plano, bem como obrigatoriedade de criação de lotes externos aos loteamentos fechados, demonstra uma preocupação do PD alinhada com os conceitos de GEHL (2010, pp 53 e pp 21):

"(...)Grandes espaços e grandes edifícios marcam um ambiente urbano impessoal, formal e frio. (...) (...)A vida urbana versátil depende, basicamente, de convites(...)"

Bastante distante do esperado à elaboração do PD, os resultados da pesquisa apontaram que os novos loteamentos implantados, apesar de aprovados e fiscalizados pela administração pública, não atendem integralmente a legislação

"Forma urbana produzida: sabotagem? Os resultados da pesquisa apontam a forma urbana gerada a partir da nova lei e demonstram que, ao não atender aos critérios legais, que delineavam princípios de igualdade de acesso, de mistura de usos e classes sociais, quem perde é a cidade." (SCIOTA et al., 2022)

Como podemos interpretar esse distanciamento entre as propostas do PD e o distanciamento das análises de licenciamento frente aos loteamentos implantados? Basta entender que, por mais que haja interesse técnico em atender demandas sociais, a formação desta estrutura e da paisagem urbana é resultado, de acordo com VILLAÇA (2012), de intervenções no espaço em detrimento de interesses econômicos, sociais, políticos e culturais da sociedade. Há, portanto, outros atores que impõem alterações na paisagem da cidade, a saber:

- Os proprietários da terra;
- Os incorporadores imobiliários;
- Os empreendedores e construtores;
- Os movimentos sociais e
- O poder público.

Frente ao seu papel mediador entre os interessados, o poder público visa o equilíbrio entre os diferentes atores e demandas. A integração entre modelos SIG-BIM, possibilita uma melhor leitura dos cenários, tornando as tomadas de decisões na gestão pública mais assertivas.

A base de dados territorial do município, hoje é composta por shapefiles⁶ (formato de extensão .shp) georreferenciados. Para cadastro e elaboração dos mapas temáticos são utilizados os softwares ArcGIS e QGIS. Para atualização, são utilizados dados de sensoriamentos remotos que, em geral, são disponibilizados gratuitamente. As principais fontes utilizadas pela Divisão de Georreferenciamento e Topografia: Google, Bing e Cbers4a.

Os arquivos são organizados em GeoDataBases (GDB), sendo relevante para esta pesquisa o GDB de “Cadastro Territorial”. O GDB é composto por shapefiles como: áreas públicas, eixo de rua, escolas, estradas rurais, hidrografia, loteamentos, lotes, quadras, rede socioassistencial, saúde e segurança, além dos shapefiles relacionados à legislação: macrozoneamento, zoneamento e zonas corredores⁷.

Os atributos destes arquivos referem-se, apenas, a informações semânticas dos vetores, sendo estes bidimensionais e, em alguns casos, cadastro de proprietário de imóveis, com fins de registro de IPTU.

Segundo Pimenta (2018), em seu artigo sobre o Cadastro Predial Multifuncional em Portugal, um sistema cadastral multifinalitário contribui para o desenvolvimento econômico do país e, considerando que se encontram em constante evolução, seus benefícios tornam-se ilimitados. Destacando-se: desenvolvimento social e econômico, planejamento e gestão territorial, gestão florestal e planejamento e gestão de infraestruturas. O Quadro 3 apresenta síntese destes benefícios:

⁶ Um shapefile é um formato de armazenamento de dados de vetor, para armazenar a posição, forma e atributos de feições geográficas. (Portal for ArcGIS, 2022)

⁷ Todos os shapefiles descritos foram disponibilizados para análise desta pesquisa, através de solicitação realizada no e-sic - portal de acesso à informação, sendo apresentadas através do processo administrativo nº 43892/2020, em conformidade com a Lei Federal nº 12.527/2011 e Decreto Municipal 179/2019.

Quadro 3 - Benefícios do cadastro predial multifinalitário

Benefícios do cadastro predial multifinalitário	
Desenvolvimento social e econômico	redução dos litígios e processos relacionados a disputa de propriedades; aumento do investimento privado estrangeiro; redução de custos associados aos procedimentos administrativos; simplificação dos procedimentos jurídicos relativos aos direitos fundiários; aumento de segurança na atribuição do crédito hipotecário; proteção e acesso a seguros imobiliários contra riscos naturais ou de causas humanas; maior justiça fiscal e a justa compensação em caso de expropriação e aumento da transparência junto do cidadão.
Planejamento e ordenamento do território	mais agilidade em processos de licenciamento e fiscalização; maior eficiência na gestão do território, através de planos territoriais elaborados tendo por base informações atuais, aumento do interesse do investimento, decorrente de um maior esclarecimento e conhecimento das possibilidades de negócio; maior transparência e justiça em situações de expropriação; aumento do esclarecimento junto à população e aplicação mais eficaz das políticas públicas dos vários setores.
Gestão Florestal	identificação de proprietários e propriedades florestas, com uma promoção conjunta da prevenção de riscos; gestão integrada de grandes áreas de floresta e produção florestal; melhor gestão da floresta e fiscalização mais facilitada; maior rigor na atribuição de financiamentos e agilização na sobreposição de instrumentos de gestão de parcelamentos e edificações, proporcionando benefícios na gestão florestal sustentável e melhoria das atividades florestais.
Planejamento e Gestão de Infraestruturas	planejamento, expropriações, economia de recursos associados a grandes projetos de infraestrutura; rentabilização dos investimentos e redução de custos na construção e gestão de infraestruturas, muitas vezes decorrentes do fato de não estarem corretamente identificadas (a nível de subsolo).

Fonte: adaptado de PIMENTA, 2018

Deve se considerar, no entanto, que a implantação do sistema cadastral multifinalitário tende a ser problemática por sua abordagem metodológica. Além disso, sua viabilidade é onerosa e requer atualização cadastral frequente, com garantia de interoperabilidade entre o sistema tributário, sistema de registro de propriedades e o cadastro edilício (PIMENTA, 2018).

A cidade não é um sistema automatizado que pode ser facilmente compreendido e previsto, mas sim um sistema vivo que evolui a cada dia através de

variações e desenvolvimentos de suas construções físicas, atividades econômicas e políticas, configurações sociais e culturais e sistemas ecológicos (SHAHAT et al, 2021). Isso suscita a discussão da necessidade de ferramentas avançadas, como varredura digital, RPAS, Inteligência Artificial Geoespacial, aplicativos de Realidade Aumentada Geoespacial, Detecção de Luz e Variação em cidades inteligentes (SHIROWZHAN et al., 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desta pesquisa inclui:

Pesquisa bibliográfica, dividida em 3 etapas, com foco em três tecnologias de modo a obter-se o estado da arte, alicerçando o referencial teórico com potenciais e limitações da utilização das tecnologias se aplicadas à gestão urbana, sendo: (i) **Varredura Digital** – fotogrametria, escâner à laser e equipamentos embarcados em RPA-; (ii) integração entre as tecnologias **SIG** e **BIM**, para modelagem da informação e construção de modelos tridimensionais de infraestrutura urbana; e (iii) gestão urbana, para aproximação dos objetos de estudo;

Pesquisa exploratória: aplicação dos protocolos de levantamento aéreo, registro e análise de dados, modelagem da informação em regiões delimitadas nos municípios de Piracicaba e Limeira

3.1. Varredura digital, modelagem e enriquecimento semântico

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados na aquisição de dados dois modelos de RPA (Mavic Pro e Inspire 2), ambas do fabricante DJI, e um par de Receptores GPS da Ashtech de simples frequência.

O Mavic Pro é um RPA de pequeno porte, com autonomia de voo de até 30 minutos, dependendo das condições de vento e modos de voo. O equipamento possui 5 sensores visuais e alcance de até 7 km de distância, se livre de obstruções e sem interferência. Sua câmera possui um gimbal de 2 eixos (rotação e inclinação) que auxilia na estabilização das imagens e captura vídeos com resolução 4k e fotos com 12.7 megapixels.

O Inspire 2 é um equipamento fabricado com intenção de atingir o mercado profissional de filmagens com drones. Possui autonomia de 27 minutos de voo, em condições meteorológicas boas, sensores de visão que detectam obstáculos até 30 metros à frente e câmera capaz de fazer fotografias com 20.8 megapixels e filmagens 4k. Em comparação com o Mavic Pro, a câmera do Inspire é estabilizada por um gimbal

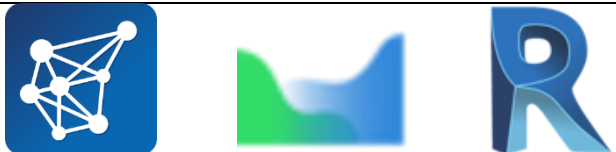
de 3 eixos (guinada, rotação e inclinação) que garante um resultado melhor para as gravações e tomadas fotográficas.

Os receptores GPS foram utilizados para obter-se pontos de controle, posteriormente utilizados para realizar a fototriangulação da área de estudo, permitindo precisão no georreferenciamento dos produtos obtidos (ortofoto, nuvem de pontos, modelo digital de superfície).

Para aquisição de dados, preliminarmente a avaliação do local foi realizada utilizando o Google Earth e Google Street View. Já para automação do levantamento, possibilitando a captura autônoma das imagens pelo RPAS foram empregados os aplicativos para celular e tablet, entre eles o DJI Go, CTRL+ DJI, Pix4D Capture e Drone Deploy.

A restituição fotogramétrica foi realizada através de softwares da fabricante Autodesk (RECAP PRO, RECAP PHOTO), da Agisoft (METASHAPE-PHOTOSCAN) e da Bentley (CONTEXT CAPTURE). Para a modelagem 3D BIM foram usados os softwares da fabricante Autodesk (REVIT e AutoCAD) e da Graphisoft (ArchiCAD). As ferramentas SIG utilizadas foram da fabricante ESRI (ARCGIS, ARCMAP, ARCSCENE) e o software livre QGIS. Para integração de arquivos SIG e BIM, foi utilizado o software InfraWorks da Autodesk.

Quadro 4 - Ilustração do instrumental utilizado para aplicação da pesquisa

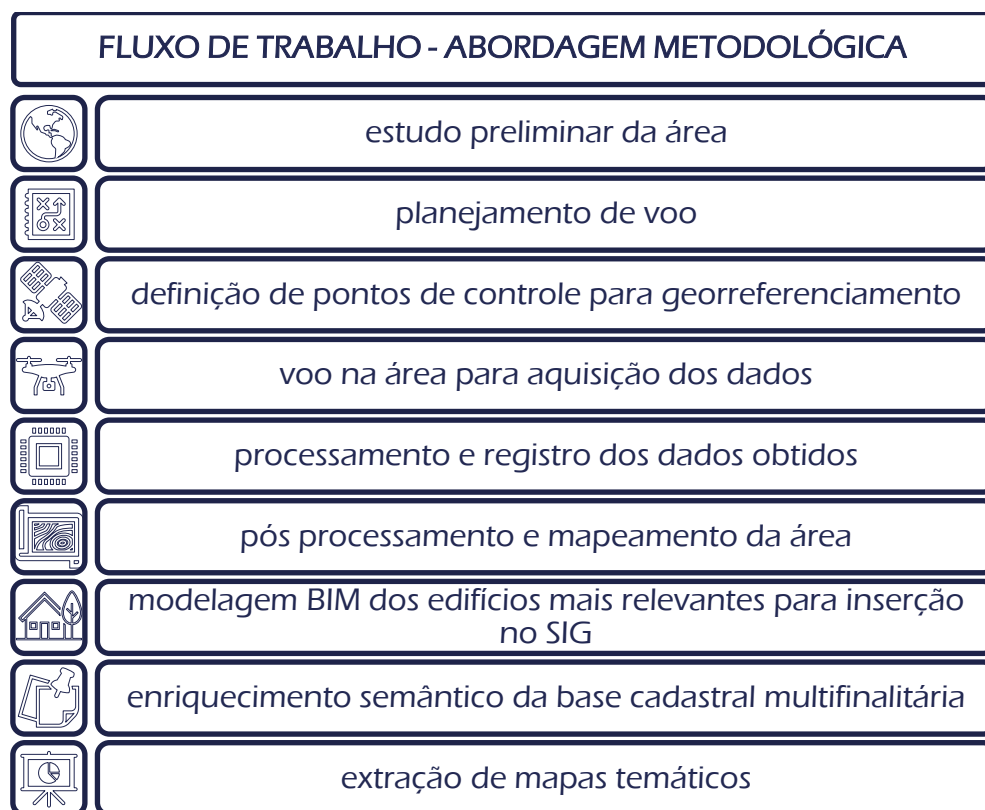
Instrumental utilizado na aplicação da pesquisa	
Equipamentos utilizados	
Softwares: Aquisição de dados (planejamento)	
Softwares: Aquisição de dados (automação e captura)	
Softwares: Processamento e manipulação de nuvem de pontos	
Softwares: Modelagem e visualização da informação	

Fonte: imagens obtidas em acervo digital do google.

O protocolo utilizado foi elaborado através de análise de outros levantamentos realizados pelo laboratório Lab.ARO3D da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP. O principal objetivo foi otimizar o processo em relação a: tempo de aquisição, tamanho de arquivo, velocidade de processamento e quantidade de visitas necessárias in loco.

Sendo assim, o fluxo de trabalho foi definido de acordo com o diagrama apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Abordagem Metodológica



Fonte: do autor

Estudo preliminar da área: é feito de maneira a auxiliar o planejamento de todo o processo, principalmente no que concerne a etapa de aquisição dos dados, já que, em alguns casos o levantamento poderá ser realizado em outros municípios, devendo, portanto, se prever o máximo de informações e intercorrências possíveis no momento da aquisição. Análise em imagens de satélite disponíveis é fundamental nessa etapa, já que esclarece questões de ocupação do solo (Há edificações? É possível presumir o gabarito das edificações através das sombras das imagens ou *Street View*? Massa arbórea? Topografia plana ou acidentada?) e viário (Existem ruas? São pavimentadas?). Nesta etapa, foram utilizadas as informações disponíveis na internet e no software Google Earth, para um primeiro contato com a área, ajudando a ter dimensão das tarefas seguintes a serem realizadas. Avaliadas as condições, deve ser solicitada autorização para o(s) voo(s) ao DECEA, verificando a segurança e distâncias mínimas de aeroportos e áreas de risco.

Planejamento de voo: a definição da missão no aplicativo PIX4D Capture é feita previamente, considerando o GSD almejado (diretamente relacionado com a altura do voo) e sobreposição necessária entre as imagens. Assim, é possível saber

antecipadamente qual será o tempo estimado de voo. Considerando a duração limitada das baterias do RPAS de cerca de 15-30 minutos de acordo com as condições de vento, e o tempo necessário para cobertura de toda área a ser levantada, parte importante do planejamento é estudar previamente o plano de voo para mensurar quantidade de baterias e decolagens necessárias. Além disso, condições meteorológicas devem ser avaliadas e, como não é possível saber as condições de disponibilidade de sinal de internet in loco, deve-se salvar o plano de voo no aparelho que irá executá-lo.

Definição de pontos de controle para georreferenciamento: com os dispositivos receptores GPS de simples frequência, são definidos pontos de controle para posterior georreferenciamento das imagens na área a ser levantada, de maneira a se obter maior precisão e, se necessário, redimensionamento das imagens obtidas. Os pontos adotados em geral são definidos de acordo com locais com maior disponibilidade de sinal de satélites (sem pontos de oclusão como árvores, redes de energia elétrica, edificações ou outros) e visibilidade com o RPAS (não ter visão obstruída por copa de árvores, por exemplo).

Voo na área para aquisição dos dados: por se tratar de um equipamento que captura fotografias e realiza filmagens é necessário que as condições climáticas sejam favoráveis no dia do voo. Uma boa iluminação natural e poucas sombras geram produtos mais precisos e de melhor resolução sendo, portanto, dias ensolarados (de preferência, com poucas sombras na área a ser levantada) são ideais para aquisição dos dados. O local de decolagem e pouso necessariamente deve ser aberto, sem obstáculos para a operação do RPA. Foram realizados voos com alturas entre 60m e 120m para análise comparativa dos resultados e a câmera foi configurada para fazer capturas perpendiculares ao solo (nadir) e, também, a 45° e 60°.

Processamento e registro dos dados obtidos: as imagens capturadas nos voos foram processadas em softwares distintos para análise comparativa dos produtos gerados. Através do Metashape, produzido pela Agisoft, do Recap Pro, produzido pela Autodesk, e do Context Capture da Bentley foram obtidos após registro e processamento: Nuvem de Pontos Densa e Esparsa, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital de Elevação e Ortofoto.

