



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

*Northeast Geosciences Journal*

v. 12, nº 1 (2026)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2026v12n1ID42437>



## **Proposição metodológica de mapeamento com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) para o planejamento e gestão socioambiental em cidades pequenas**

### ***A methodological proposal for mapping using Remotely Piloted Aircraft (RPA) for urban socioenvironmental planning and management in small cities***

**Beatriz de Azevedo do Carmo<sup>1</sup>; Lindon Fonseca Matias<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geografia, Campinas/SP, Brasil. Email: b264830@dac.unicamp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9234-5521>

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Campinas/SP, Brasil. Email: lindon@unicamp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0098-771X>

**Resumo:** Com os avanços tecnológicos, torna-se necessário refletir sobre seu uso para promover a qualidade de vida, especialmente nas cidades. No Brasil, cidades pequenas ainda carecem de instrumentos técnicos compatíveis com suas demandas e com a resolução espacial e temporal necessária. Diante disso, esta pesquisa propõe um caminho metodológico de mapeamento com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) voltado ao planejamento e à gestão socioambiental urbana nessas localidades. Metodologicamente, foram realizadas pesquisas bibliográfica e documental, além de pesquisa de campo e de gabinete, visando definir um fluxo de trabalho adequado. Os resultados indicam que o uso de ARP é particularmente apropriado em cidades pequenas: em áreas menores, o tempo em campo e o custo operacional tendem a ser reduzidos, tornando a aplicação mais viável apesar do alto valor agregado do equipamento. Por outro lado, observa-se carência de formação técnica entre profissionais e gestores, evidenciando a necessidade de formação continuada para ampliar a autonomia das prefeituras.

**Palavras-chave:** Geotecnologias; Processamento Digital de Imagens; Espaço urbano.

**Abstract:** With technological advancements, it becomes necessary to reflect on their use to promote quality of life, especially in urban areas. In Brazil, small cities still lack technical instruments compatible with their demands and with the required spatial and temporal resolution. In this context, this research proposes a methodological approach to mapping using Remotely Piloted Aircraft (RPA), aimed at urban socio-environmental planning and management in these localities. Methodologically, bibliographic and documentary research were conducted, along with fieldwork and office-based analysis, to define an appropriate workflow. The results indicate that the use of RPA is particularly suitable for small cities: in smaller areas, field time and operational costs tend to be reduced, making its application more feasible despite the high added value of the equipment. On the other hand, there is a lack of technical training among professionals and public managers, highlighting the need for continuous education to enhance the autonomy of local governments.

**Keywords:** Geotechnologies; Digital Image Processing; Urban Space.

## 1. Introdução

As geotecnologias constituem elementos essenciais da prática social no atual momento histórico, na medida em que influenciam a forma pela qual a sociedade percebe, analisa e representa o espaço geográfico (MATIAS, 2005). Por este motivo, torna-se indispensável refletir sobre como tais instrumentos estão sendo mobilizados e, sobretudo, a serviço de qual agente produtor do espaço geográfico.

Rosa (2005) as define como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta, análise e disponibilização de informações com referência geográfica, envolvendo *hardware*, *software* e *peopleware*. Neste ponto, fica em evidência que o papel do usuário (especialmente aquele responsável por tratar os dados e comunicar resultados) é central, pois é nele que se decide a qualidade, o recorte e a inteligibilidade do produto.

Dentre os instrumentos que compõem as geotecnologias, Garcia (2016) aponta, entre outros, a cartografia digital, a topografia e a geodésia, o sensoriamento remoto, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), o *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e a fotogrametria. Ainda que o autor organize esses instrumentos por níveis de coleta, é relevante destacar a fotogrametria e, em especial, a aerofotogrametria, por sua conexão direta com a obtenção de dados aéreos e por sua capacidade de gerar produtos com alto detalhamento, o que amplia as possibilidades de leitura e intervenção em áreas urbanas.

Brito e Coelho Filho (2007) definem a fotogrametria como a medição do terreno por meio de fotografias, entendida como ciência e técnica de obtenção de informações confiáveis a partir de imagens captadas por sensores digitais em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais.

Para além da redução de atividades de campo voltadas ao levantamento pontual de coordenadas, a fotogrametria possibilita a reconstrução tridimensional das localidades, articulando o espaço-imagem (2D) ao espaço-objeto (3D).

A aerofotogrametria, por sua vez, refere-se à aquisição de imagens por sensores embarcados em plataformas aéreas, voltada à extração de informações planialtimétricas. Entretanto, como as aerofotos são obtidas em projeção central, apresentam distorções radiocêntricas, que se intensificam à medida que se afastam do centro da imagem (ROSA, 2009).

Nesse sentido, a sobreposição adequada entre imagens, a calibração do sensor e o planejamento de voo tornam-se elementos fundamentais, pois condicionam diretamente a confiabilidade dos produtos gerados.

Apesar da difusão e do avanço tecnológico das plataformas aéreas (SILVA, 2015), os procedimentos de aerofotogrametria ainda são heterogêneos e pouco sistematizados, evidenciando a necessidade de fluxos de trabalho mais claros e replicáveis, especialmente para o planejamento urbano em cidades pequenas. Nesse contexto, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) destacam-se pela geração de ortoimagens, modelos tridimensionais e modelos digitais — como o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Superfície (MDS). Esses produtos subsidiam análises socioambientais e urbanas (CARMO, 2022; CARMO *et al.*, 2023).

Estudos recentes evidenciam esse potencial ao empregar MDT/MDS para análises de vulnerabilidade a enchentes e alagamentos em distintas realidades urbanas (CARMO; MATIAS, 2024; HANSE *et al.*, 2024). Entretanto, as diferenças entre fluxos operacionais, como a adoção (ou não) de pontos de controle para georreferenciamento, indicam limitações importantes. Embora alguns procedimentos sejam suficientes para leitura visual, eles podem não atender, com segurança, às demandas técnicas de projetos de engenharia e planejamento, especialmente em contextos municipais.

