

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Gabriele da Silva Alves

**O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A  
ELABORAÇÃO DE PRODUTOS DE GESTÃO FLORESTAL E  
AMBIENTAL**

Frederico Westphalen, RS  
2023

**Gabriele da Silva Alves**

**O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A ELABORAÇÃO DE  
PRODUTOS DE GESTÃO FLORESTAL E AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao Curso em Engenharia  
Florestal, da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM/FW, RS), como  
requisito parcial para a obtenção do título  
de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Marcelo Breunig

Frederico Westphalen, RS  
2023

**Gabriele da Silva Alves**

**O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A ELABORAÇÃO DE  
PRODUTOS DE GESTÃO FLORESTAL E AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao Curso em Engenharia  
Florestal, da Universidade Federal de  
Santa Maria (UFSM/FW, RS), como  
requisito parcial para a obtenção do título  
de Engenheira Florestal.

Aprovada em 07 de julho de 2023.

---

**Fábio Marcelo Breunig, doutor (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Felipe Turchetto, doutor (UFSM)**

---

**Renato Beppler Spohr, doutor (UFSM)**

Frederico Westphalen, RS  
2023

## RESUMO

### O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A ELABORAÇÃO DE PRODUTOS DE GESTÃO FLORESTAL E AMBIENTAL

AUTORA: Gabriele da Silva Alves  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Fábio Marcelo Breunig

A utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs), conhecidos como drones, tem-se ampliado nas áreas ambientais, florestais e agrícolas. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo compreender quais resultados podem ser obtidos com dados VANT para demarcar calhas e leitos de rio e identificar marcos topográficos. Para isso, foram conduzidos voos em uma área pertencente ao município de Erval Grande, no estado do RS. Distintas configurações de voo foram testadas para geração de modelos digitais de superfície (MDS) e modelo digital do terreno (MDT), bem como ortomosaico. Assim, em posse dos modelos digitais, foi realizada a demarcação do rio com o auxílio de softwares de geoprocessamento. De maneira geral, foi demonstrado que o processo de demarcação de rios utilizando dados de VANTs ocorre de maneira razoável em comparação ao processo de topografia convencional, baseado no sistema ponto a ponto. Além disso, aspira-se ampliar as discussões acerca do tema nas áreas florestais, ambientais e agrícolas, que muito tem a ganhar com a metodologia aqui empregada para a utilização de VANTs.

**Palavra-chave:** VANTs, drones, modelos digitais, geoprocessamento

## ABSTRACT

## **USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR FORESTRY AND ENVIRONMENTAL PRODUCTS DESIGN**

AUTHOR: Gabriele da Silva Alves  
ADVISOR: Prof. Dr. Fábio Marcelo Breunig

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs), widely known as drones, has increased in environmental, forestry and agricultural context. In this sense, the present work aims to understand which results can be archived using UAV data to delineate river channels and beds as well identify topographic ground points. The study was conducted in the municipality of Erval Grande, in the state of RS, Brazil. Several different fly modes were carried out to create the digital surface model (MDS) and digital terrain model (MDT), and orthomosaic. Thus, using such digital models, the demarcation of the channel and riverbed was carried out with the aid of a geoprocessing software. In general, it was demonstrated that the process of demarcation of rivers using UAVs occurs in a very roughly way compared to the conventional topography process, based on the point-to-point system. In addition, it aspires to expand discussions on the subject in the forestry, environmental and agricultural areas, which have much to gain from the methodology used here for the use of UAVs.

**Keywords:** UAVs, drones, digital models, geoprocessing

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço empresa Florestal SC – Serviços Ambientais e Topográficos, pelo auxílio na disponibilização da área de estudo e dados de campo coletados na Cidade de Erval Grande/RS, no ano de 2022.

A Universidade Federal de Santa Maria campus de Frederico Westphalen - UFSM/FW e todo o corpo docente pela trajetória acadêmica.

Agradecimento em especial ao Professor Doutor Fábio M. Breunig por ter dado a honra de ser sua orientada durante o estudo, por seus esforços diariamente em sua orientação.

Agradecimento especial ao Professor Dr. Renato Beppler Spohr, e aos acadêmicos de Engenharia Florestal Rafaela Rodrigues e Kethony Cooper pelo auxílio no dia campo.