Pós processamento e mapeamento da área: com a ortofoto e os pontos de controle georreferenciados, foi modelado em base vetorial SIG o arruamento, quadras,

lotes e perímetros de edificações. Cada lote recebeu uma inscrição para distinção adequada nas planilhas que foram posteriormente extraídas.

Modelagem BIM dos edifícios mais relevantes para inserção no GIS: em alguns casos, edificações podem possuir grande relevância para o planejamento urbano, seja por sua importância histórica, seja pela sua geometria que pode influenciar a incidência solar em outras construções, barreiras de vento ou outros. Sendo assim, durante o processo de estudo, algumas edificações foram modeladas em BIM, em LOD 1, com suporte da nuvem de pontos, que possibilitou uma identificação precisa das medidas das construções. Estes modelos foram exportados em formato IFC, para poderem ser importados no software GIS.

Enriquecimento semântico da base cadastral multifinalitária: com dados levantados in loco e disponibilizados pelas prefeituras municipais, foram inseridas a cada lote informações como matrícula, áreas, uso, gabarito dentre outros.

Extração de mapas temáticos: com todos os dados inseridos no cadastro, foi possível a criação de mapas temáticos de uso e ocupação do solo, estado de conservação de edificações, áreas construídas, dentre outros. Estes mapas evidenciam de maneira visual a realidade das áreas levantadas, auxiliando a administração a compreender a realidade dos bairros e criar diretrizes de planejamento.

3.2. Objeto de Estudo

Áreas de dois municípios do estado de São Paulo foram objetos de estudo deste trabalho.

Na cidade de Piracicaba/SP, o Bairro Monte Alegre foi selecionado por sua diversidade arquitetônica e características históricas. Toda a colônia que compõe o bairro é tombada em nível municipal pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Cultural do Município de Piracicaba (CODEPAC) e alguns edifícios são tombados por suas características peculiares: a Escola Marquês de Monte Alegre, inaugurada em 1927 e a Capela de São Pedro, construída em 1936, que possui afrescos pintados por Alfredo Volpi em todo interior.

A colônia, composta pelas Vilas: João de Barro, Maria Helena, Joanelinha, Josefina, Heloisa e do Comércio; apresenta algumas construções em ruínas e as edificações são predominantemente horizontais com gabaritos de até 6 metros de altura, exceto a Usina que se destaca na paisagem, apesar do avançado estado de destruição. A Figura 20 apresenta nuvem de pontos obtida através da captura realizada no bairro.

Figura 20 - Bairro Monte Alegre (nuvem de pontos)

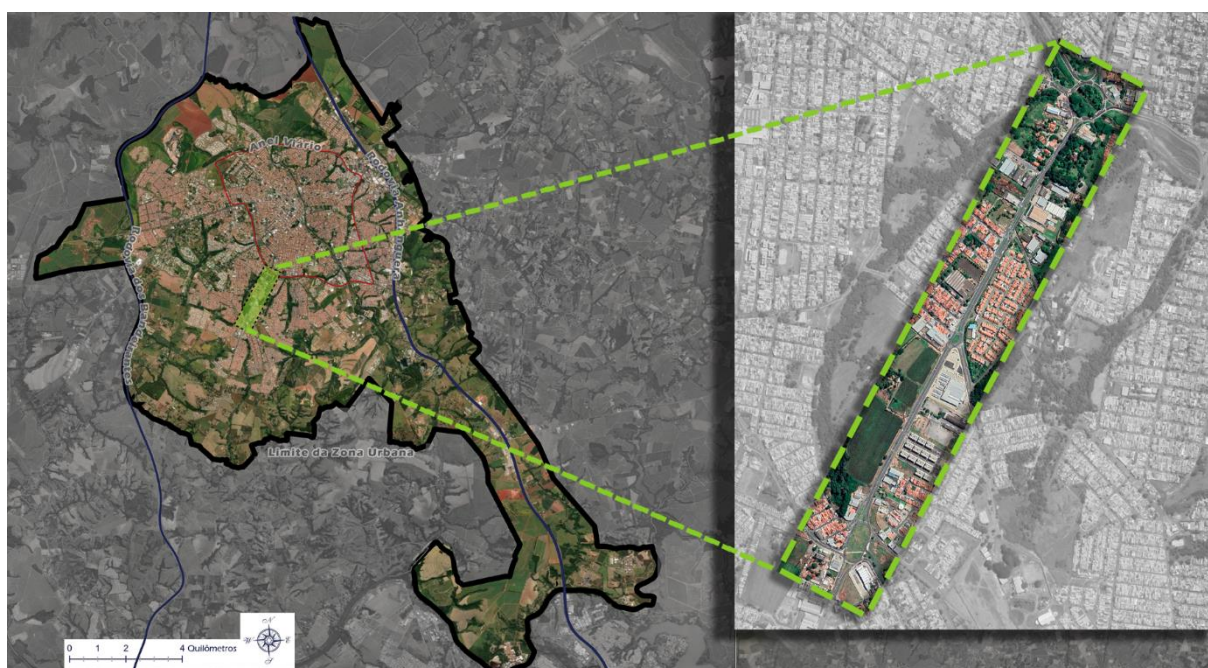


Fonte: Interface do software Context Capture

Diversificando a metodologia, no que concerne o perímetro a ser levantado, o segundo objeto de estudo está localizado na cidade de Limeira/SP, sendo escolhido para levantamento um eixo viário importante, a Avenida. Dr. Lauro Corrêa da Silva. Neste local, por tratar-se de uma via, a abordagem foi um levantamento de forma mais linear, em contraponto ao primeiro, com forma mais próxima de um quadrilátero. Esta avenida, é considerada uma via de comunicação com o vetor de crescimento da cidade, sendo estimado um intenso aumento de fluxo nos próximos anos com o desenvolvimento urbano da área sul da cidade. A avenida é definida pelo PD, em seu anexo 3, como via coletora, por sua característica de interligação de diversos bairros ao centro da cidade.

Sua ocupação é mais dinâmica em relação ao bairro de Piracicaba. Possui, além das edificações térreas, conjuntos habitacionais verticais, maior fluxo de automóveis e variedade de ocupação, com trechos de alta densidade demográfica contrapondo a vazios urbanos. A Figura 21 apresenta o eixo da via levantado destacado em verde, conectando o setor sul da cidade ao anel viário (em vermelho) e, em azul, destacada a Rodovia Anhanguera (ao leste) e Rodovia dos Bandeirantes (a oeste).

Figura 21 - Avenida Dr. Lauro Corrêa da Silva



Fonte: do autor.

4. ESTUDO DE CASO – PIRACICABA/SP

4.1. Estudo piloto Bairro Monte Alegre - DIM

Auxiliando a imersão e aprofundamento nos conhecimentos teóricos e práticos das técnicas de varredura digital, modelagem e georreferenciamento, os estudos realizados na disciplina FT 043 – Tópicos em Tecnologia para Informação I, da Faculdade de Tecnologia da Unicamp, oferecida em 2019, foram considerados uma etapa importante para o desenvolvimento deste trabalho. O trabalho desenvolvido na disciplina tornou-se o estudo piloto desta pesquisa e definiu estratégias para serem empregadas no objeto de estudo em Limeira.

Na disciplina foi realizado um levantamento do Bairro Monte Alegre, no município de Piracicaba. O bairro, considerado de valor histórico, tem seu surgimento no início do século XX, composto por seis vilas operárias com intuito de atender uma demanda dos operários do Engenho Central de Monte Alegre.

Parte de suas edificações está em estado de ruínas, abandonadas e, sem salvaguarda adequada, sofrem com a ação do tempo. Outras, no entanto, como a Escola Marquês de Monte Alegre, construída em 1927 e ampliada em 1940, encontram-se em melhor estado de conservação, recebendo mais atenção, inclusive, da municipalidade que em 2002 tombou o edifício pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Cultural do Município de Piracicaba (CODEPAC).

Outra edificação tombada no bairro é a Capela de São Pedro, construída em 1936, e decorada com afrescos pintados por Alfredo Volpi. Seu tombamento foi decretado também pelo CODEPAC, em 1991.

A Figura 22 apresenta modelo tridimensional do Bairro Monte Alegre, realizado após a captura e processamento das imagens do aerolevanteamento.

Figura 22 - Modelo Digital gerado do Bairro Monte Alegre – Interface do software Context Capture



Fonte: Do autor

A aquisição de dados no bairro foi realizada no mês de julho de 2019, através do grupo de trabalho da disciplina FT 043. Para tanto, foram utilizados diversos sensores de aquisição como o RPA: Drone DJI Mavic PRO, Receptores GPS Geodésicos da Ashtech e Laser escâner Freestyle da marca Faro.

4.2. Estudo preliminar da área e planejamento de voo

Para captura foram considerados alguns fatores preliminares:

- Por se tratar de levantamento fotográfico, o dia deveria estar ensolarado para captação de mais detalhes da área de estudo;
- O voo foi realizado próximo ao meio-dia, para redução de áreas sombreadas;
- Definida a altura de voo de 60m, foi escolhido um ponto de partida em local de maior altitude no distrito, para que não houvesse possibilidade de colisão do equipamento;

- A missão de voo foi dividida em etapas de, no máximo, 15 minutos, para garantir a autonomia de cada bateria, não correndo risco de uma missão ser interrompida;
- As missões foram realizadas em duplo grid para haver maior sobreposição de imagens;
- As missões foram realizadas em dois ângulos para reduzir pontos de oclusão e ampliar a possibilidade de captura de profundidade no processo SfM.

4.3. Pontos de controle para georreferenciamento

Os receptores GPS de simples frequência foram posicionados em vias do bairro, utilizando alvos naturais para posterior registro junto às imagens capturadas. Na Figura 23, é possível identificar que, durante o voo RPAS, estava sendo o receptor colocado na sinalização horizontal de trânsito. Utilizar alvos naturais existentes no local é uma alternativa aos alvos móveis, garantindo que as estações e pontos na ortofoto serão coincidentes. Ao todo, foram coletados 9 pontos de controle.

Figura 23 - Alvo natural utilizado para captura com receptor GPS de simples frequência



Fonte: Do autor

4.4. Voo na área para aquisição dos dados

Além da aquisição das imagens do distrito como um todo para produção das ortofoto e nuvem de pontos, algumas construções de interesse foram levantadas de maneira individual, a fim de se obter uma nuvem de pontos mais densa e precisa. A Capela de São Pedro, foi um desses edifícios. Na Figura 24 é apresentada uma das fotos obtidas pelo RAPS para criação da nuvem de pontos específica da igreja.

Diferente do voo para obtenção da ortofoto, programado pelo aplicativo Pix4d, os voos para a criação das nuvens de pontos dos edifícios foram feitos de forma manual. Através do aplicativo DJI GO, foi definido que a câmera deveria realizar uma captura a cada 2 segundos de forma automática. O trajeto do voo, no entanto, foi realizado manualmente pelo operador do equipamento, buscando realizar todo o contorno da edificação utilizando diferentes alturas e diferentes ângulos da captura para, assim, reduzir os pontos de oclusão.

Figura 24 - Capela de São Pedro



Fonte: Do Autor

4.5. Processamento e registro dos dados obtidos

As imagens obtidas foram importadas no software Metashape (da Agisoft), seguindo o seguinte *workflow* de processamento: importar imagens, alinhar imagens, construir nuvem densa, construir modelo digital de superfície, construir ortomosaico. A Figura 25 apresenta o ortomosaico gerado de parte do Bairro Monte Alegre.

Figura 25 - Ortofoto do Bairro Monte Alegre



Fonte: Dezen-Kempter et al. (2019)

4.6. Pós processamento e mapeamento da área

A nuvem, gerada no formato .LAS, foi importada no software RECAP PRO da Autodesk, no qual foi possível realizar medições e seções da nuvem para obter o gabarito das edificações, visando criar posteriormente os modelos de cada uma delas no LOD 1⁸, conforme Figura 26.

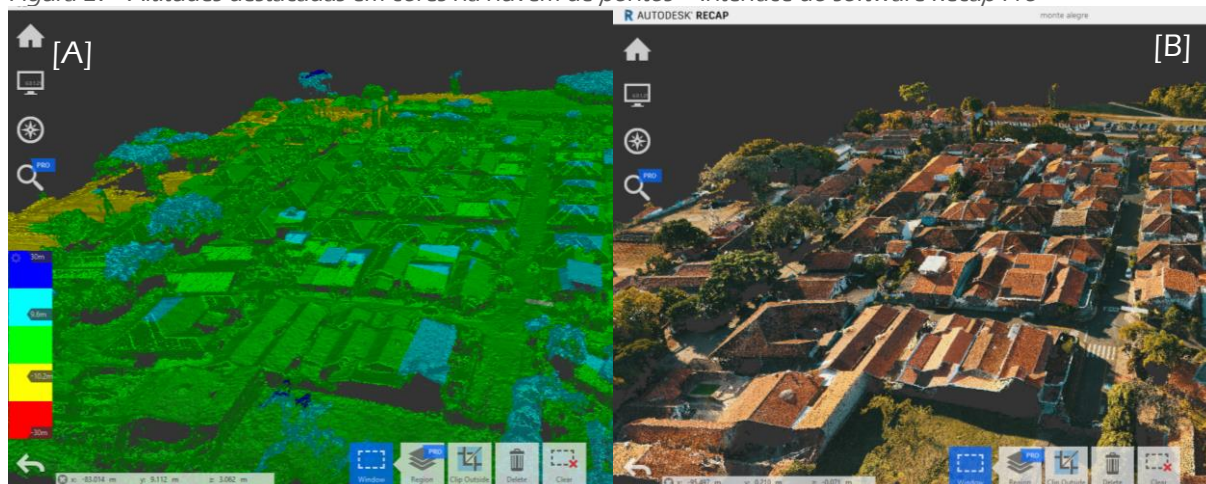
Figura 26 - Diferentes níveis de detalhamento



Fonte: Biljecki, 2017

A Figura 27 apresenta diferentes formas de visualização da nuvem de pontos no RECAP PRO, respectivamente a altitude dos pontos capturados [A] e com a textura original em RGB [B].

Figura 27 - Altitudes destacadas em cores na nuvem de pontos – Interface do software Recap Pro



Fonte: Do Autor

⁸ Level of Development (LOD) é a padronização adotada para os níveis de detalhamento variando entre LOD 1 (menos detalhes, representação do lote) e LOD 4 (construção completamente detalhada, contendo informações inclusive de seu interior).

4.7. Modelagem BIM dos edifícios mais relevantes

Para critérios de preservação através da documentação das edificações históricas, como apontado no item 4.1, edifícios de grande importância histórica e cultural para o bairro foram levantados individualmente de maneira a se obter uma nuvem de pontos com maior densidade e detalhe, possibilitando a construção de seus gêmeos digitais.

Para a modelagem BIM destes edifícios, em LOD 3 e 4 (CityGML), foram empregados os softwares Revit e ArchiCAD e, posteriormente, os modelos gerados foram exportados em formato IFC para integração com o modelo SIG.

Além de utilizar o RPAS, foram utilizadas câmeras fotográficas do tipo DSLR (*Digital Single Lens Reflex*), com lente fixas super zoom (Nikon Coolpix P1000), Mirrorless compacta (Sony ILCE 6000) e câmeras compactas de celular. As 498 imagens capturadas por essas câmeras foram importadas simultaneamente no software, que conseguiu realizar o registro e processamento, mesmo com equipamentos da captura com diferentes características. A nuvem de pontos gerada é apresentada na Figura 29.

Figura 28 - Nuvem de pontos do interior da Capela São Pedro, gerada através de imagens obtidas a partir de diferentes câmeras fotográficas



Fonte: Dezen-Kempton et al. (2019)

Todas essas informações foram utilizadas para reconstituição cadastral do bairro, criando-se polígonos que representassem a real ocupação de cada lote. Esse processo foi utilizado, principalmente, com suporte do ortomosaico, que permitiu, de maneira visual, identificar a projeção de ocupação de cada uma das edificações.

4.8. Enriquecimento semântico da base cadastral multifinalitária

Construída a base em SIG, com suporte do Modelo Digital Tridimensional e o ortomosaico, foram criados os seguintes atributos para alimentação do sistema:

- Ano de construção;
- Uso e ocupação do solo;
- Estado de conservação da edificação; e
- Grau de descaracterização das construções.