Este artigo tem como objetivo sistematizar e testar um fluxo de aerolevanteamento com ARP, utilizando um *Phantom 4 PRO V2*, adaptado à realidade de prefeituras de cidades pequenas, integrando exigências legais, etapas de campo e Processamento Digital de Imagens (PDI), bem como avaliando sua viabilidade técnica e operacional em áreas urbanas. Para isso, o trabalho está estruturado em quatro seções: diretrizes legais, organização do trabalho de campo, dinâmicas de coleta e processamento dos dados.

## 2. Metodologia

Os procedimentos metodológicos baseiam-se em três etapas: pesquisa bibliográfica e documental, trabalho de campo e atividades de gabinete.

A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de buscas em bases como Periódicos CAPES, Google Acadêmico, Scopus e SciELO. Essa etapa subsidiou a delimitação das fases seguintes e a análise da produção existente sobre o uso de ARP em áreas urbanizadas, além de orientar a escolha do *software* de PDI (AMARAL, 2007).

A pesquisa documental, a partir da análise de leis, decretos e planos (FONTANA, 2018), permitiu compreender as diretrizes da legislação brasileira para aerolevanteamentos e estabelecer parâmetros de voo alinhados às exigências

nacionais, especialmente da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

A pesquisa de campo ocorreu em dois momentos: (I) coleta de pontos de apoio (controle e verificação) e (II) registro de imagens com uma ARP *Phantom 4 PRO V2*, realizados no primeiro trimestre de 2022 no bairro Pinhalzinho, em Holambra (SP) (SUERTEGARAY, 2002). O trabalho de gabinete concentrou-se no PDI no *Agisoft Metashape*, etapa em que foram gerados os produtos descritos em Carmo (2022), pois este estudo deriva de parte desses procedimentos (Figura 1).

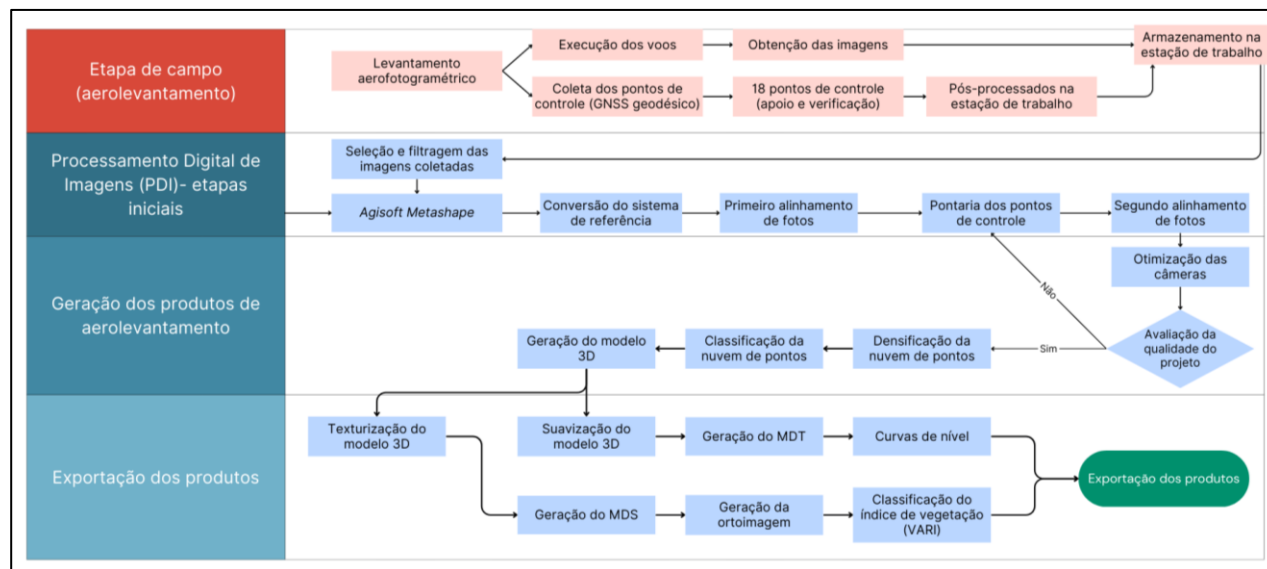


Figura 1 – Fluxo de trabalho na geração de produtos no *Agisoft Metashape*.

Fonte: Autores (2025).

As etapas em vermelho correspondem ao registro das imagens e, em azul, ao trabalho de gabinete. O PDI segue um fluxo padrão: filtragem das imagens; conversão de coordenadas (geográficas/UTM); alinhamento e geração de nuvem esparsa; inserção e marcação dos pontos de controle; realinhamento e otimização da câmera (com checagem de qualidade); densificação e classificação da nuvem; e geração do modelo 3D.

A aplicação desse fluxo validou o procedimento no aspecto jurídico-operacional e técnico-cartográfico. O aerolevantamento com ARP, apoiado em pontos GNSS e processado no *Agisoft Metashape*, gerou ortoimagens, MDT, MDS, curvas de nível e índice de vegetação com acurácia planialtimétrica compatível com o GSD (*Ground Sample Distance*) adotado.

Esse conjunto de produtos indica viabilidade operacional e adequação ao planejamento e à gestão socioambiental urbana em cidades pequenas, oferecendo base cartográfica detalhada e atualizável para uso municipal.

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1 Legislações para o aerolevantamento em áreas urbanas

Dada a crescente difusão dessas aeronaves e o fato de operarem em espaço aéreo compartilhado com outras aeronaves tripuladas, tornou-se essencial a delimitação jurídica de seu uso. A atividade de aerolevantamento pode ser realizada por plataformas tripuladas ou não tripuladas e envolve três aspectos principais, segundo Castilho (2019): (I) é uma ação desenvolvida no espaço aéreo sob domínio do Estado; (II) guarda relação direta com a produção cartográfica; e (III) enfrenta lacunas e sobreposições na legislação brasileira.