Agradeço a família pelo apoio, em especial minha mãe adotiva Angela M. Machado Vargas, que sempre incentivou na busca pelo conhecimento, sempre me estimulou a sair da zona de conforto, gosto muito da frase que ela dizia “podem te tirar tudo, menos tua educação”

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>11</b>
3.1 CONCEITO DE VANTs	12
3.2 BREVE HISTÓRICO	13
3.3 REGULAMENTAÇÃO	14
3.4 UTILIZAÇÃO DOS VANTs	15
<b>3.4.1 Utilização de VANTs na agricultura</b>	<b>16</b>
<b>3.4.2 Utilização de VANTs na área florestal</b>	<b>16</b>
<b>3.4.3 Utilização ambiental de VANTs</b>	<b>17</b>
<b>3.4.4 Utilização de VANTs na topografia</b>	<b>18</b>
3.5 PLATAFORMA DOS VANTs	18
3.6 SENSORES	20
<b>3.6.1 Sensores multiespectrais</b>	<b>21</b>
<b>3.6.2 Sensores RGB</b>	<b>22</b>
<b>3.6.3 Sensores hiperespectrais</b>	<b>22</b>
<b>3.6.4 Sensores do tipo LIDAR</b>	<b>23</b>
<b>3.6.5 Sensores termais</b>	<b>24</b>
3.7 COLETA DE DADOS UTILIZANDO PONTOS DE CONTROLE DE CAMPO	25
3.8 PROCESSAMENTO	26
3.9 MODELOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS	27
3.9.1 Modelo digital de elevação (MDE)	28
3.9.2 Modelo digital de superfície (MDS)	29
3.9.3 Modelo digital de terreno (MDT)	29
3.10 ORTOMOSAICO	30
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>31</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO	31
4.2 PLATAFORMAS UTILIZADAS	32
4.3 PLANO DE VOO	32
4.4 ANÁLISE DE DADOS – PROCESSAMENTO	36
<b>5 RESULTADOS</b>	<b>37</b>
5.1 VOO 1	37
5.2 VOO 2	39
5.3 VOO 2X3	40

5.4 VOO 3	41
5.5 VOO 4	42
5.6 VOO 5	43
5.7 VOO 6	44
<b>6 DISCUSSÃO</b>	<b>46</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>50</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O uso de drones para demarcar rios é uma solução promissora e eficiente. Esses dispositivos oferecem uma abordagem inovadora para mapear e monitorar cursos d'água com precisão e economia. Equipados com câmeras e sensores avançados, os drones capturam imagens de alta resolução e coletam dados geoespaciais. Essas informações são processadas por software especializado, gerando mapas detalhados dos rios e suas características. Os drones têm vantagens em relação aos métodos tradicionais, pois fornecem uma visão aérea abrangente, podem acessar áreas perigosas ou de difícil alcance e permitem uma coleta de dados rápida e eficiente. Além disso, podem ser programados para monitorar continuamente os rios ao longo do tempo. O uso de drones resulta em resultados precisos e detalhados, facilitando o planejamento e execução de atividades relacionadas aos recursos hídricos, além de contribuir para a gestão ambiental e a prevenção de desastres naturais. É importante observar que profissionais qualificados são necessários para operar os drones e interpretar corretamente os dados coletados, seguindo as regulamentações locais e as questões de privacidade. Em resumo, os drones oferecem uma abordagem eficiente, econômica e precisa para a demarcação de rios, permitindo uma melhor gestão dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente.

O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para produtos florestais e ambientais pode ser definido como fruto do processo de desenvolvimento de recursos científicos e tecnológicos gerados na busca constante por soluções de problemas ambientais, via utilização de ferramentas inovadoras e profissionais voltadas para a área dos recursos naturais (BONILLA et. al, 2020). A importância deste tema se dá pelo fato de o mesmo ter grande relevância atual visto que, por muito tempo, o sensoriamento remoto por mapeamento de imagens foi uma das principais ferramentas para o monitoramento de propriedades ambientais e de recursos naturais existentes (PRUDKIN e BREUNIG, 2019).

No entanto, embora esse tema seja muito relevante em nosso cenário atual, conforme apresentado no estudo de Bonilla et. al, 2020, poucos trabalhos o abordam sob os pontos de vista teórico e contextual, e que visem compilar informações importantes sobre ele. Dessa maneira, a revisão de literatura acerca do “uso de VANTs para produtos florestais e ambientais” contribuiria com a ampliação do

conhecimento da temática em questão, o que preencheria lacunas teóricas por meio da combinação de diferentes pesquisas bibliográficas (CORDEIRO, 2007).

Portanto, o objetivo deste estudo foi realizar uma revisão geral, com a finalidade de estudar e conhecer os produtos que podem ser oferecidos através de VANTS para as ciências agrárias e afins, com base em matérias bibliográficas relevantes acerca deste tema e também objetivou-se realizar uma análise sobre a possibilidade de realizar demarcação de rio através da comparação simultâneas entre modelos digitais tridimensionais do tipo MDT (modelo digital do terreno), MDS (modelo digital de superfície) e ortomosaico, montados após o processamento de imagens obtidas por VANT.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O desenvolvimento do trabalho teve o objetivo de avaliar o potencial de utilização dos dados de VANTs para a geração de produtos de gestão ambiental e florestal. Para tal foi realizada uma revisão de literatura acerca de quais produtos podem ser oferecidos a partir do uso de VANTs e a respectiva avaliação dos mesmos em uma área de estudo no norte do Rio Grande do Sul.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a possibilidade de reconhecer marcos topográficos na área de trabalho;
- Avaliar o potencial de utilização de dados VANT para a demarcação e delimitação de margens de rios;
- Confeccionar MDT, MDS e ortomosaico a partir das imagens obtidas via VANT.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