Neste ponto, foi realizada análise em documentos históricos e das características das edificações, suas adaptações e materialidade.

4.9. Extração de mapas temáticos

Com os atributos definidos e a base de dados criada, foram gerados 4 mapas temáticos do bairro. As informações de ano de construção, permitiram gerar um mapa que apresenta a evolução histórica do bairro.

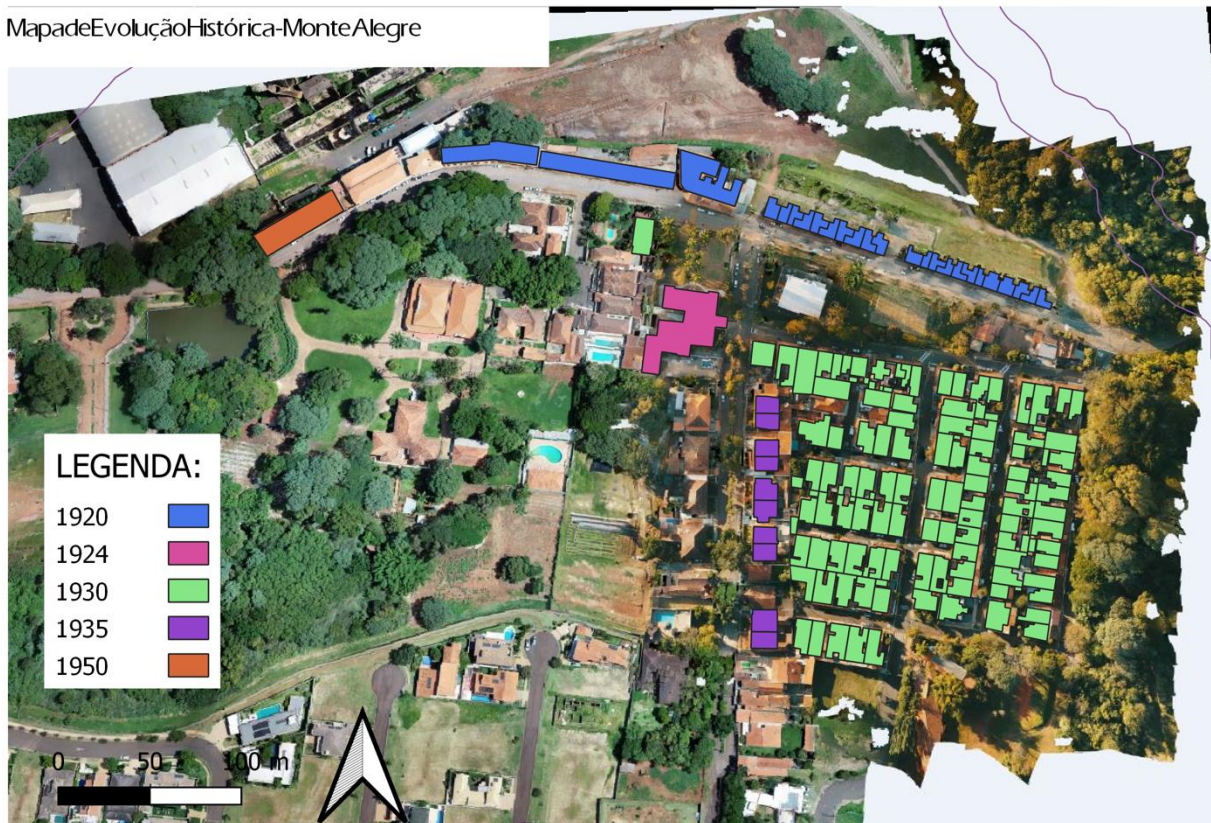
O mapa de uso e ocupação do solo demonstra que pouco se alterou na dinâmica de setorização do bairro desde seu surgimento. A avenida de acesso apresenta utilização mais diversificada, dando espaço aos serviços no local. As áreas residenciais permanecem como tal.

O mapa de evolução histórica, apresenta o ano de construção das vilas, entre 1920 e 1950 (Figura 29).

O mapa de descaracterização das construções (Figura 30) foi elaborado a partir da análise crítica da equipe de trabalho que avaliou quais edificações sofreram mais, ou menos, modificações que a diferenciam do estado original.

Figura 29 - Mapa de evolução histórica das construções de Monte Alegre

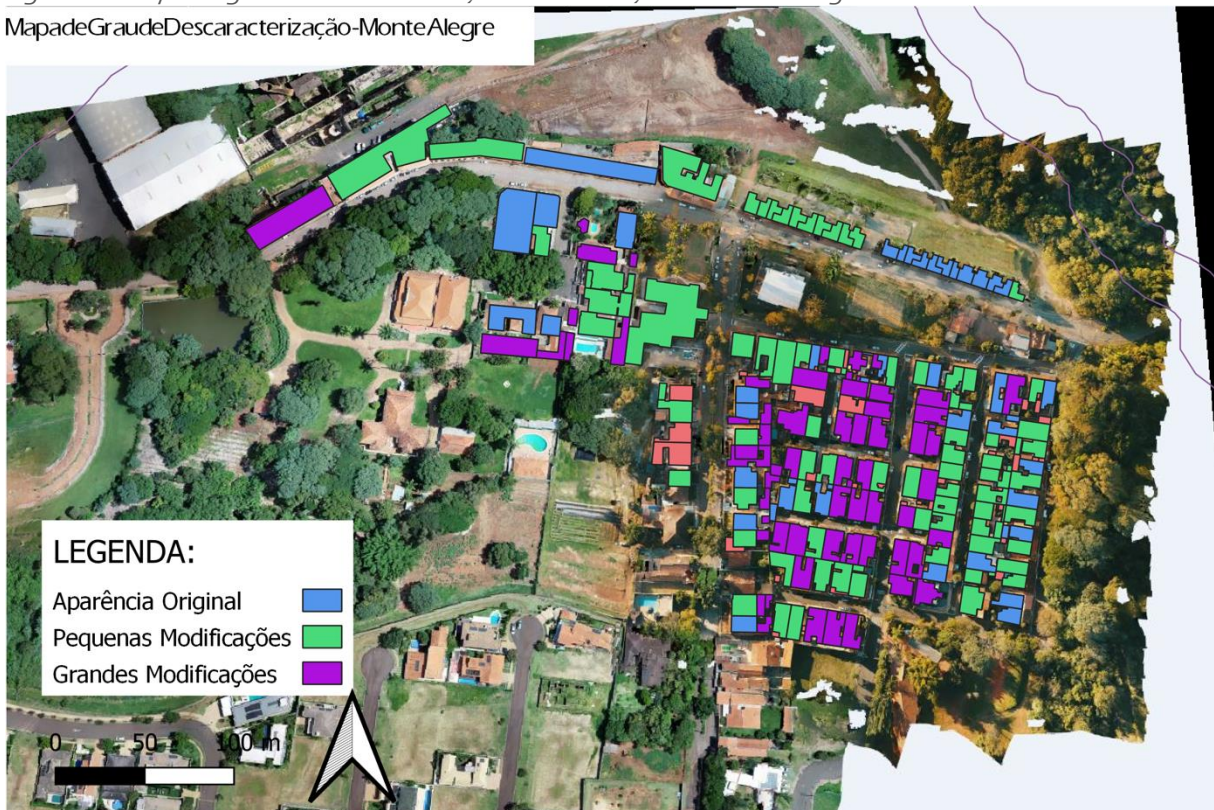
MapadeEvoluçãoHistórica-MonteAlegre



Fonte: Dezen-Kempton et al. (2019), adaptado pelo Autor

Figura 30 - Mapa do grau de descaracterização das construções de Monte Alegre

MapadeGraudeDescaracterização-MonteAlegre



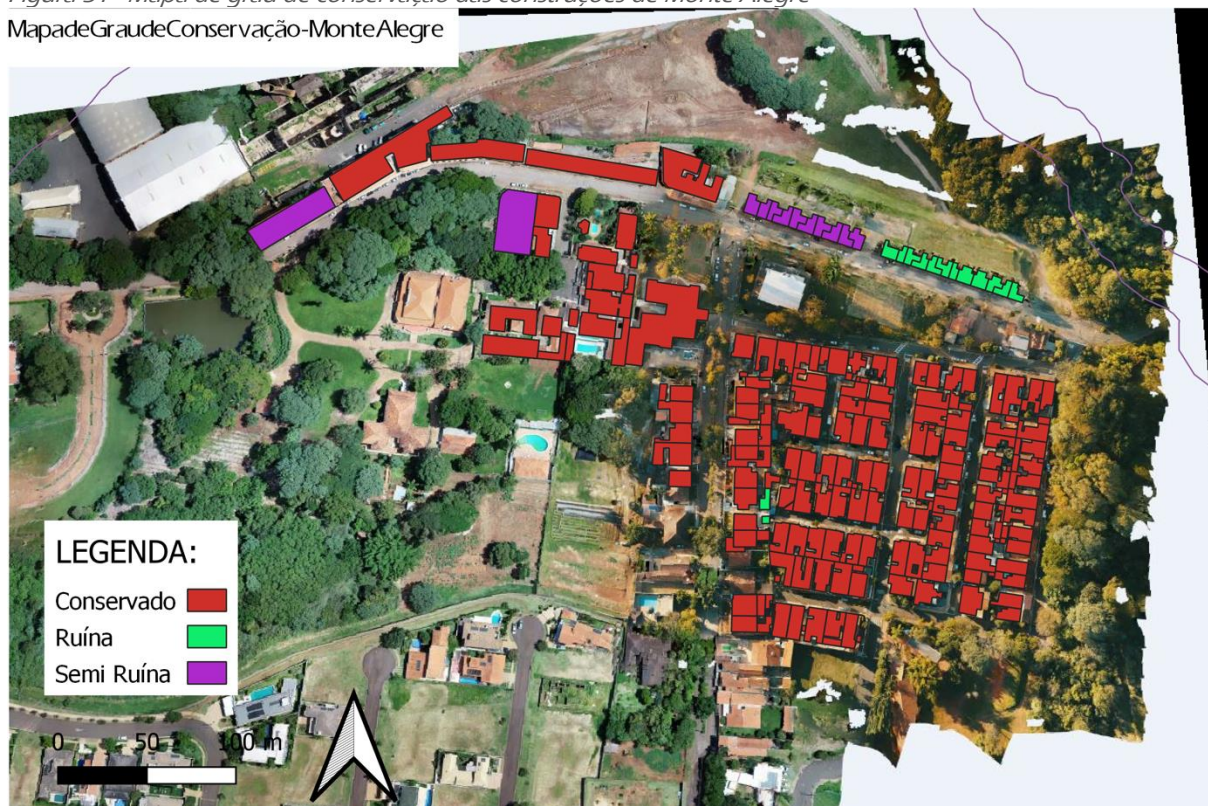
Fonte: Dezen-Kempton et al. (2019), adaptado pelo Autor

Varredura Digital e possibilidades de integração de dados SIG e BIM para monitoramento e gestão urbana

Por fim, o estado de conservação se refere ao fator conservação da edificação, não necessariamente se esta apresenta as características da construção original (Figura 31).

Figura 31 - Mapa de grau de conservação das construções de Monte Alegre

MapadeGraudeConservação-MonteAlegre



Fonte: Dezen-Kempton et al. (2019), adaptado pelo Autor

4.10. Levantamento complementar

Após a conclusão da disciplina, foi realizado mais um levantamento no bairro, com a captura de imagens para ampliação da ortofoto, de maneira a complementar o levantamento inicial, interligando a área urbanizada do bairro até a igreja. Foi realizada uma sobreposição dos planos de voos para que as ortofotos se complementassem no processamento.

Inicialmente, foram processadas as imagens do segundo voo separadamente (Figura 32).

Figura 32 - Segunda Ortofoto gerada no Bairro Monte Alegre, utilizando o RPAS DJI INSPIRE 2



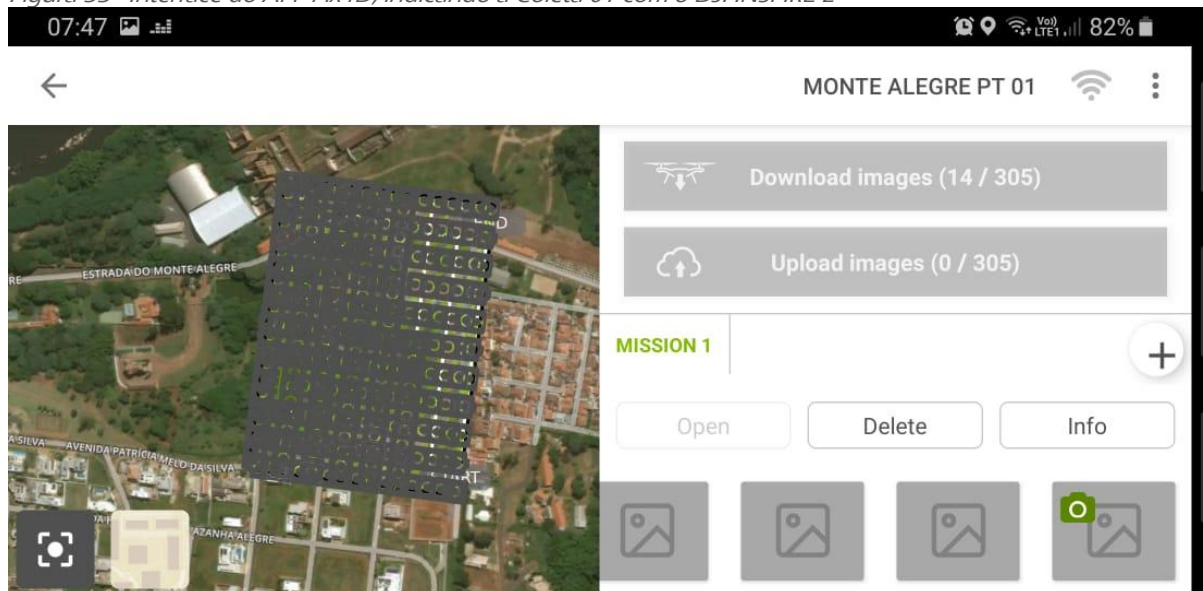
Fonte: Dezen-Kempton et al. (2019), adaptado pelo autor

Este levantamento possui grande relevância para a prova de conceito da metodologia empregada. Assim, foi utilizado outro modelo de RPAS, permitindo a análise de integração das imagens, na etapa de registro e processamento pelo software, de capturas com diferentes equipamentos, voos tomados de alturas diferentes, e câmeras com configurações e resoluções diversas.

O RPA utilizado foi da marca DJI, modelo INSPIRE 2. Foram realizadas duas missões de voo em duplo grid.

A primeira coleta, nomeada no App como “Monte Alegre PT 01”, recobriu a primeira faixa entre bairro e igreja, conforme Figura 33. Foram obtidas 305 imagens neste voo que teve uma duração de 14m08s, conforme demonstra Figura 34.

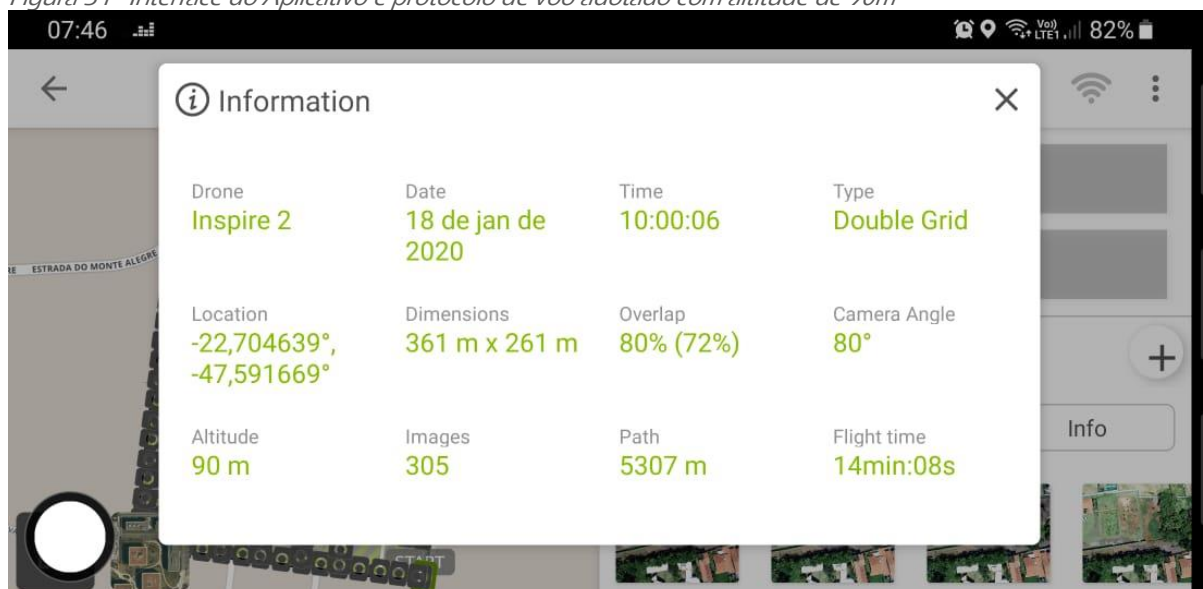
Figura 33 - Interface do APP Pix4D, indicando a Coleta 01 com o DJI INSPIRE 2



Fonte: do autor

Outras modificações no protocolo de voo foram utilizadas neste levantamento. Uma alteração na altura de voo para 90m permitiu o recobrimento de uma maior área em menor tempo, já que, devido ao ângulo de abertura da lente da câmera, é possível realizar um levantamento da mesma área com uma menor quantidade de fotos. No entanto, nota-se que neste caso há redução na qualidade da imagem. Foi modificado, também, neste voo, o ângulo da câmera, que foi utilizado 80° em relação ao solo.