O Código Brasileiro de Aeronáutica (Lei nº 7.565/1986) estabelece, em seu Art. 21, que nenhuma aeronave pode transportar equipamento destinado a levantamento aerofotogramétrico ou de prospecção sem autorização de órgão competente, buscando resguardar a segurança pública. Já o Art. 302 tipifica como infração a realização de levantamentos

aerofotogramétricos sem essa autorização. Complementarmente, o Decreto nº 2.278/1997 regulamenta o aerolevanteamento no território nacional, definindo-o como fase de captação e registro de dados por sensores em plataformas aéreas e determinando que, em regra, os produtos decorrentes não são sigilosos, devendo apoiar o desenvolvimento nacional, salvo quando houver risco à segurança do Estado.

No âmbito da aviação civil, a ANAC consolidou requisitos específicos por meio da Resolução nº 419/2017, que aprova o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94. Esse regulamento estabelece que ARPs civis devem ser cadastradas e possuir certidão de registro emitida pela ANAC, além de cumprir requisitos operacionais, como idade mínima do piloto, distâncias de segurança em relação a pessoas não envolvidas na operação e restrições ao sobrevoo de áreas sensíveis. Em complemento, a Portaria GM-MD nº 3.703/2021, do Ministério da Defesa, define procedimentos, prazos e níveis de risco para atividades de aerolevanteamento, incluindo a obrigatoriedade de inscrição das entidades no Sistema de Cadastro de Levantamentos Aeroespaciais do Território Nacional (SisCLATEN), a obtenção de Autorização de Aerolevanteamento Fase Aeroespacial (AAFA) e o controle dos produtos, que devem permanecer sob guarda no território nacional.

A legislação também prevê regras específicas para a participação de entidades estrangeiras, cuja atuação depende de autorização do Presidente da República, a partir de solicitação do Ministério da Defesa. Por outro lado, algumas exceções foram estabelecidas: a Portaria Normativa nº 101/GM-MD dispensa de autorização prévia os aerolevanteamentos destinados a atividades agroflorestais em propriedades privadas com área de até 15 km<sup>2</sup>, o que evidencia a busca por conciliar controle estatal, proteção da população e estímulo ao uso aplicado das geotecnologias.

### 3.2 Procedimentos pré-campo para o aerolevanteamento em cidades

A etapa pré-campo é fundamental, pois é nela que se definem os parâmetros de voo e se organiza a coleta dos pontos de controle que subsidiarão o pós-processamento, elevando a precisão e a acurácia dos produtos gerados. Neste trabalho, o planejamento foi estruturado em quatro etapas: (I) elaboração de *check-list*; (II) planejamento de voo; (III) planejamento da coleta dos pontos de controle; e (IV) calibração do equipamento.

Na elaboração das *check-lists*, utilizou-se o *Trello* como ferramenta de organização, de modo a sistematizar as tarefas e reduzir falhas operacionais. Foram estruturadas três listas (pré-campo, campo e pós-campo) voltadas à execução das missões com ARP, conforme apresentado na Figura 2.

Pré-campo	Campo	Pós-campo
<input checked="" type="checkbox"/> Pré-campo 0%	<input checked="" type="checkbox"/> Checklist 0%	<input checked="" type="checkbox"/> Checklist 0%
<input type="checkbox"/> Autorização do SARPAS/DECEA	<input type="checkbox"/> Calibrar o IMU (antes de sair para campo, no app para celular DJI GO 4)	<input type="checkbox"/> Desligar o equipamento
<input type="checkbox"/> Certificado de piloto e aeronave (ANAC)	<input type="checkbox"/> Calibrar o drone no DJI Assistant (antes de sair para o campo)	<input type="checkbox"/> Verificar a integridade do RPA
<input type="checkbox"/> Nota Fiscal do Equipamento	<input type="checkbox"/> Tirar o protetor da gimbal	<input type="checkbox"/> Guardar os cabos
<input type="checkbox"/> Protetor solar	<input type="checkbox"/> Conectar o cabo USB no controle e no smartphone	<input type="checkbox"/> Retirar a bateria do RPA (NUNCA guardar o RPA com a bateria)
<input type="checkbox"/> Smartphone (mais de 70% de bateria)	<input type="checkbox"/> Verificar motores (cheiro e integridade) - Ligar com o controle	<input type="checkbox"/> Retirar o cartão SD (quando estiver no local onde o RPA será guardado)
<input type="checkbox"/> Baterias do RPA completamente carregadas	<input type="checkbox"/> Verificar as hélices (colocá-las de acordo com suas cores, preto e cinza)	<input type="checkbox"/> Passar as imagens para o notebook
<input type="checkbox"/> Controle (carregado com pelo menos 50% de carga)	<input type="checkbox"/> Ligar o RPA	<input type="checkbox"/> Verificar a qualidade das imagens
<input type="checkbox"/> Cabo USB	<input type="checkbox"/> Ligar o controle	<input type="checkbox"/> Apagar as imagens do cartão SD
<input type="checkbox"/> Hélices (integridade)	<input type="checkbox"/> Abrir o aplicativo da DJI GO 4	<input type="checkbox"/> Extrair o log do voo (para os RPA's da DJI precisa de um software, DJI pilot)
<input type="checkbox"/> Verificar os motores do RPA	<input type="checkbox"/> Verificar se tem sinal de GPS no aplicativo DJI GO 4	
<input type="checkbox"/> Verificar se os sensores estão limpos	<input type="checkbox"/> Calibrar a bússola da RPA (no DJI GO 4, ir em Compass, caso não apareça na tela)	
<input type="checkbox"/> Verificar se o cartão SD está no RPA	<input type="checkbox"/> Colocar o home point	
<input type="checkbox"/> Calibrar o equipamento	<input type="checkbox"/> Abrir o aplicativo do Dronedeploy	
<input type="checkbox"/> Verificar se há atualização do firmware	<input type="checkbox"/> Executar o plano de voo	
<input type="checkbox"/> Passar o plano de voo para o smartphone (Dronedeploy)		

Figura 2 – Check-lists dos campos para o registro de imagens com ARP.