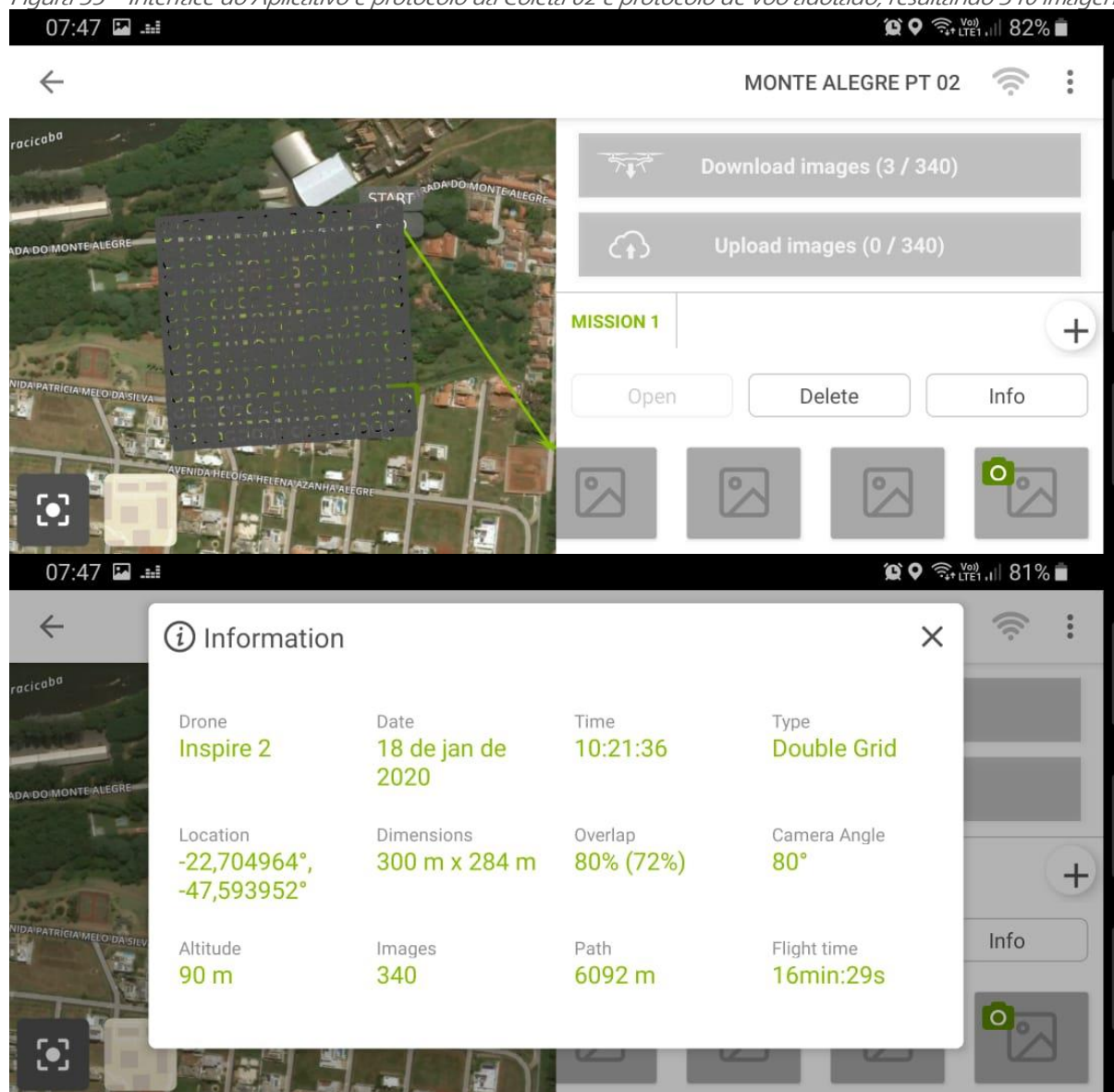
Figura 34 - Interface do Aplicativo e protocolo de voo adotado com altitude de 90m



Fonte: do autor

Para a segunda coleta, denominada “Monte Alegre PT 02” no APP, referente a área que interliga a igreja à área coberta pela primeira coleta, foi realizado o mesmo protocolo de voo, tendo este durado 16m29s e capturado 340 imagens conforme Figura 35.

Figura 35 – Interface do Aplicativo e protocolo da Coleta 02 e protocolo de voo adotado, resultando 340 imagens



Fonte: do autor

Foram utilizadas para esse novo processamento 645 imagens. Essas imagens foram processadas, também, junto às imagens do primeiro levantamento, realizado durante a disciplina, criando então, um modelo digital 3D que recobre todo

o bairro, até chegar à igreja. O resultado foi uma nuvem com 331.734 pontos (Fig. 36). A diferença de tonalidades na ortofoto é devido a vários fatores, como as condições de iluminação do horário das capturas, da estação do ano, a primeira captura foi realizada no inverno e a segunda no verão, e da configuração das câmeras.

Figura 36 - Ortofoto processada a partir de imagens levantadas em dois processamentos



Fonte: Dezen-Kempton et al. (2019) e adaptado pelo Autor

5. ESTUDO DE CASO – LIMEIRA/SP

5.1. Estudo preliminar da área e planejamento de voo

Com base nos levantamentos preliminares realizados e definido o trecho a ser utilizado como objeto de estudo, foram iniciados os levantamentos com a utilização de RPAS para obtenção dos dados geoespaciais na Avenida Dr. Lauro Corrêa da Silva, em Limeira.

Para captura foram considerados alguns fatores preliminares:

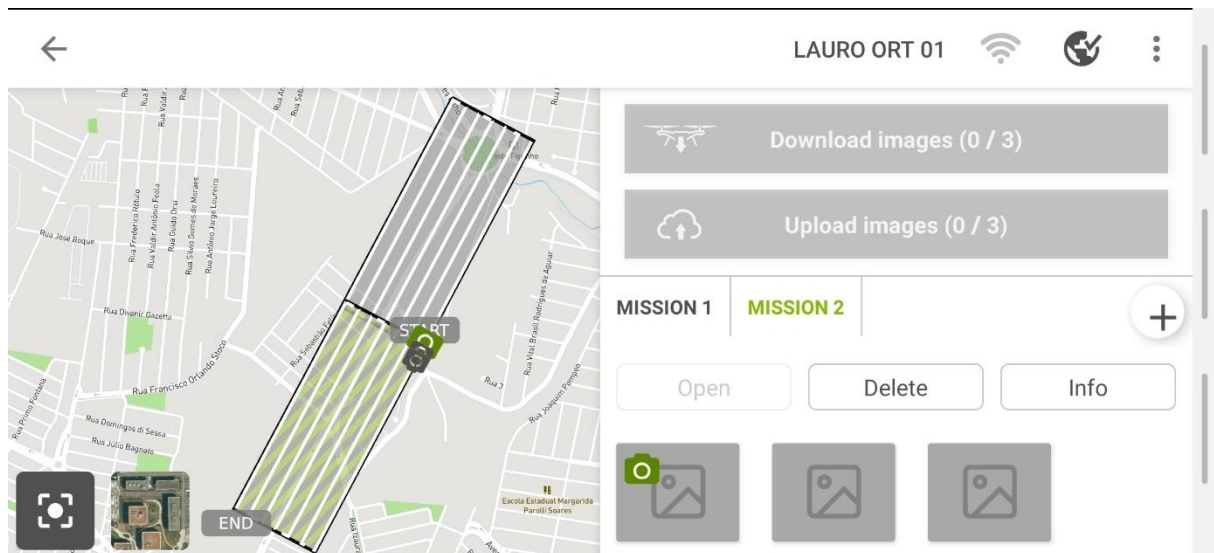
- Por se tratar de levantamento fotográfico, o dia deveria estar ensolarado para captação de mais detalhes da área de estudo;
- Definida duas alturas para avaliar a diferença do GSD, sendo entre 60m e 120m;
- Os pontos de decolagem foram definidos em local de maior altitude para garantir que não houvesse possibilidade de colisão do equipamento com edifícios e torres;
- A missão de voo foi dividida em etapas de, no máximo, 15 minutos, para garantir a autonomia de cada bateria, não correndo risco de uma missão ser interrompida;

O ponto inicial do levantamento foi a intersecção da via com o Anel Viário. Foi selecionada para mapeamento, área com 2,5km de extensão, cobrindo uma faixa de aproximadamente 210 a 300 metros de largura a partir do eixo da via. Ressalta-se que, a faixa mencionada e perímetro da coleta de imagens, área por onde o equipamento circula; portanto, ao considerar o ângulo de abertura da câmera, a área digitalizada total, como apresentado no subitem em que se aborda o processamento, foi de cerca de 2500 m por 400m de largura, totalizando 1.000.000m².

O RPAS utilizado foi o Mavic Pro, fabricado pela DJI, tendo sido realizadas 7 coletas no total, utilizando 2 protocolos diferentes.

Para o primeiro protocolo de aquisição, foram realizadas duas coletas (missões). Ambas, foram realizadas no mês de junho, cobrindo um trecho de 1570 m de extensão, conforme indicado na Figura 37.

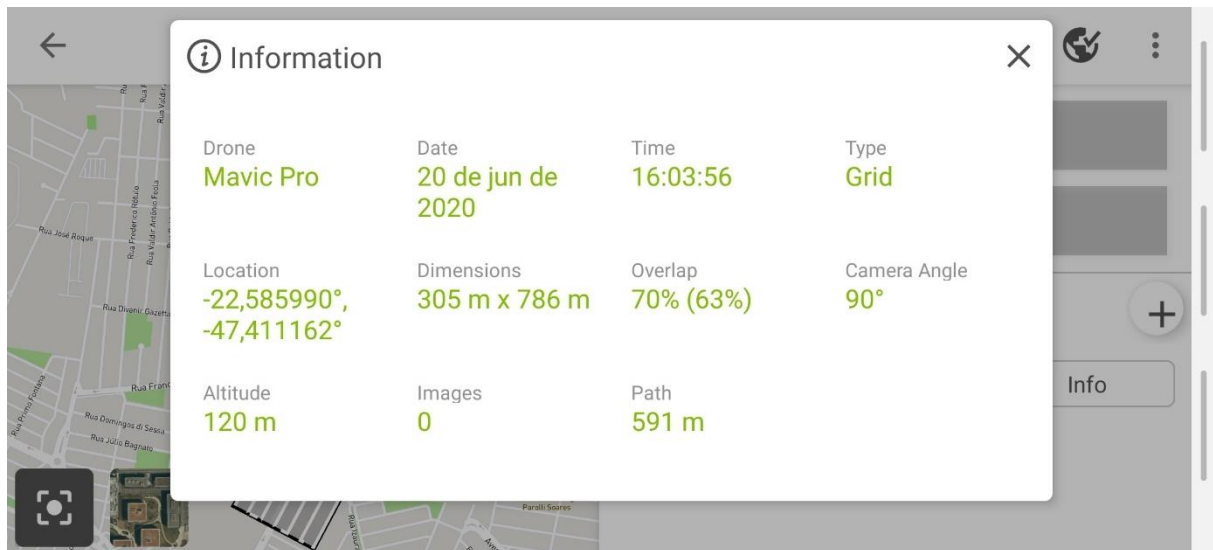
Figura 37 - Áreas cobertas na primeira fase do levantamento - Interface do Pix4D



Fonte: Do autor

As duas coletas, programadas para serem realizadas de maneira automatizada através do aplicativo Pix4D, foram realizadas na maior altura permitida pelo DECEA, 120 m. Foi adotada uma sobreposição de 70% entre cada imagem capturada, todas em ângulo nadir (90°) e em apenas um sentido de voo (grid único), conforme Figura 38.

Figura 38 - Protocolo de varredura aplicado na primeira fase do levantamento - Interface do Pix4D

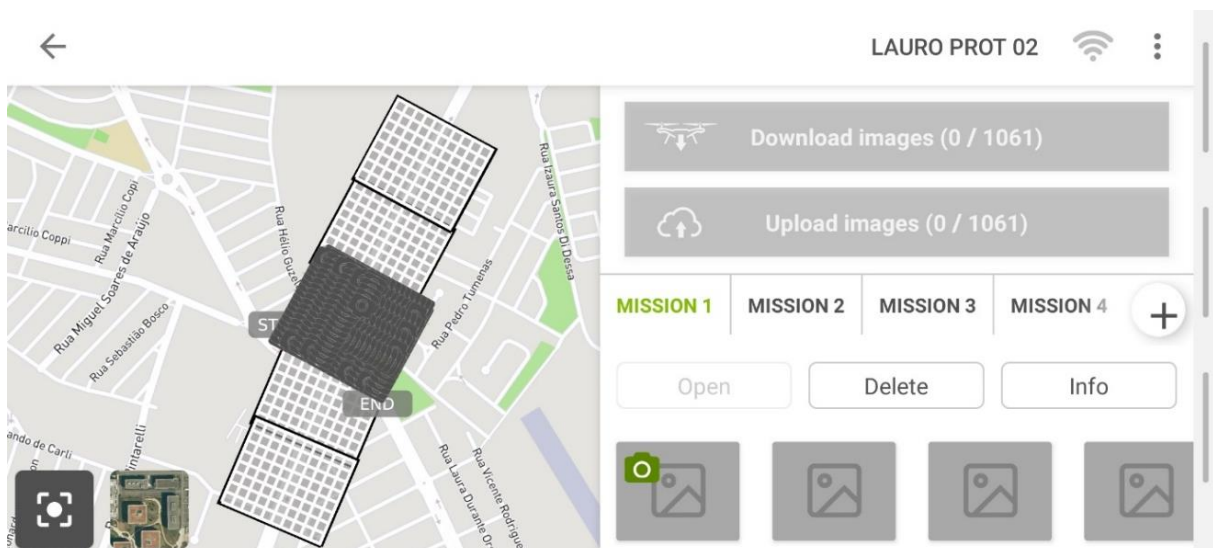


Fonte: do autor

A primeira fase do levantamento, resultou na captura de 339 imagens com dimensões de 4000 x 3000 pixels tendo, em média, 5 MB cada arquivo.

As outras cinco coletas, referentes ao segundo protocolo de aquisição, foram realizadas no mês de agosto. Cada uma das missões cobriu um retângulo de aproximadamente 250m x 210m, cobrindo cerca de 1180 metros de extensão, conforme Figura 39.