Fonte: Autores (2025).

Nas check-lists, deu-se atenção especial às autorizações e documentos necessários (SARPAS/DECEA, certificados da ANAC e nota fiscal), ao nível de bateria do smartphone ou tablet, à integridade do equipamento e às rotinas de execução

e pós-campo. Esses itens buscam garantir a segurança da operação, reduzindo riscos de acidentes com operadores e terceiros, bem como de avarias na ARP.

A segunda etapa, voltada à delimitação da área a ser mapeada e à definição dos parâmetros de voo, pode ser organizada no *DroneDeploy*, desde que previamente definidos o equipamento e o GSD. Ferreira (2017) define o GSD como o tamanho do pixel da imagem, expresso em cm/pixel, isto é, a porção do terreno representada por cada pixel. Assim, trata-se de um parâmetro diretamente condicionado, sobretudo, pela altura de voo, pela distância focal e pelo tamanho do pixel no sensor.

Neste estudo, utilizou-se uma ARP da linha *Phantom* (DJI *Phantom 4 PRO V2*), apresentada na Figura 3. Trata-se de uma plataforma com navegação embarcada (GPS/GLONASS) e câmera com sensor CMOS, adequada à coleta de imagens de alta resolução para fins de mapeamento, desde que operada com planejamento de voo e calibração compatíveis com a precisão demandada.



Figura 3 – ARP utilizada em campo.  
Fonte: Autores (2025).

Um ponto relevante é que a ARP não possui autonomia de voo extensa: cada bateria opera, em média, por cerca de 30 minutos. Por este motivo, conforme a dimensão da área a ser mapeada, tornam-se necessárias sessões complementares de voo.

Com a definição da ARP, o passo seguinte é estabelecer o GSD. Costa *et al.* (2018) indicam que seu cálculo é dado por [Equação 1]:

$$\frac{f}{h_v} = \frac{d}{GSD},$$

onde  $h_v$  refere-se à altura de voo,  $f$  à distância focal e  $d$  as dimensões físicas do pixel. As variáveis necessárias podem ser obtidas na ficha técnica do fabricante (DJI) e no plano de voo. Assim, para determinar  $d$ , aplica-se o cálculo apresentado na [Equação 2]:

$$Tam_{pixel_x} = \frac{Comp_{sensor}}{Comp_{imagem}} = \frac{13,2 \text{ mm}}{5472} = 0,0024128 \text{ mm/pixel}$$

$$Tam_{pixel_y} = \frac{Altura_{sensor}}{Altura_{imagem}} = \frac{8,8 \text{ mm}}{3648} = 0,0024122 \text{ mm/pixel}$$

considerando que a diferença entre os dois resultados não é significativa, adotou-se o valor de 0,00241 mm/pixel para a variável  $d$ . Logo, o GSD do aerolevanteamento, a ser realizado com um *Phantom 4 PRO V2*, foi calculado da seguinte forma [Equação 3]:

$$\frac{3,61 \text{ mm}}{71,1 \text{ m}} = \frac{0,00241}{GSD}$$

$$GSD = 71,1 \text{ m} \times \frac{0,00241}{3,61 \text{ mm}}$$

$$GSD = 71,1 \text{ m} \times 0,00066$$

$$GSD = 0,0469 \text{ mm}$$

portanto, para uma altura média de voo de 71,1 m e considerando as características do sensor do *Phantom 4 PRO V2*, o GSD estimado foi de aproximadamente 4,75 cm/pixel. No *Agisoft Metashape*, a ortoimagem foi exportada com pixel de 2,74 cm/pixel, valor inferior ao GSD teórico; trata-se, contudo, de um reamostramento na exportação, que não aumenta a resolução geométrica, permanecendo limitada ao GSD de cerca de 4,7 cm/pixel. A Tabela 1 sintetiza os parâmetros adotados no aerolevanteamento deste estudo.

*Tabela 1 – Parâmetros dos voos no bairro Pinhalzinho, em Holambra (SP), área teste*

<b>Parâmetros</b>	<b>Dados</b>
Altura de voo (m)	71,1 m
Quantidade de imagens	1.096
Quantidade de baterias	4
Linhas de voo	34
GSD	0,0469 mm
Tempo estimado de voo	45 min 09 seg
Taxa de sobreposição lateral	80%
Taxa de sobreposição frontal	80%

*Fonte: Autores (2025).*

Os parâmetros de voo definidos no pré-campo podem ser ajustados durante a atividade, especialmente quanto ao número de imagens e ao consumo de baterias, em função de eventuais perdas de sinal entre a ARP e o controle remoto. Carmo (2022) recomenda sobreposição frontal e lateral de 80% para assegurar a qualidade dos produtos, sobretudo em áreas urbanas, marcadas por maior heterogeneidade.

Com os parâmetros definidos, elabora-se o plano de voo no *DroneDeploy*, conforme apresentado na Figura 4.



Figura 4 – Plano de voo organizado no site DroneDeploy.  
Fonte: Autores (2022).

Quanto à delimitação da área de voo (Figura 4), adotou-se uma margem de 30 m além do limite do bairro, a fim de reduzir efeitos nas bordas dos produtos, como os chamados “arrastamentos” (borrões na imagem).