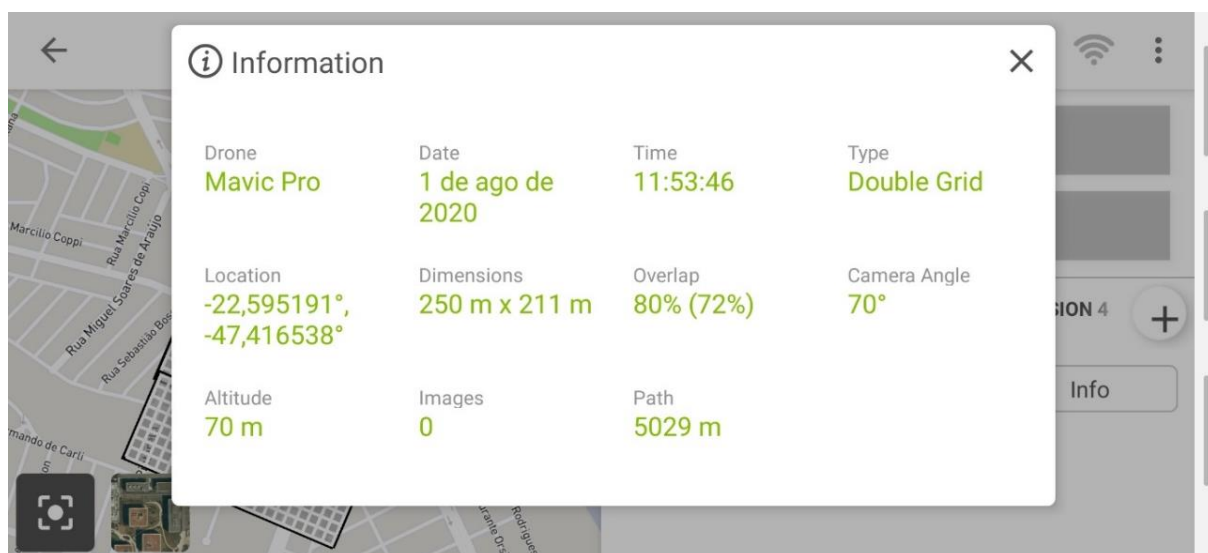
Figura 39 - Áreas cobertas na segunda fase do levantamento - Interface do Pix4D



Fonte: do autor

As missões foram realizadas em grid duplo de voo, com sobreposição de 80% entre as imagens capturadas. O grid duplo permite a observação da área em mais ângulos, reduzindo os pontos de oclusão. A altura de voo definida para coleta foi de 70 m e com a câmera inclinada num ângulo de 70°, conforme Figura 40.

Figura 40- Protocolo de varredura aplicado na segunda fase do levantamento - Interface do Pix4D



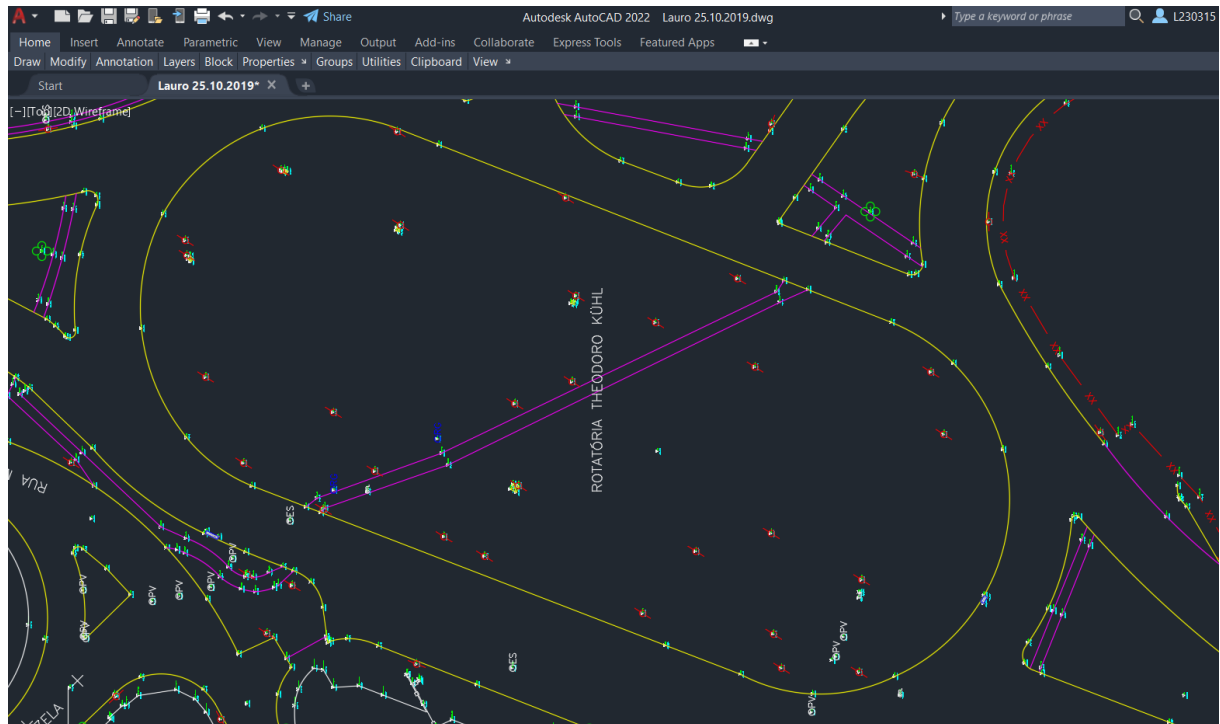
Fonte: do autor

5.2. Pontos de controle para georreferenciamento

Para garantir o registro preciso dos produtos, foi solicitada à Divisão de Georreferenciamento e Topografia, da Secretaria de Urbanismo, na Prefeitura Municipal de Limeira, cópia de arquivo em formato Dwg, contendo levantamento planialtimétrico da via. O arquivo contém levantamento topográfico atualizado, em formato de sistema geodésico SIRGAS2000, o que permite georreferenciar a ortofoto utilizando pontos em comum do levantamento. De posse do arquivo, não foi necessário realizar outra coleta in loco.

A Figura 41 apresenta a interface do AutoCAD com o levantamento, sendo possível identificar guias, postes, calçada, poços de visitação, arborização, alambrados, alinhamento de muros e outros.

Figura 41 - Levantamento PML - Interface do AutoCAD



Fonte: Prefeitura Municipal de Limeira

5.3. Voo na área para aquisição dos dados

As modificações do protocolo permitiram a possibilidade de comparação dos produtos gerados pós processamentos. Apesar de as imagens obtidas nas duas primeiras coletas cobrirem, aproximadamente, 1,6 vezes mais área de território, o segundo protocolo apresenta uma maior sobreposição de imagens. Em menor altitude, a câmera capta a superfícies de maneira mais próxima, otimizando a relação cm/pixel (GSD). Os voos do segundo protocolo resultaram na captura de 1811 fotos com dimensões de 4000 x 3000 pixels, tendo em média 5 MB cada arquivo.

Com relação ao volume de imagens, o segundo protocolo obteve 5 vezes mais capturas que o primeiro. O volume mais robusto de dados gerados ocorre pela diferença de altura adotada entre as coletas, maior sobreposição e aquisição em grid duplo. Os voos são programados, sempre considerando ciclos de, no máximo, 15 minutos, permitindo certa segurança quanto à autonomia da bateria, que pode sofrer oscilações, provocadas, por exemplo, pelas condições de vento no local, que demandam maior ou menor consumo energético para estabilização do equipamento.

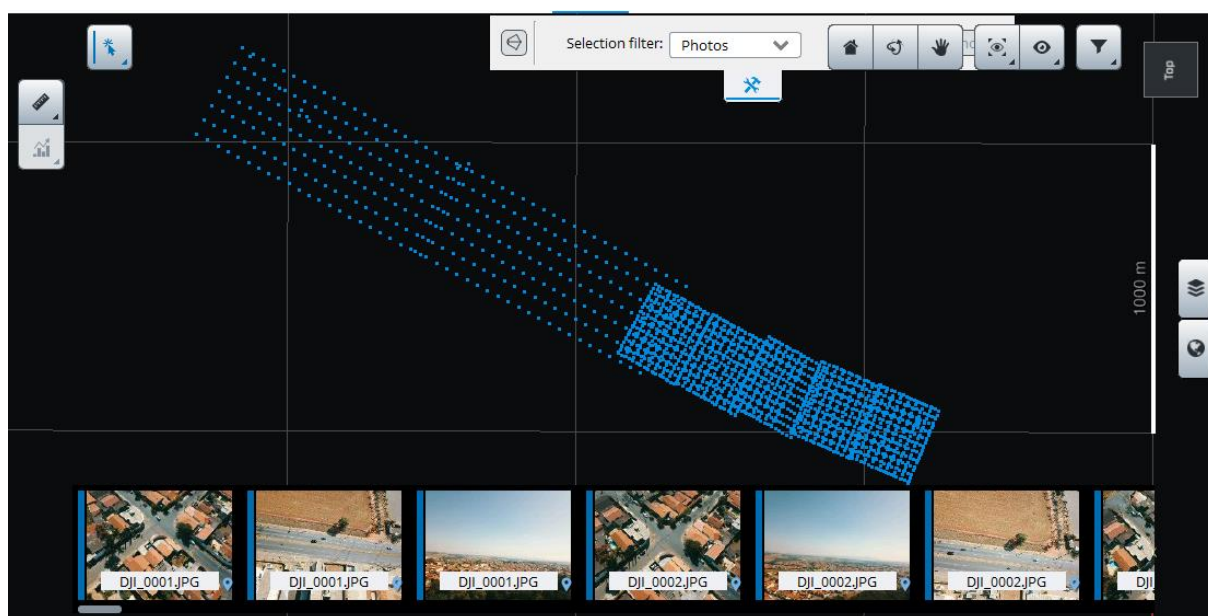
Todas as fotos obtidas no levantamento aéreo estão disponíveis através do link:

<https://bit.ly/aerofotos>

5.4. Processamento e registro dos dados

Foi utilizado o software Context Capture, da Bentley, para processamento das imagens, com o objetivo de gerar 3 produtos para alimentar a base de dados: ortofoto, MDS e nuvem de pontos. A Figura 42 apresenta a fase de importação das imagens no software que, automaticamente, reconhece a posição de captura de cada uma das imagens, criando uma malha geométrica (em azul) que evidencia a diferença de densidade dos levantamentos 1 e 2.

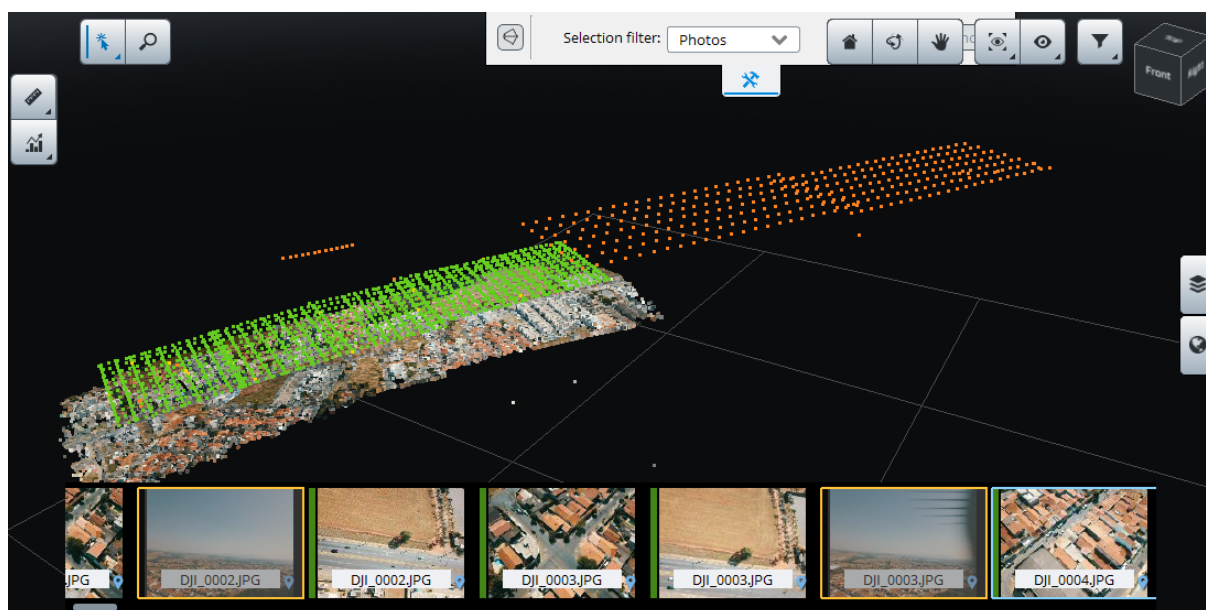
Figura 42 - Importação das fotos - Interface do Context Capture



Fonte: do autor

Na primeira etapa de processamento, apesar de várias tentativas e ajustes de configurações, observou-se que o programa foi incapaz de reconhecer o vínculo entre todas as imagens. A Figura 43 apresenta as imagens que o software não conseguiu incluir no processamento, sendo que, os pontos em verde representam as imagens incluídas no processamento e os pontos em laranja, as imagens que o software não conseguiu incluir no mesmo processamento. Na imagem é possível observar também que o software interpreta automaticamente a diferença de alturas da coleta, estando as imagens do primeiro levantamento ligeiramente acima das do segundo.

Figura 43 - Erro na aerotriangulação de imagens - Interface do Context Capture



Fonte: do autor

Para correção da intercorrência, foi então realizado processamento em duas etapas, dividindo-as pelo mesmo critério de voo. Na primeira etapa, foram processadas 339 fotos do primeiro voo, que cobriram, conforme reporte qualitativo do software, uma área de 1,709 quilômetros quadrados, com um GSD médio de 37.6 mm/pixel, conforme Quadro 5.

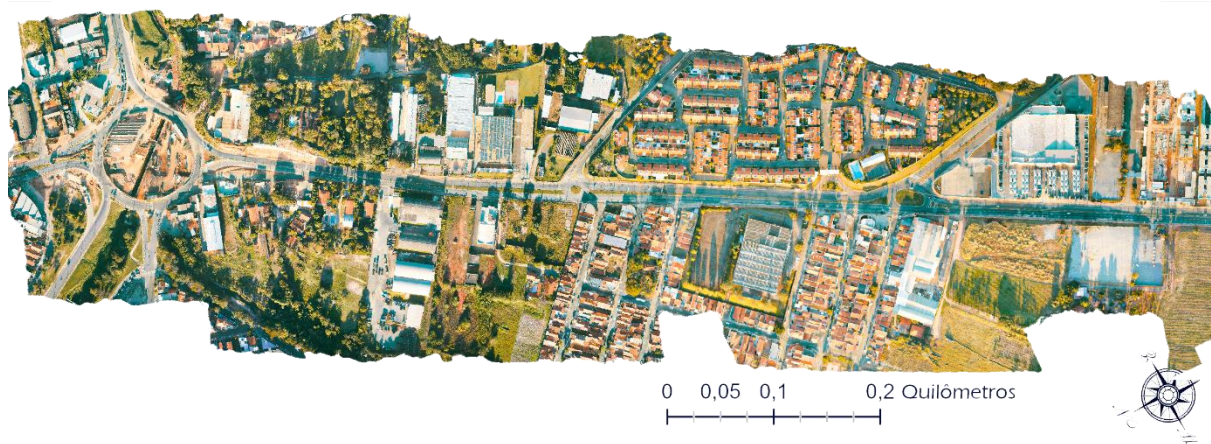
Quadro 5 - Dados do primeiro processamento no Context Capture

Dados do processamento no Context Capture	
Número de fotos	339
Área coberta	1.709 km ²
RPAS utilizado	Dji Mavic Pro – Câmera Dji FC 220
GSD	37.60 mm/pixel

Fonte: do autor

Na Figura 44 é apresentada ortofoto resultada do processamento do primeiro levantamento iniciado na intersecção da Avenida Dr. Lauro Corrêa da Silva com o Anel Viário.

Figura 44 - Ortofoto levantamento 01



Fonte: do autor

No segundo processamento, foram utilizadas 1827 fotos. Apesar deste levantamento possuir mais de 5 vezes o número de fotos do primeiro levantamento, nota-se que a área coberta foi quase a metade do primeiro. O maior número de arquivos ocasionou um aumento no tempo de processamento. Em contrapartida, obteve-se um menor tamanho de pixel, aproximadamente 25mm/pixel, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Dados do segundo processamento no Context Capture

Dados do processamento no Context Capture	
Número de fotos	1827
Área coberta	0.94 km ²
RPAS utilizado	Dji Mavic Pro – Câmera Dji FC 220
Resolução média	24.96 mm/pixel

Fonte: do autor

Na Figura 45 é apresentada ortofoto resultada do segundo processamento.

Figura 45 - Ortofoto levantamento 02

Fonte: do autor

De ambos os levantamentos, também, foi processada e constituída nuvem de pontos em formato LAS. Através da interface do Context Capture (Fig. 46) é possível observar que, no segundo protocolo, praticamente todos os ângulos das construções puderam ser reconstruídos, devido a alta sobreposição de imagens, duplo grid de voo – que reduziu os pontos de oclusão - e ângulo de inclinação da câmera.