Após o planejamento do voo, definiu-se o planejamento dos pontos de controle com apoio do *Google Earth Pro*, buscando distribuí-los de forma coesa e eficiente. Silva (2018) destaca que esses pontos, fotointerpretáveis no terreno, devem ter coordenadas x, y e z obtidas com alta precisão, de modo a assegurar melhor georreferenciamento dos produtos.

A distribuição deve ser homogênea em toda a área e planejada antes do aerolevanteamento. A INCRA/DF/Nº 02 (2018) estabelece o mínimo de 20 pontos de controle (apoio e verificação), devidamente sinalizados em campo e identificáveis nas imagens. Na Figura 5, observa-se que a distribuição ocorreu de forma homogênea, contemplando limites, área central e setores com sobreposição de linhas de voo.



Figura 5 – Planejamento dos pontos de controle no Google Earth PRO.

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 6, em amarelo estão os pontos de apoio (HV) e, em vermelho, os pontos de verificação (CH). Como parte deles foi alocado em áreas de grama, utilizou-se EVA (preto e branco) para sua identificação em campo, e cal dissolvida em água para aqueles posicionados sobre o asfalto. A sinalização seguiu o padrão xadrez (Figura 6), com alvos de 42 cm x 42 cm e quadrados de 21 cm x 21 cm (MATIAS *et al.*, 2015).

Para garantir a execução do planejamento em campo, realizou-se a calibração prévia da aeronave em laboratório. Nos equipamentos DJI, esse procedimento pode ser feito no DJI Assistant 2 for Phantom (em notebook ou desktop), com calibração de sensores e atualização de firmwares, recomendadas no início de cada operação.

### 3.3 Diretrizes de campo para o aerolevanteamento

Em campo, é importante estabelecer uma ordem cronológica de execução da operação, sendo ela: (I) pré-sinalização dos pontos de controle; (II) coleta dos pontos de controle com receptor GNSS; (III) calibragem do equipamento em campo (*IMU* e *compass*); e (IV) sobrevoo da área de interesse.

A primeira etapa da operação deve ser realizada impreterivelmente no início do processo, haja vista que os pontos de controle devem estar sinalizados quando a etapa de sobrevoo começar.

A coleta dos pontos de controle com GNSS pode ser realizada simultaneamente ao sobrevoo, o que reduz significativamente o tempo de campo. Fagundes (2016) trata que a chamada pré-sinalização de pontos de controle consiste numa marcação artificial no campo, que pode ser visualizada em imagens aéreas, sua utilidade principal é auxiliar na precisão da localização dos pontos, que são fundamentais nos cálculos de aerotriangulação.

Após a pré-sinalização, iniciam-se o aerolevanteamento e a coleta de coordenadas com GNSS geodésico. Monico (2008) distingue três tipos principais de receptores: (I) receptores de navegação (GPS), de precisão limitada; (II) receptores GNSS RTK, com base e *rover*, que geram informação em tempo real; e (III) receptores GNSS geodésicos, também com base e *rover*, voltados a levantamentos de alta precisão.

Os dados obtidos podem alcançar precisão centimétrica (GNSS RTK) ou milimétrica (GNSS geodésico), mas exigem pós-processamento em estação de trabalho para correção de erros (MONICO, 2008). Em campo, foram pré-sinalizados vinte pontos; porém devido a imprevistos e perdas no processamento, restaram dezoito pontos de controle.

Nesta pesquisa, o equipamento utilizado em campo foi um par de receptores/antena L1/L2 GNSS Hiper Lite+, da marca *Topcon*. O tempo de rastreamento da estação base foi de 5 horas, já a estação de levantamento foi de 15 a 20 minutos para cada um dos pontos de controle. Na Figura 6, é possível visualizar a estação base, bem como a coleta de pontos com a estação de levantamento.



Figura 6 – Alocação da estação base do GNSS geodésico e coleta de pontos de controle com a estação de levantamento.  
Fonte: Autores (2022).

Após coletados, esses dados são levados para laboratório para serem processados para o uso no processo de georreferenciamento das imagens, garantindo a precisão dos produtos gerados. O aerolevanteamento pode ser realizado simultaneamente a essa etapa, visto que os pontos de controle já se encontram pré-sinalizados. Nesse contexto, a organização é essencial, pois esses pontos serão utilizados no PDI.

Na etapa de aerolevanteamento, as baterias da ARP e do controle devem estar totalmente carregadas, e o smartphone com, no mínimo, 80% de carga. A operação utiliza os aplicativos DJI GO 4, responsável pela conexão e calibração do sistema (incluindo o *compass*), e o *DroneDeploy*, para execução do plano de voo.

De forma geral, o processo de execução da operação da ARP é automatizado, é relevante que o operador saiba pilotar o equipamento para ter mais segurança na operação, mas o processo em si é realizado exclusivamente pelo aplicativo *DroneDeploy*.

### 3.4 Processos pós-campo, da organização das imagens ao Processamento Digital de Imagens (PDI)

Um dos elementos centrais na etapa de PDI é o *hardware* disponível para o processamento. Nesta pesquisa, utilizou-se uma estação de trabalho (notebook Avell) com arquitetura x64, processador Intel Core i7 (8ª geração), 16 GB de RAM, SSD de 500 GB, HD de 1 TB e GPU NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti, operando em *Windows 11 Home* (licença particular). Com essa configuração, o processamento integral do projeto, composto por 1.096 imagens, demandou aproximadamente 72 horas, incluindo as etapas de processamento e a exportação dos produtos.

As atividades pós-campo, em gabinete, concentraram-se no tratamento das coordenadas coletadas com GNSS geodésico, no PDI das imagens aéreas e na geração dos produtos cartográficos. O pós-processamento das coordenadas foi realizado por processamento estático rápido, tendo como referência a estação SPC1 da RBMC/IBGE, no *software TopconTools*, resultando em dados planimétricos e altimétricos.