Figura 46 - Modelo 3D reconstruído - Interface do Context Capture

Fonte: do autor

O modelo tridimensional obtido com as imagens do primeiro levantamento (Fig. 47) possui geometria menos definida, devido à pouca quantidade de informação fornecida ao algoritmo.

Figura 47 - Modelo 3D reconstruído a partir das imagens do primeiro levantamento



Fonte: do autor

5.5. Pós processamento e mapeamento da área

5.5.1. SIG - Prefeitura Municipal de Limeira

A Prefeitura Municipal de Limeira (PML), através de solicitação via Processo Administrativo nº 43892/2020, forneceu dados em shapefiles utilizados pela Divisão de Georreferenciamento e Topografia, sendo: Áreas Públicas, Eixo de Rua, Escolas Estaduais, Escolas Municipais, Estradas Rurais, Hidrografia, Loteamentos, Lotes, Macrozoneamento, Quadras, Rede Socioassistencial, Saúde, Segurança, Zona Corredor, Zoneamento Urbano.

Os dados, em SIRGAS 2000, serviram para avaliar como o município tem utilizado a tecnologia SIG para monitoramento e gestão do território, evidenciando o caráter multifinalitário da base atual. Atualmente, são utilizados os softwares ArcMap e QGIS para criação e visualização dos dados vetoriais de acordo com a demanda do município.

A falta de técnicos na administração, no entanto, é uma barreira a ser vencida, sendo que toda a produção de mapas temáticos fica sob responsabilidade da Divisão de Georreferenciamento e Topografia, não havendo técnicos capacitados em secretarias de suma importância ao município, como Secretaria de Meio Ambiente, Secretaria de Obras, Secretaria de Mobilidade Urbana e Secretaria de Habitação.

Atualmente, as demandas são solicitadas à divisão que, além da produção dos mapas temáticos, é responsável pela alimentação de todos os dados vetoriais e semânticos atualizados (novos loteamentos, desmembramentos, atualizações de cadastros, identificação de ocupação urbana através de imagens de satélite, produção de croquis de localização para processos administrativos, atualização de eixos de estradas rurais e vias urbanas, quantificação de queimadas e outros).

Todos os dados fornecidos pela PML estão disponíveis através do link:

<https://bit.ly/unicamplimeira>

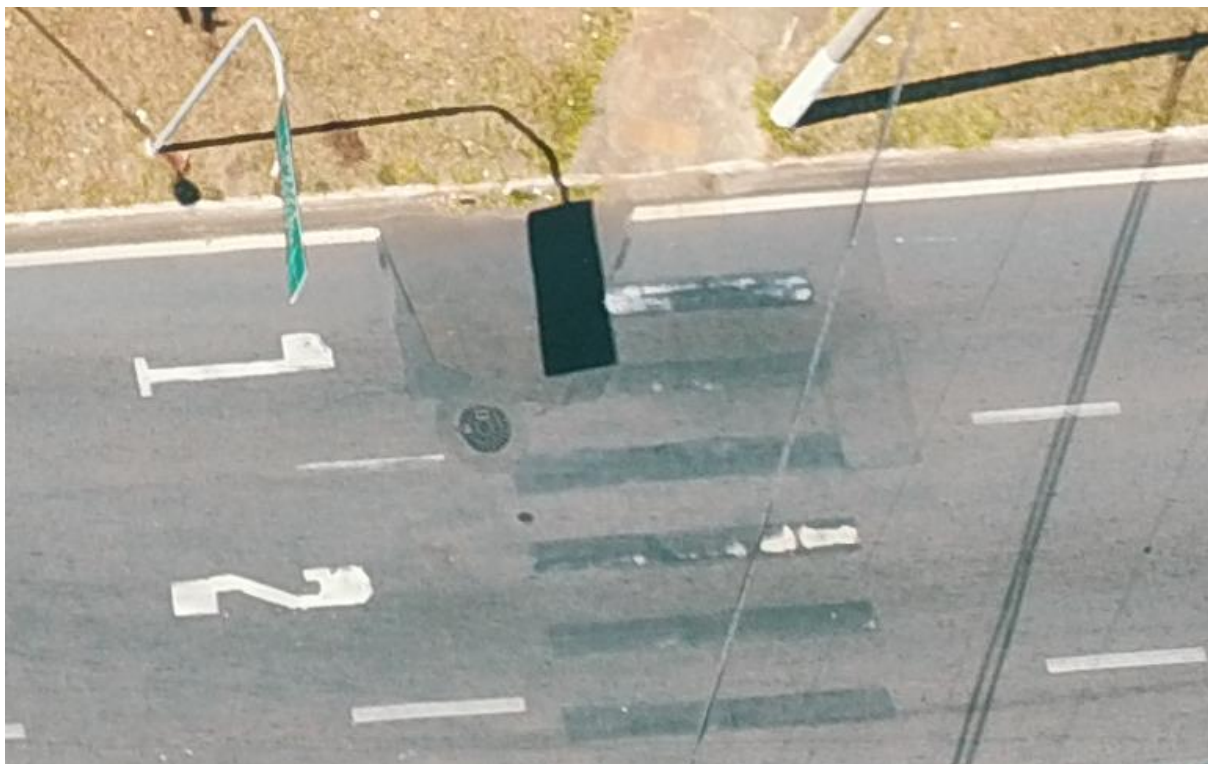
5.5.2. SIG – Alimentação da base territorial georreferenciada

Foi adotado o software ArcGIS, para criação e alimentação da base georreferenciada nesta pesquisa. O software comercial possui licença para estudante e trata-se de uma atualização do ArcMap, utilizado pela PML.

Para registro preciso dos produtos, foi utilizado o arquivo de levantamento topográfico georreferenciado da via fornecido pela PML. O arquivo contém levantamento topográfico atualizado, o que permite georreferenciar a ortofoto utilizando pontos em comum do levantamento.

O primeiro passo foi realizar o georreferenciamento das ortofotos, onde foi adotado o sistema geodésico SIRGAS 2000. Os pontos de controle utilizados foram os poços de visita (PV), isto pois, houve facilidade em fazer sua correlação identificando-os na ortofoto. A Figura 48 mostra a localização de um PV em uma das imagens.

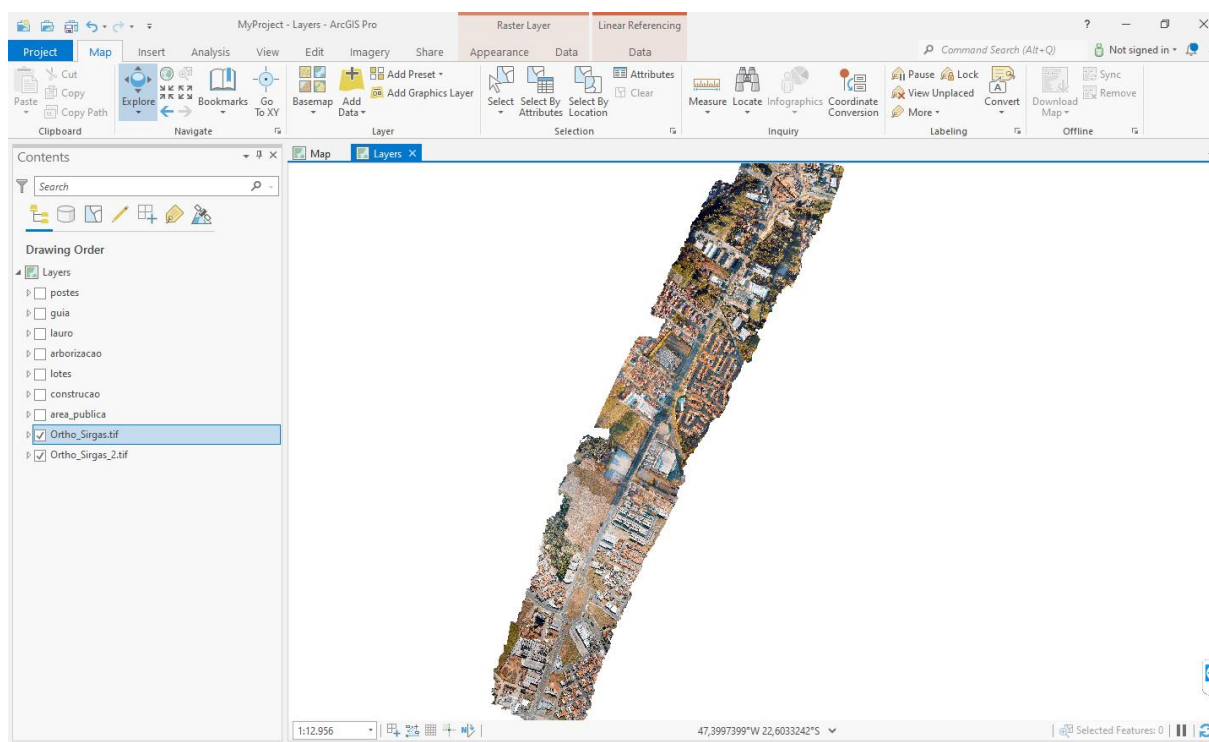
Figura 48 - Localização do ponto de controle na ortofoto



Fonte: do autor

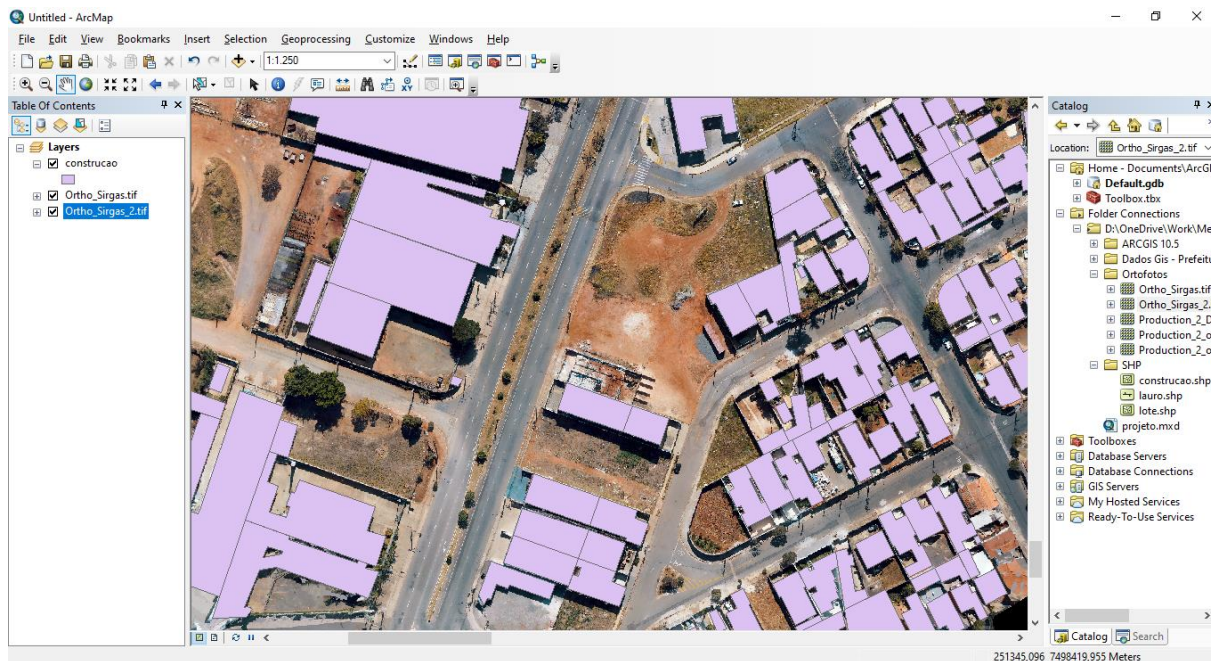
Diferente do levantamento realizado em Piracicaba/SP, neste levantamento, mesmo que houvessem disponíveis, georreferenciados, os elementos da sinalização horizontal viária, os mesmos não poderiam ser considerados confiáveis, face o lapso temporal existente entre o levantamento cadastral realizado pela PML e o levantamento aéreo fotográfico. Por se tratar de elemento gráfico, a pintura de solo sofre constante degradação e manutenção (como se pode observar, na faixa de pedestres da imagem), seu posicionamento pode sofrer alterações, interferindo diretamente nos resultados. Por outro lado, o PV é um elemento conectado à uma rede subterrânea que, dificilmente sofrerá mudança de local.

Apesar de os processamentos das ortofotos terem sido realizados separadamente, ao importar os arquivos no ArcGIS Pro (Fig. 49), foi possível observar que os dois arquivos de raster se sobrepõem perfeitamente, o que evidencia o êxito no processo de georreferenciamento.

Figura 49 - sobreposição das ortofotos - Interface do ArcGIS Pro

Fonte: do autor

A partir da ortofoto, modelo digital de superfície e nuvem de pontos, foi possível realizar a reconstituição geométrica de elementos da infraestrutura urbana que compõem a área levantada. A base vetorial foi criada a partir de shapefiles fornecidos pela PML, sendo: guias, delimitação das quadras, divisas de lotes e postes. Foram modelados a partir das ortofotos: projeção das edificações e arborização. A Figura 50 apresenta o início da reconstituição vetorial das construções.

Figura 50 - Vetorização das construções - Interface do ArcGIS Pro

Fonte: do autor

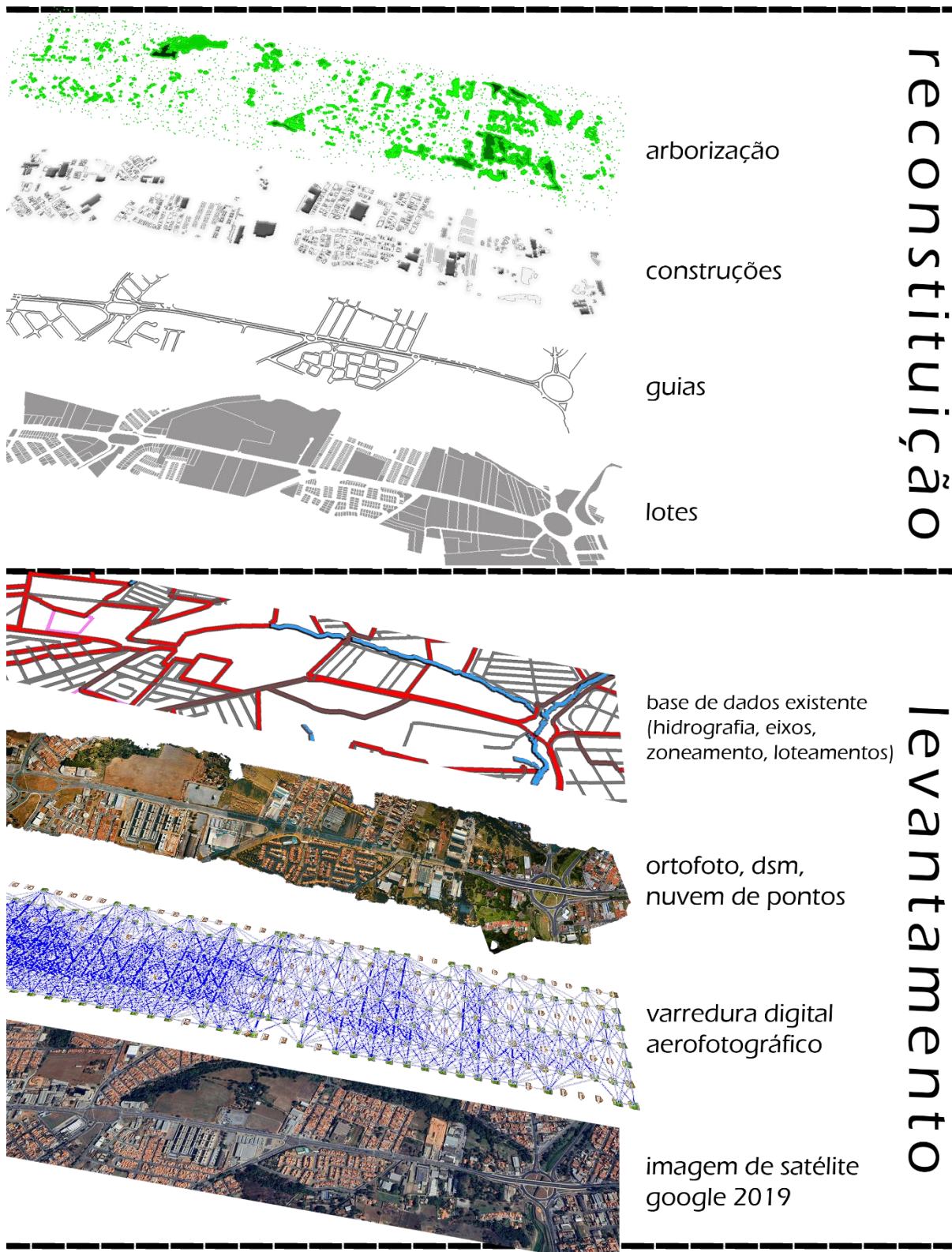
A Figura 51 aponta o processo de construção da base, representando de maneira individual cada um dos vetores.