Os dados obtidos são apresentados na Tabela 2, organizados em pontos de apoio (HV) e pontos de verificação (CH), utilizados no PDI das imagens para assegurar a qualidade posicional dos produtos.

Tabela 2 – Parâmetros dos voos no bairro Pinhalzinho, em Holambra (SP).

Pontos de controle	Coordenada E (m)	Coordenada N (m)	Altitude (m)	Sd plan	Sd alt
CH1	286438,930	7491271,173	541,832	0,002	0,004
CH2	286505,881	7491460,132	542,716	0,002	0,004
CH3	286680,377	7491606,308	550,415	0,001	0,002

CH4	286794,705	7491449,929	556,932	0,001	0,001
CH5	287084,234	7491476,634	556,667	0,003	0,008
HV1	286457,524	7491289,892	541,748	0,002	0,003
HV2	286438,655	7491242,781	541,436	0,001	0,002
HV3	286533,486	7491065,919	544,410	0,002	0,005
HV4	286487,210	7491340,493	541,636	0,001	0,003
HV5	286603,196	7491599,145	543,189	0,001	0,002
HV6	286788,023	7491595,217	559,460	0,001	0,002
HV7	286761,074	7491523,130	556,468	0,001	0,001
HV8	286623,694	7491344,538	541,297	0,001	0,002
HV9	286738,339	7491388,367	550,307	0,006	0,010
HV10	286795,333	7491250,209	541,294	0,001	0,002
HV11	286937,023	7491538,146	564,349	0,001	0,003
HV12	286896,155	7491468,723	561,076	0,001	0,002
HV13	287236,928	7491451,193	541,630	0,007	0,014

Fonte: Autores (2022).

As coordenadas apresentadas na Tabela 2 correspondem aos dados utilizados no PDI, assegurando a confiabilidade dos produtos. Todas estão em UTM e, ao serem importadas para o software de processamento, adotou-se o sistema de referência SIRGAS 2000.

O PDI foi realizado no *Agisoft Metashape* (licença educacional cedida pelo grupo de pesquisa DEGET/UNEMAT – campus Sinop) e a confecção dos produtos cartográficos no *ArcGIS Pro* (licença educacional cedida pela UNICAMP).

Para avaliar a qualidade do projeto, adotou-se o princípio de Graham e Koh (2002), segundo o qual a precisão planimétrica e altimétrica é considerada adequada quando se mantém em torno de 2 a 3 vezes o tamanho do GSD indicado no relatório de PDI. No projeto utilizado como referência nesta pesquisa, o GSD foi de 2,93 cm/pixel e, conforme a Tabela 3, os resultados obtidos permanecem dentro desse limite.

Tabela 3 – Dados referentes ao relatório de PDI, com base nos pontos de verificação.

Quantidade de pontos	Erro do eixo X (cm)	Erro do eixo Y (cm)	Erro do eixo Z (cm)	Erro do eixo XY (cm)	Total de erro (cm)
5	1,6575	0,901599	1,78212	1,88684	2,5954

Fonte: Dados oriundos do relatório de processamento gerado no software *Agisoft Metashape*, organizado pelos autores (2022).

Os demais produtos do *Agisoft Metashape* são derivados do modelo 3D e seguem dois fluxos, conforme indicado na Figura 1. Entre eles, destaca-se a distinção entre MDS e MDT: o primeiro incorpora elementos acima da superfície, enquanto o segundo representa apenas o terreno. Por este motivo, torna-se necessária a classificação da nuvem de pontos.

Além disso, é possível gerar índices de vegetação, como o VARI (GITELSON *et al.*, 2002; SCHNEIDER *et al.*, 2008), que considera a influência atmosférica e permite discriminar alvos, indicando se a vegetação em desenvolvimento se mantém dentro de padrões esperados. Gitelson *et al.* (2002) destacam que o índice reduz efeitos atmosféricos ao subtrair a banda referente ao canal azul, conforme [Equação 4]:

$$\text{VARI} = \frac{\text{Green} - \text{Red}}{\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue}}$$

A partir dessa equação, é possível identificar áreas com maior ou menor densidade de vegetação. Ao final do processamento, foram exportados o índice de vegetação, a ortoimagem, o MDS, o MDT e as curvas de nível, os quais foram importados no *ArcGIS Pro* para organização do layout e disponibilização dos produtos.

A partir dos produtos gerados, foi possível identificar, na área de estudo, padrões distintos de uso e ocupação da terra urbana, com concentração de superfícies impermeabilizadas nas áreas centrais e maior presença de cobertura vegetal em setores periféricos. A análise integrada do MDT e do MDS também permitiu reconhecer variações topográficas associadas

a potenciais áreas de escoamento superficial, indicando setores mais suscetíveis a alagamentos. Esses resultados demonstram que, para além da validação técnica, os produtos derivados do aerolevanteamento com ARP permitem leituras aplicadas ao planejamento urbano, subsidiando diagnósticos territoriais e a tomada de decisão em nível municipal.

### 3.5 Geotecnologias, planejamento socioambiental urbano e cidades pequenas

As geotecnologias, como mediação técnico-científica da (re)produção do espaço urbano, desempenham papel estratégico no planejamento socioambiental, especialmente em cidades pequenas marcadas por escassez de dados e fragilidade institucional. Nesses contextos, a falta de bases cartográficas atualizadas, a dependência de imagens de baixa resolução e a limitada qualificação técnica das equipes municipais restringem a capacidade de diagnóstico e intervenção (CARMO *et al.*, 2023).

No âmbito da gestão municipal, os produtos do aerolevanteamento com ARP podem ser incorporados às rotinas de planejamento urbano. A ortomagem de alta resolução permite a atualização cadastral e a identificação de ocupações irregulares; os modelos digitais (MDT e MDS) subsidiam análises de drenagem e o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos; as curvas de nível auxiliam no planejamento da infraestrutura e do parcelamento do solo; e os índices de vegetação permitem o monitoramento de áreas verdes e da impermeabilização. Assim, o fluxo metodológico proposto ultrapassa a geração de dados e se consolida como instrumento de apoio à tomada de decisão no planejamento socioambiental urbano em cidades pequenas.