Os dados vetoriais reconstituídos através desta pesquisa estão disponíveis através do link:

<https://bit.ly/gdbunicamp>

Figura 51 - Construção da base vetorial

camadas de construção a base

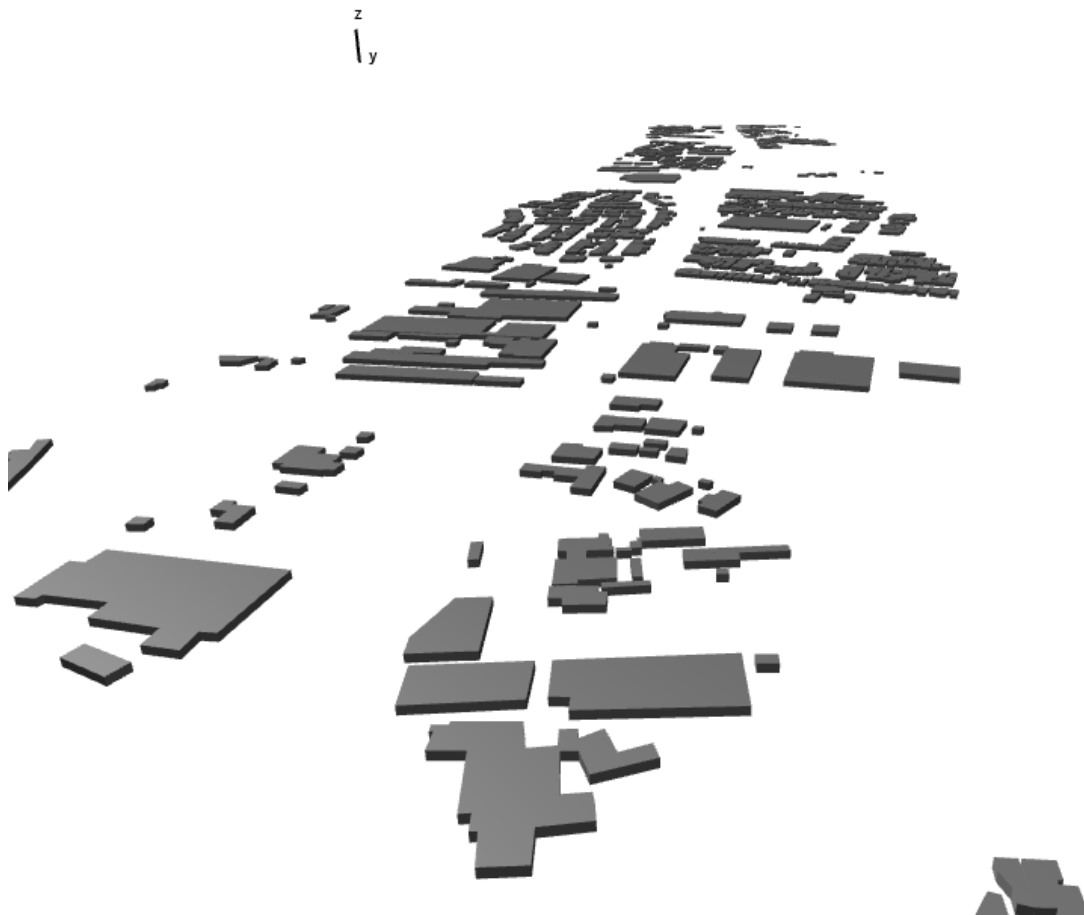


Fonte: do autor

5.6. Modelagem BIM dos edifícios mais relevantes

Não tendo sido identificados edifícios de grande valor histórico ou cultural, no trecho mapeado, adotou-se para construção do modelo tridimensional das construções o LOD 1. O arquivo vetorial de construções criado no software ArcGIS foi exportado em formato DWG, para poder ser importado no software ArchiCAD. No ArchiCAD foram criados volumes (Fig. 52) a partir do perímetro das construções com alturas definidas a partir do gabarito visualizado por meio da nuvem de pontos (adotando-se 3 metros por pavimento).

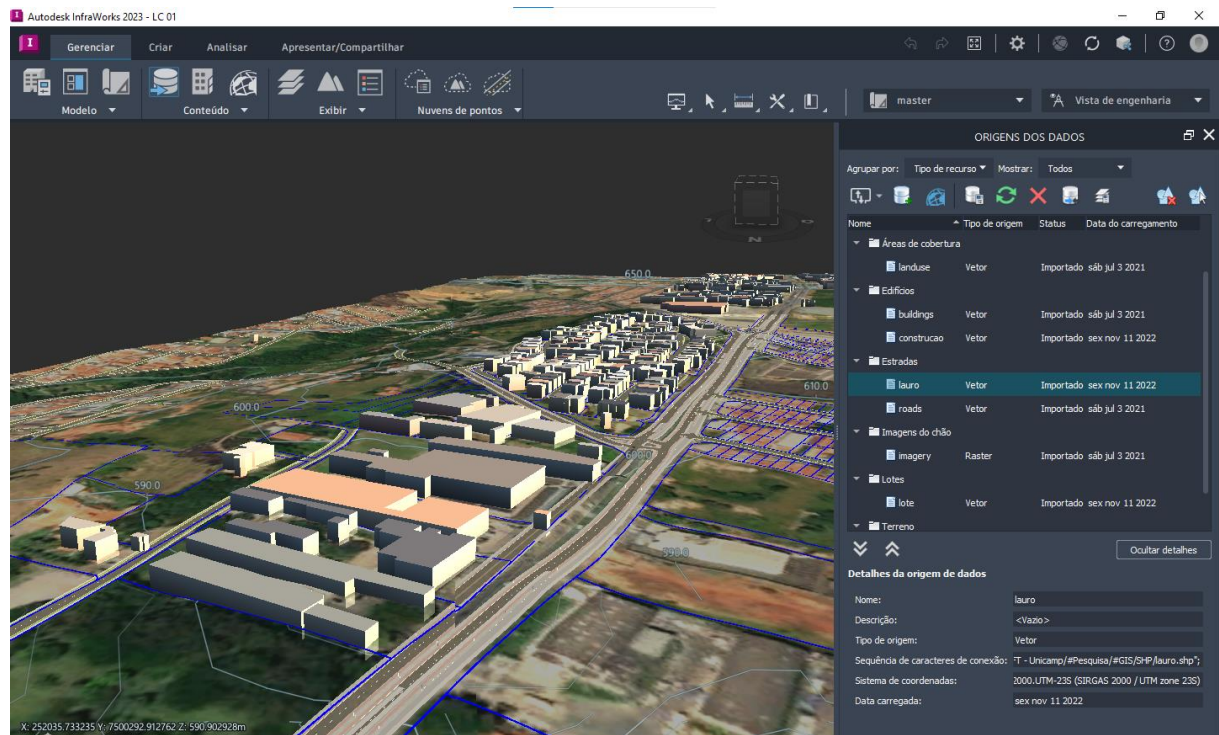
Figura 52 - Modelagem das construções - Interface do ArchiCAD



Fonte: do autor

Para possibilitar interoperabilidade, o arquivo gerado foi exportado em formato IFC para compatibilidade de visualização em outros softwares, como o InfraWorks (Fig. 53).

Figura 53 - Importação do IFC - Interface do InfraWorks



Fonte: do autor

Os arquivos IFC estão disponíveis através do link:

<https://bit.ly/ifcunicamp>

5.7. Enriquecimento semântico da base cadastral multifinalitária

As copas das árvores, vetorizadas em forma de polígonos, somaram 644 grupos vetorizados no trecho de levantamento. Neste, é possível verificar as áreas de cada grupo de maneira individual. O shapefile de construção foi enriquecido semanticamente com o atributo de uso, para possibilitar a visualização e criação de mapas temáticos, conforme Figura 54. Ao todo, foram vetorizados 204.954,28 m² de edificações neste trecho.

Figura 54 - Enriquecimento semântico - Interface do ArcGIS Pro

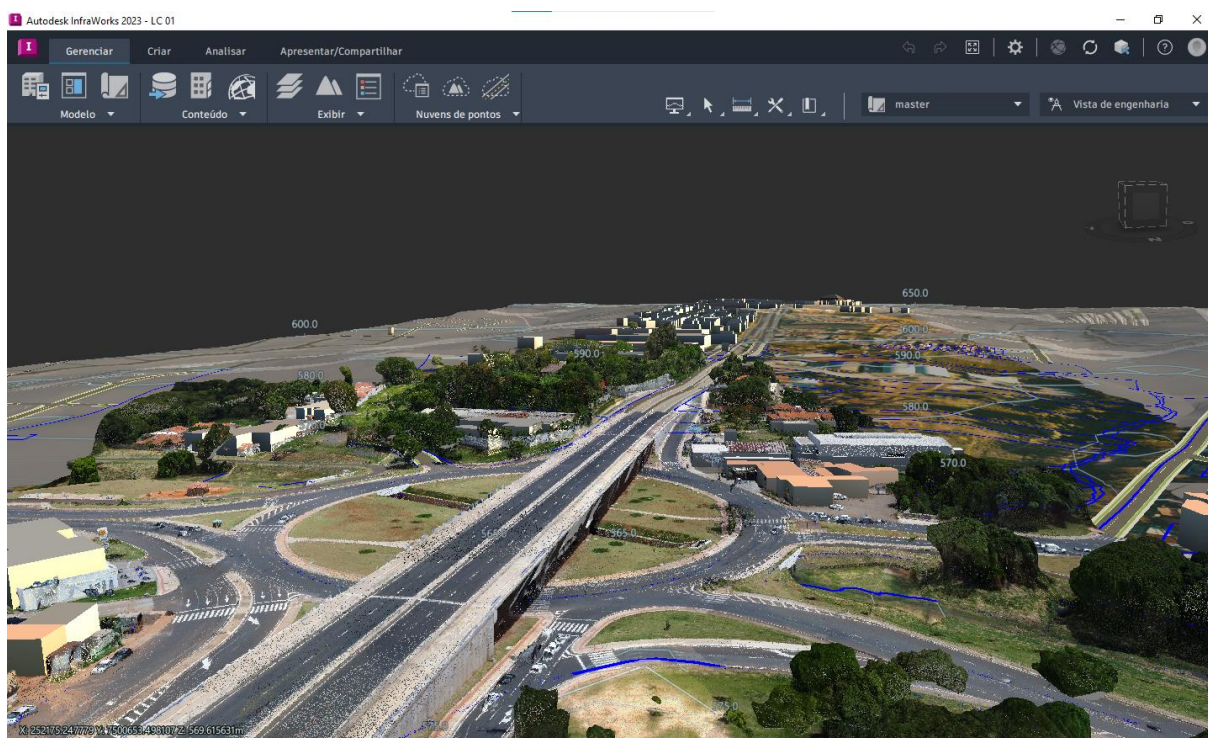


Fonte: do autor

5.8. Plataforma de integração

Construída a base georreferenciada e, também, o modelo de construções em LOD 1, foi realizada a experimentação de exportação entre plataformas. No software InfraWorks foi possível importar os diferentes formatos de arquivo produzidos até então – shp, ifc, tiff, las. A Figura 55 apresenta a visualização da interface do software, já com arquivos de vetores, raster e nuvem de pontos importados.

Figura 55 - Arquivos importados - Interface InfraWorks



Fonte: do autor

5.9. Produtos da pesquisa

Os produtos da pesquisa, estão disponíveis através dos links ou qr code:

https://drive.google.com/drive/folders/17AeZ_yGds9amtznQHhT2zCLkg02KAFRC?usp=sharing

<https://bit.ly/mendes2023>



O Quadro 7 apresenta uma síntese dos arquivos com links diretos para download, de acordo com o tipo de produto.

Quadro 7 - Lista de produtos gerados e seus respectivos links para download

Produtos da pesquisa	
Varredura digital	https://bit.ly/aerofotos
Ortofotos	https://bit.ly/ortofoto
MDS	https://bit.ly/mdsunicamp
Shapefiles	https://bit.ly/gdbunicamp
IFC	https://bit.ly/ifcunicamp
Mapas temáticos	https://bit.ly/mapasunicamp
Nuvem de pontos	https://bit.ly/nuvemdepontos
Vídeos instrutivos	https://bit.ly/videosunicamp
Arquivos PML	https://bit.ly/unicamplimeira

Fonte: do autor

6. DISCUSSÃO

Esta pesquisa se preocupou em analisar as tecnologias de captura e de restituição aerofotogramétrica como fundamento para criação e manipulação de um banco de dados em tecnologias SIG e BIM, com ênfase em planejamento de cidades.

O primeiro levantamento, realizado no Bairro Monte Alegre em Piracicaba, fruto da disciplina de férias oferecida pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia, fundamentou preliminarmente os conhecimentos teóricos e práticos acerca de todas as etapas envolvidas visando o Modelo 3D urbano. Na etapa de aquisição de dados do levantamento em Limeira, nota-se a grande diferença de qualidade da ortofoto entre voos com diferentes alturas, a 60m e 120m. Portanto, a altura de voo é um critério de extrema relevância para o nível de detalhamento necessário para o trabalho a ser realizado.

Em campo, observou-se que os receptores GPS tiveram grande dificuldade de captar sinais de satélite, devido, possivelmente, a pontos de oclusão existentes: como edificações, massas densas de vegetação. Os pontos previamente definidos como ideais para captação dos dados para o georreferenciamento tiveram que ser remanejados e adequados *in situ* para a obtenção de um sinal de maior qualidade, e consequentemente com maior precisão.

A etapa de processamento dos dados de Piracicaba permitiu avaliar a evolução dos algoritmos de restituição fotogramétrica, na medida que imagens capturadas por diferentes câmeras (de celulares, profissionais e semiprofissionais) com configurações distintas puderam ser processadas conjuntamente resultando em uma nuvem de pontos com excelente cobertura. A perda nesse caso, se dá pelas condições de iluminação e diferentes equipamentos. A nuvem de pontos resultante apresenta variações de cor em um mesmo objeto devido a estas condições.

Já o processamento dos dados de Limeira teve de ser realizado em duas etapas, gerando produtos distintos que foram posteriormente agrupados no SIG. Estes produtos, obtidos a partir de distintos protocolos, mostraram que, para obtenção apenas da ortofoto, a varredura pode ser realizada com uma menor sobreposição e

não há necessidade de utilizar a câmera inclinada – até mesmo porque posteriormente as imagens serão ortorretificadas.

Para a nuvem de pontos ser gerada através do processo de fotogrametria a demanda de imagens é superior. Além de uma maior sobreposição entre as imagens, os resultados apontam que as capturas em ângulos distintos, reduzindo os pontos de oclusão, permitem a constituição de um produto com muito mais detalhes e menos deformações.

Em ambos os casos, os produtos gerados, permitem a reconstituição vetorial de outros elementos que compõe a infraestrutura urbana, não modelados nesta pesquisa como: sinalização horizontal e vertical (incluindo faixas de pedestres, guias rebaixadas, semáforos, placas de identificação), poços de visitação, captação do sistema de drenagem, posicionamento de postes padrão, posicionamento de árvores, mobiliário urbano (lixeiras, bancos, totens, bicicletários e outros), pontos de ônibus e outros.

Pode-se também realizar o cadastro vetorial com suporte em dados fornecidos por empresas e concessionárias como, por exemplo: gasoduto, rede de telecomunicações, rede de distribuição de água, rede de coleta de esgoto e linhas de ônibus.

A modelagem BIM dos dados, realizada nos softwares REVIT e ARCHICAD, e sua exportação no formato IFC, possibilitou a importação dos dados e geometria 3D na ferramenta SIG, no caso o software ArcScene, neste caso somente um visualizador. Contudo, na manipulação dos dados na plataforma SIG (ArcMAP e ArcGIS Pro), não foi obtido êxito em acrescentar as informações da nuvem de pontos no software, sendo possível apenas a visualização das edificações importadas de acordo com o modelo IFC e as massas representantes dos volumes das edificações da área de estudo.