Ao mesmo tempo, observa-se um encaixe forçado de instrumentos tradicionais de planejamento, pensados para cidades médias e grandes, que nem sempre correspondem às necessidades locais (SANTORO; NASCIMENTO NETO, 2023). Soma-se a isso o fato de que, no âmbito da política urbana brasileira, o Plano Diretor Municipal (PDM) se consolidou como principal instrumento de ordenamento, mas sua exigência legal vinculada a municípios com mais de 20.000 habitantes acaba por desassistir parte expressiva das cidades pequenas, contribuindo para problemas como degradação ambiental, retenção imobiliária, déficits de infraestrutura urbana e social (CARNEIRO; FAÇANHA, 2015).

Nesse sentido, os produtos do aerolevanteamento com ARP, como ortomagens de alta resolução, MDS, MDT, curvas de nível e índices de vegetação, constituem alternativa concreta para superar lacunas históricas, ampliando a precisão analítica e o monitoramento das dinâmicas socioambientais urbanas. Carmo *et al.* (2023) destacam que imagens orbitais gratuitas, em geral, não atendem às demandas de cidades pequenas, enquanto o uso de ARP oferece maior resolução espacial e temporal. Carmo (2022) demonstra aplicações como delimitação de áreas permeáveis, classificação do uso da terra, identificação de áreas vulneráveis a enchentes e reconhecimento de ocupações irregulares, além da reconstituição tridimensional de áreas urbanas e rurais.

Apesar da diversidade de aplicações, o uso de geotecnologias no planejamento urbano ainda é, em geral, limitado a inventários e mapas de diagnóstico, com pouca incorporação de modelagem e análises espaciais mais robustas (BUGS, 2014). Isso evidencia um hiato entre a sofisticação técnica disponível e sua efetiva apropriação por prefeituras de cidades pequenas, restringindo a capacidade de planejamento e gestão socioambiental.

Por este motivo, a discussão não pode se restringir às potencialidades técnicas: ela precisa considerar limites e implicações político-institucionais do uso das geotecnologias. Göçmen e Ventura (2010) identificam barreiras centrais para a adoção (treinamento do corpo técnico, financiamento para *hardware* e *softwares* e disponibilidade de dados) e esse quadro se projeta no Brasil, com restrições tanto na oferta quanto na qualidade/resolução de dados, além de uma cartografia de base municipal frequentemente inexistente ou limitada a produtos gerais (como os do IBGE), o que condiciona análises restritas.

As geotecnologias influenciam a forma de perceber e representar o espaço geográfico, orientando a (re)produção sócio-espacial. Nesse sentido, é fundamental refletir sobre seus usos e sobre os agentes que orientam sua aplicação, pois podem tanto reforçar desigualdades quanto contribuir para a qualidade de vida e a justiça social (MATIAS, 2005). Ao propor e testar um fluxo metodológico de aerolevanteamento com ARP adaptado a cidades pequenas, este artigo contribui para essa segunda perspectiva, aproximando a cartografia de alta resolução do planejamento socioambiental urbano. Ainda assim, sua adoção depende de formação continuada, financiamento e gestão democrática do território.

### 4. Considerações finais

O artigo sistematizou e testou um fluxo metodológico de mapeamento com ARP voltado à realidade de cidades pequenas, articulando exigências legais, etapas de campo e processamento digital de imagens. Os resultados demonstram que é possível gerar produtos cartográficos de alta resolução adequados ao planejamento e à gestão socioambiental, com

boa relação entre custo, tempo de operação e nível de detalhamento.

Embora o método se torne oneroso em grandes áreas, em cidades pequenas o aerolevanteamento com ARP se apresenta como alternativa especialmente promissora, permitindo a produção de dados atualizados e compatíveis com as demandas locais. O uso de *softwares* com interfaces intuitivas facilita a adoção do fluxo por equipes técnicas que já possuem algum contato com geotecnologias, ainda que não sejam especialistas em fotogrametria.

Como limitação da pesquisa, destaca-se que a aplicação do fluxo metodológico ocorreu em uma única área de estudo, o que restringe a generalização para outros contextos urbanos. Entretanto, os resultados obtidos indicam potencial de replicabilidade em outras cidades pequenas, desde que consideradas suas especificidades sócio-espaciais, institucionais e técnicas. Ressalta-se que o fluxo metodológico proposto já foi aplicado em outras pesquisas desenvolvidas pela autora, o que reforça sua consistência e sua capacidade de adaptação a diferentes realidades.

Por outro lado, a carência de equipes capacitadas e de infraestrutura mínima em muitas prefeituras ainda limita a apropriação dessa tecnologia. Nesse sentido, a consolidação de processos de formação continuada e de investimentos básicos em equipamentos e softwares são condição necessária para que protocolos como o aqui proposto sejam incorporados de forma efetiva às rotinas institucionais de planejamento e gestão socioambiental urbana em cidades pequenas.