O enriquecimento semântico da base contempla os atributos suficientes para os testes e análises desta pesquisa; no entanto, considerando uma utilização multidisciplinar dos arquivos, poderiam ser ampliados os campos de dados, indicando para cada elemento dados como estado de conservação, data da última manutenção, data da próxima manutenção, empresa responsável. Outros exemplos:

- Arborização: espécie, data do plantio, escala de interesse de preservação, altura, volume de copa, sequestro de carbono;

- Construções: data de aprovação, estilo arquitetônico, tipo de cobertura, gabarito, pavimentos, atende ou não a legislação;
- Eixo de via: nome, tipo de via, data de aprovação, área de superfície, tipo de cobertura, hierarquia viária, quantidade de leitos;
- Guias: rebaixos para acesso de veículos, rebaixos para acessibilidade;
- Lotes: distância de equipamentos urbanos (walkability score⁹); área permeável, declividade, aplicabilidade de instrumentos do Estatuto das Cidades e outros.

O software InfraWorks atuou como uma excelente opção para visualização das informações geradas em SIG e BIM de maneira integrada, sendo, no entanto, necessário maior aprofundamento para avaliar as possibilidades além da visualização do modelo tridimensional.

⁹ Apresentado pela empresa Walk Score, usa o termo para se referir a análises de caminhabilidade e possui ferramentas de buscas para apartamentos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desejo por cidades mais justas, espaços públicos de qualidade onde a natureza se faça presente e que convidem as pessoas a conversar, dançar, celebrar, motivaram-me imergir nesta pesquisa, em busca de tecnologias que possam otimizar e ampliar as possibilidades do planejamento urbano; mesmo estando ciente de que este não poderá resolver tudo.

Distante da ambição de tornar-me um notório especialista em cada uma das tecnologias avaliadas (SIG, BIM, CIM, fotogrametria, varredura digital), pudemos, através desta pesquisa, comprovar o que está integração proposta surte em grandes oportunidades a administração pública.

Como forma de aquisição de dados, as atuais tecnologias de varredura digital, abordadas neste trabalho, permitem constante atualização da base de dados territorial do município, que, se utilizadas de maneira sistemática, podem contribuir com as atividades de gestão e monitoramento urbano.

Já a integração entre modelos SIG e BIM e a criação de modelos DIM e CIM, permite simulações e análises mais precisas acerca de toda a infraestrutura urbana, por possibilitar a construção de uma rica base de dados e cruzamento de informações mais abrangente, incorrendo melhor gestão de recursos, economia de tempo em fases de licitações e tomadas de decisões.

As atuais tecnologias de varredura digital integradas a modelos CIM, permitem a administração pública gerir e monitorar com eficácia uso e ocupação do solo, expansão urbana sendo ainda o CIM, base fundamental para utilização de aplicativos de cidades inteligentes, como controle e manutenção de iluminação, coleta de resíduos sólidos, tráfego, drenagem, dentre outros.

Há, no entanto, desafios a serem vencidos para que essa integração ocorra. As grandes bases de dados geradas demandam equipamentos modernos de alta velocidade de processamento e grande armazenamento. Integrar base de dados multidisciplinar implica, também, que profissionais de áreas distintas dominem uma mesma linguagem para se comunicar. Além disso, não há um formato de arquivo, de fato, aderido pelo mercado. Espera-se que os problemas de compatibilização e perda

de dados nos softwares sejam resolvidos nos próximos anos, com a atualização dos produtos já disponíveis, visto que, estes acenam para ambientes de trabalho que integrem nuvem de pontos e modelagem de informação em escala urbana, como é o caso do InfraWorks e 3D GIS e o surgimento de novos aplicativos.

7.1. Contribuições da pesquisa

As discussões e informações contidas nesta pesquisa suscitaram em trabalhos submetidos a anais de congressos nacionais e internacionais, tendo resultado em publicação de artigos e capítulo de um livro (ver Fig. 56).

Nos *“Anais Do Encontro Brasileiro De Modelagem Da Informação Da Construção E Patrimônio Cultural – HBIM 2019”* foram publicados os artigos **‘Historical District Information Modeling (HDIM): HBIM e SIG na documentação de sítios históricos’**, que tem como autores: Dezen-Kempter, E; Silva, L.H.G.; Mendes, L.P. D.; Campos, M.F.; Pascual, A.C.P.M.; Lima, F.B.; Martins, G; Custodio, V.B.; Molina Junior, V.E.; e o artigo **“Varredura digital e HBIM: documentação do Palácio Tatuibi em Limeira/SP.”**, dos autores: CAMPOS, M. F. ; MENDES, L. P. D. ; SILVA, L. H. G. ; RONTANI, S. P. ; DEZEN-KEMPTER, ELOISA.

Para o “18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering e 37th International CIB W78 Conference”, foi publicado o artigo **“Challenges of District Information Modeling (DIM) applied for Heritage Preservation”**, que se tornou capítulo do livro *Lecture Notes in Civil Engineering*. 1ed.CHAM: SPRINGER, 2020, v. 98, p. 483-495. Os autores são: Dezen-Kempter, E.; Molina Junior, V.E.; Silva, L.H.G.; Mendes, L.P. D.; Campos, M.F.; Custódio, I. A.; Alegretti, L; Rodrigues, V. F.; Pascual, A.C.P.M.; Lima, F.B.; Martins, G; Custodio, V.B.; Alves, T. M. S.

A presente pesquisa também foi apresentada em formato de palestra, na Semana da Arquitetura e Urbanismo e do Design de Interiores da UNICEP em Rio Claro/SP.

Figura 56- Publicações decorrentes da pesquisa



Fonte: do autor

Atuação profissional na Secretaria de Urbanismo

O aprendizado do autor, servidor público municipal, locado na Secretaria de Urbanismo da Prefeitura Municipal de Limeira, após o início da pesquisa, em especial, após a capacitação obtida na disciplina FT 043 – Tópicos em Tecnologia para Informação I, permitiu que o Departamento de Planejamento Territorial pudesse utilizar com maior frequência RPA nas atividades de fiscalização de ocupações de áreas urbanas e parcelamento irregular do solo. O município, que sofre com a prática, possui centenas de núcleos urbanos informais em processo de regularização fundiária.

Uma das ações dos criminosos foi passar a construir muros em todo o perímetro das glebas, impedindo o acesso da fiscalização e a comprovação do crime a tempo de se tomar as medidas administrativas. Com a utilização do RPA, além de obter a visualização aérea dos locais, identificando com maior celeridade os primeiros indícios de parcelamento (abertura de via, demarcação de lotes, posteamento e outros), passaram a ser realizadas reconstituições fotogramétricas e ortofotos de algumas áreas. A possibilidade de realizar os voos com maior recorrência permitiu, também, o acompanhamento do avanço do parcelamento em casos de descumprimentos de embargo.

8. **REFERÊNCIAS**

- AMORIM, A. L. DE. DISCUTINDO CITY INFORMATION MODELING (CIM) E CONCEITOS CORRELATOS. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 10, n. 2, p. 87, Nov. 2015.
- ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil. 2017. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial 94/2017
- BANSAL, V. K. Application Areas of GIS in Construction Projects, and Future Research Directions. *International Journal of Construction Management*, v. 12, n. 4, p. 17–36, Jan. 2012.
- BARAZZETTI, L. Duality between BIM and GIS: an example related to the medieval bridge Azzone Visconti. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, v. 364, p. 012084, jun. 2018a.
- BARAZZETTI, L. **Integrated BIM-GIS model generation at the city scale using geospatial data.** (K. Themistocleous et al., Eds.)Sixth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2018). *Anais...SPIE*, ago. 2018b.
- BARAZZETTI, L.; BANFI, F. BIM AND GIS: WHEN PARAMETRIC MODELING MEETS GEOSPATIAL DATA. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. IV-5/W1, p. 1–8, Dez. 2017.
- BASIR, W. N. F. W. A. et al. INTEGRATION OF GIS AND BIM TECHNIQUES IN CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT – A REVIEW. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII-4/W9, p. 307–316, out. 2018.
- BERLO, L. VAN; DIJKMANS, T.; STOTER, J. EXPERIMENT FOR INTEGRATING DUTCH 3D SPATIAL PLANNING AND BIM FOR CHECKING BUILDING PERMITS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. II-2/W1, p. 279–284, set. 2013.
- BILJECKI, F. **Level of detail in 3D city models.** PhD thesis. Nederland: Delft University of Technology, 2017.

- CAMPANARO, D. M. et al. 3D GIS for cultural heritage restoration: A 'white box' workflow. **Journal of Cultural Heritage**, v. 18, p. 321–332, mar. 2016.
- CAMPOS, M. F.; MENDES, L. P. D.; SILVA, L. H. G., RONTANI, S. P.; DEZEN-KEMPTER, E. Varredura Digital E HBIM: Documentação do Palácio Tatuíbi em Limeira/SP. In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL**, 1., 2019, São Carlos, SP. Anais [...] São Carlos: IAU-USP, 2019.
- CAO, L. et al. Comparison of UAV LiDAR and Digital Aerial Photogrammetry Point Clouds for Estimating Forest Structural Attributes in Subtropical Planted Forests. **Forests**, v. 10, n. 2, p. 145, fev. 2019.
- CARNEIRO, J. et al. **BIM, GIS, IoT, and AR/VR Integration for Smart Maintenance and Management of Road Networks: a Review**. 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). **Anais...IEEE**, set. 2018.
- CHEN, K. et al. Automatic building information model reconstruction in high-density urban areas: Augmenting multi-source data with architectural knowledge. **Automation in Construction**, v. 93, p. 22–34, set. 2018.
- CHENAUX, A. et al. A REVIEW OF 3D GIS FOR USE IN CREATING VIRTUAL HISTORIC DUBLIN. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-2/W9, p. 249–254, Jan. 2019.
- DENG, Y.; CHENG, J. C. P.; ANUMBA, C. A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 12, n. 10, p. 1267–1280, out. 2016.
- DEZEN-KEMPTER, E.; SILVA, L.H.G.; MENDES, L.P. D.; CAMPOS, M.F.; PASCUAL, A.C.P.M.; LIMA, F.B.; MARTINS, G; CUSTODIO, V.B.; MOLINA JUNIOR, V.E. Historical District Information Modeling (HDIM): HBIM e SIG na documentação de sítios históricos. In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL**, 1., 2019, São Carlos, SP. Anais [...] São Paulo: IAU-USP, 2019.
- ELLUL, C. et al. INVESTIGATING THE STATE OF PLAY OF GEOBIM ACROSS EUROPE. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLII-4/W10, p. 19–26, set. 2018.

- FRITZ, A.; KATTENBORN, T.; KOCH, B. **UAV-based photogrammetric point clouds - Tree stem mapping in open stands in comparison to terrestrial laser scanner point clouds**. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. **Anais...**2013.
- GEHL, J. **Cidades para pessoas**. Tradução: Anita Di Marco. Second edition ed. São Paulo: Perspectiva, 2010.
- GUZZETTI, F. et al. **BUILT ENVIRONMENT: MODELLING THE URBAN SPACE**. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII-2/W11, p. 595–600, Maio 2019.
- HE, J.; LI, Y.; ZHANG, K. Research of UAV Flight Planning Parameters. **Positioning**, v. 03, n. 04, p. 43–45, 2012.
- JESUS, E. G. V. DE et al. **MODELING CITIES FOR 3D_GIS PURPOSES**. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII-4, p. 135–142, set. 2018.
- JOHANNA GROETELAARS, N. .; MOREIRA DO NASCIMENTO, A. .; LEÃO DE AMORIM, A. . **MODELAGEM GEOMÉTRICA DE CIDADES A PARTIR DE NUVENS DE PONTOS: Versões expandidas de seis artigos selecionados do Graphica 2019**. *Revista Brasileira de Expressão Gráfica*, [S. l.], v. 8, n. 1, 2020. Disponível em: <http://rbeg.net/index.php/rbeg/article/view/90>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- JÚNIOR, Júlio César Franco. **Modelagem BIM de infraestrutura urbana a partir de levantamentos aéreos com drone**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- KIAVARZ, H. et al. **BIM-GIS ORIENTED INTELLIGENT KNOWLEDGE DISCOVERY**. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII-4/W10, p. 79–82, set. 2018.
- LIU, X. et al. **A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS)**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 6, n. 2, p. 53, fev. 2017.
- MA, Z.; REN, Y. **Integrated Application of BIM and GIS: An Overview**. *Procedia Engineering*, v. 196, p. 1072–1079, 2017.
- NASCIMENTO, R. V. C.; KEMPTER, E. D. **Drones como ferramenta de engenharia reversa**. *Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP*, n. 26, 15 fev. 2019.

NOARDO, F. et al. Opportunities and challenges for GeoBIM in Europe: developing a building permits use-case to raise awareness and examine technical interoperability challenges. **Journal of Spatial Science**, v. 65, n. 2, p. 209–233, Maio 2020.

OHORI, K. A. et al. Processing BIM and GIS Models in Practice: Experiences and Recommendations from a GeoBIM Project in The Netherlands. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 8, p. 311, ago. 2018.

PIMENTA, R.; ALMEIDA, J.-P.; TENEDÓRIO, J. **O CADASTRO PREDIAL MULTIFUNCIONAL EM PORTUGAL: PROPOSTA DE REFORMULAÇÃO DO SEU ATUAL MODELO DE EXECUÇÃO**. nov. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LIMEIRA. Lei Complementar nº. 442 de 12 de janeiro de 2.009 e suas alterações, que dispõe sobre o Plano Diretor Territorial-Ambiental do Município de Limeira e dá outras providências. Limeira, Camara Municipal de Limeira, 2009.

SCIOTA, A. A.; HOMSI, B. B.; CHAGAS, M. R.; FELIZARDO, T. S.. **Avaliação da forma urbana resultante do plano diretor em Limeira SP**. *Arquitextos*, São Paulo, ano 23, n. 266.06, Vitruvius, jul. 2022
<<https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/23.266/8554>>.

SHAHAT, E.; HYUN, C. T.; YEOM, C. City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda. **Sustainability**, v. 13, n. 6, p. 3386, mar. 2021.

SHIROWZHAN, S.; SEPASGOZAR, S. Spatial Analysis Using Temporal Point Clouds in Advanced GIS: Methods for Ground Elevation Extraction in Slant Areas and Building Classifications. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 3, p. 120, mar. 2019.

SHIROWZHAN, S.; TAN, W.; SEPASGOZAR, S. M. E. Digital Twin and CyberGIS for Improving Connectivity and Measuring the Impact of Infrastructure Construction Planning in Smart Cities. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 4, p. 240, abr. 2020.

SINGH, H.; GARG, R. D. Web 3D GIS Application for Flood Simulation and Querying Through Open Source Technology. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 44, n. 4, p. 485–494, ago. 2016.

- TZIAVOU, O.; PYTHAROULI, S.; SOUTER, J. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: Considerations for optimum results. *Engineering Geology*, v. 232, p. 12–21, Jan. 2018.
- VACCA, G. et al. GIS-HBIM INTEGRATION FOR THE MANAGEMENT OF HISTORICAL BUILDINGS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII–2, p. 1129–1135, Maio 2018a.
- VACCA, G. et al. INTEGRATING BIM AND GIS DATA TO SUPPORT THE MANAGEMENT OF LARGE BUILDING STOCKS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. XLII–4, p. 647–653, set. 2018b.
- VARELA, Miguel R.; PATRÍCIO, Ana R.; ANDERSON, Karen; et al. Assessing climate change associated sea-level rise impacts on sea turtle nesting beaches using drones, photogrammetry and a novel GPS system. *Global Change Biology*, v. 25, n. 2, p. 753–762, 2019.
- VILLAÇA, F. *Reflexões sobre as cidades brasileiras*. São Paulo, SP: Studio Nobel, 2012.
- WANG, M. et al. An integrated underground utility management and decision support based on BIM and GIS. *Automation in Construction*, v. 107, p. 102931, nov. 2019.

Sites – último acesso em 24 de janeiro de 2023

- <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/regras-de-todos-os-orgaos-brasileiros-sobre-operacao-de-drones> Acesso em: 8 nov. 2022.
- <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/limeira/panorama> Acesso em: 8 nov. 2022.
- <https://www.liectroux.com.br/collections/mais-vendidos/products/xr500>. Acesso em: 8 nov. 2022.
- <https://enterprise.arcgis.com/pt-br/portal/10.7/use/shapefiles.htm> Acesso em: 8 nov. 2022.