### Referências

- Amaral, J. J. F. *Como Fazer Uma Pesquisa Bibliográfica*. Fortaleza, 2007. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo\\_C5\\_Como\\_fazer\\_pesquisa\\_bibliografica.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C5_Como_fazer_pesquisa_bibliografica.pdf). Acesso em: 19 abr. 2026
- Brito, J. L. N. S.; Coelho Filho, L. C. T. *Fotogrametria digital*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.
- BUGS, G. *Tecnologias da Informação e Comunicação, Sistemas de Informação Geográfica e a participação pública no planejamento urbano*. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2014.
- CARMO, B. A. *Os Modelos Digitais de Terreno na caracterização da vulnerabilidade socioambiental a enchentes na periferia do espaço urbano de Holambra (SP) e as ações do planejamento urbano*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – IG/Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2022.
- CARMO, B. A.; MATIAS, L. F. Utilização de Modelos Digitais de Terreno e Superfície (MDT e MDE) na identificação de áreas vulneráveis a enxurradas e enchentes no bairro Pinhalzinho em Holambra/SP (Brazil). In: 10º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável (PLURIS 2024), 2024, Porto, Portugal. *Anais [...]*. Porto: Universidade de Guimarães, 2024, p. 1 – 12.
- CARMO, B. A.; AZEVEDO, T.; MATIAS, L. F. As imagens de sensoriamento remoto no planejamento urbano de cidades pequenas: a necessidade da adoção de imagens aéreas. In: XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023, Florianópolis, Santa Catarina. *Anais [...]*. São José dos Campos (SP): INPE, 2023, p. 3151-3154.
- CARNEIRO, W. P.; FAÇANHA, A. C. O planejamento e a gestão urbana em cidades pequenas: o caso da cidade de Barras (PI). In: XI ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE, 2015, Salvador. *Anais [...]* Salvador: ENANPEGE, 2015.
- Castilho, J. R. F. *Legislação de aerolevanteamento com drones*. São Paulo: Editora Pilares, 2019.
- COSTA, G. C.; ALMEIDA, U. C.; SILVA, R. C.; VIANA, R. B. *Estudo sobre a utilização de alvos pré-sinalizados para apoiar levantamentos aerofotogramétricos realizados com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)*. In: TULLIO, L. (Org.) Aplicações e princípios do sensoriamento remoto. 2ª ed, Ponta Grossa: Atena Editora, p. 134 – 143, 2018.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. Portaria DECEA

- Nº282/DGCEA, de 22 de dezembro de 2016. Aprova a reedição da ICA 100-40, que trata dos "Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro". Brasília, 2016. Disponível em: [https://www.cobra.org.br/banco\\_imagens/arquivos/publica%C3%A7%C3%A3o\\_decea\\_ica\\_100-40.pdf?utm\\_source](https://www.cobra.org.br/banco_imagens/arquivos/publica%C3%A7%C3%A3o_decea_ica_100-40.pdf?utm_source)
- FAGUNDES, M. A. R. *Geração de base cartográfica tridimensional com o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2016.
- FERREIRA, T. R. *Volume útil de pilha de granel com retomada inferior*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.
- FONTANA, F. *Técnicas de pesquisa*. In: MAZUCATO, T. (Org.). Metodologia da pesquisa e do trabalho científico. 1ª ed, Petrópolis: FUNEPE, 2018, p. 9 – 17.
- GARCIA, G. J. *Geotecnologias aplicadas ao planejamento e gestão ambiental*. 1ª ed. Rio Claro: Unesp/IGCE/CEAPLA, 2016.
- Göçmen, Z. A.; Ventura, S. J. Barriers to GIS use in planning. *Journal of the American Planning Association*, v. 76, n. 2, p. 172 – 183, 2010.
- HANSE, P. O. S.; CARMO, B. A.; CARMO, J. A.; FARIA, N. S. O uso de Aeronave Remotamente Pilotada e de MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície) para análise de área de alagamento. In: 8 Geopantanal, 2024, Poconé, Mato Grosso. *Anais [...]*. São José dos Campos (SP):INPE, 2024, p. 580-589.
- Gitelson, A. A.; Stark, R.; Grits, U.; Rundquist, D.; Kaufman, Y.; Cerry, D. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, n. 13, 2002, p. 2537 - 2562.
- GRAHAM, R.; KOH, A. *Digital Aerial Survey, Theory and Practice*. Whittles Publishing Caithness, 2002.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. Norma de Execução INCRA/DF/Nº02, de 19 de fevereiro de 2018: Estabelece critérios para aplicações e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais em atendimento ao parágrafo 3º do artigo 176 da Lei nº6.015, de 31 de dezembro de 1973. Brasília: [s.n.], 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/incra/pt-br/centrais-de-conteudos/legislacao/NE\\_02\\_2018\\_DF.pdf?utm\\_source](https://www.gov.br/incra/pt-br/centrais-de-conteudos/legislacao/NE_02_2018_DF.pdf?utm_source)
- MATIAS, L. F. Por uma economia política das geotecnologias. X ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 2005, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005, p. 8879 - 8899.
- MATIAS, G. R. M.; GUZATTO, M. P.; SILVEIRA, P. G. *Mapeamento topográfico cadastral por integração de imagens adquiridas com VANT a técnicas tradicionais*. 2015, 175 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2015.
- Monico, J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações*. 2ª ed. Editora Unesp, 2008.
- Rosa, R. *Introdução ao sensoriamento remoto*. 7ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.
- ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do departamento de geografia*. Instituto de Geografia, Uberlândia. p. 81 – 90. 2005.
- SANTORO, A. G.; NASCIMENTO NETO, P. Pequenas cidades e o encaixe forçado dos instrumentos tradicionais de planejamento urbano. In: XX ENANPUR, 2023, Belém, Pará. *Anais [...]*. Belém (PA), p. 1 – 13, 2023.

---

Schneider, P.; Roberts, D. A.; Kyriakids, P. C. A vari-based relative greenness from MODIS data for computing the Fire Potential Index. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, 2008, p. 1151 - 1167.

SILVA, D. C. Evolução da Fotogrametria no Brasil. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 3, n. 2, p. 81 – 96, 2015.

SILVA, D. Q. *Viabilidade e acurácia de VANT para o monitoramento costeiro tridimensional*. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2018.

SUERTEGARAY, D. M. A. *Geografia e trabalho de Campo*. In: Geografia Física Geomorfologia: uma (re)leitura. Ijuí: Editora da UNIJUI, 2002.