O desenvolvimento tecnológico e científico sempre foi acompanhado pela busca de novos conhecimentos acerca da área dos recursos naturais (BONILLA et. al, 2020). Desta forma, as novas tecnologias permitiram o desenvolvimento de ferramentas inovadoras que aproximaram o trabalho realizado pela comunidade científica com o resto da sociedade. Portanto, os profissionais desta área têm um grande desafio quanto à inovação, criação de métodos e ferramentas de pesquisa, tanto básica como aplicada, nos termos do monitoramento destes recursos, como por exemplo o manejo florestal, a pecuária, o uso da água, do solo e da sua biodiversidade (BARBOSA et. al, 2020).

Por muito tempo, o sensoriamento remoto por meio de imagens obtidas através de satélites foi um dos principais instrumentos tecnológicos para o monitoramento de propriedades ambientais e de seus recursos naturais. Entretanto, este método apresenta problemas no que diz respeito à obtenção de informações periódicas (se tratando de dias ou horas) em área específica do terreno (INPE, 2022a). Por isso, a alternativa proposta foi o uso dos VANTs, popularmente conhecidos como drones. Apesar de ter sido desenvolvido com objetivos militares, no início do século XX, na última década ganhou destaque em diversas áreas, com um amplo espectro de aplicações civis e de pesquisa, o que evidencia o grande potencial deste tipo de tecnologia para aplicações ambientais e agropecuárias (RODRIGUES, 2020).

Os VANTs podem operar de forma autônoma, por meio de controle remoto ou pilotagem. Este tipo de tecnologia pode fornecer informações muito precisas com alto nível de detalhes a um preço baixo em comparação com outras tecnologias. Portanto, o uso de VANTs pode resultar em economia de tempo, trabalho e dinheiro (JÚNIOR et. al, 2016). Seus custos variam de acordo com o modelo, que pode ser de múltiplas hélices (multirotor), com faixas de autonomia baixa, até modelos de asa fixa com maior autonomia, além de diferentes capacidades de carga e com possibilidades de instalação de sensores e outros componentes (YAMAMOTO e UCHIDA, 2018; BONILLA et. al, 2020). Desta forma, os VANTs podem ser considerados uma excelente plataforma de sensoriamento remoto, com capacidade de obter informações em suas mais diversas aplicações devido à diversidade estrutural, a exemplo dos modelos encontrados na forma de micro e mini-VANTs, de asa fixa ou multirotor.

Portanto, VANTs são utilizados não apenas por hobby, mas também para pesquisas e outras diversas finalidades (MERKERT e BUSHELL, 2020; MUNARETTO, 2015).

Com relação à resolução e qualidade, é inquestionável que os VANTs são superiores em termos espaciais, espectrais e temporais. Entretanto, cada método possui vantagens, desvantagens e limitações operacionais, tecnológicas e econômicas (EISENBEISS, 2009; BONILLA, 2020). Um dos benefícios de se optar pelo VANTs é que devido a facilidade de repetição, uma vez que este veículo fornece uma alta resolução temporal. Desta forma, um menor custo operacional é gerado quando se trata de pequenos projetos, além de uma coleta de dados com alta precisão e boa resolução espacial. Isso porque, quando este equipamento é operado em baixa altitude, gera pouca interferência atmosférica, e com isto não sofre efeito pela cobertura de nuvens, além de não oferecer risco para tripulações, uma vez que não há tripulação efetiva. Se tratando de limitações, esta tecnologia tem pouca abrangência devido a suas restrições de operação resultante das regulamentações de cada país. Além disso, os VANTs são sensíveis às condições e características climáticas e ambientais, e os pilotos devem ser treinados para operação. Desta forma, existem exigências específicas quanto aos equipamentos necessários para o processamento adequado das imagens capturadas (FAHLSTROM e GLEASON, 2012).

### 3.1 CONCEITO DE VANTs

Os VANTs são equipamentos que possuem denominações diversas, incluindo "veículo aéreo não tripulado (VANT)", "robô aéreo" e "drone", sendo os últimos os termos mais populares. Na língua inglesa, por exemplo, comumente encontra-se as nomenclaturas "*Remotely Piloted Aircraft*" (RPA), "*Remotely Piloted Aerial Systems*" (RPAS), "*Unmanned Aerial Vehicles*" ou "*Unmanned Airborne Vehicle*" (UAVs), "*Unmanned Aircraft Systems*" (UAS), bem como "drones (BARBOSA, 2020; PAJARES, 2015). A terminologia VANT foi adotada pelo Departamento de Defesa Norte Americano, tornando-se popular em meados da década de 1990, quando foi empregada na substituição da expressão "*Remotely Piloted Vehicle*" (RPV), utilizado a partir da guerra no Vietnã. No Brasil, de acordo com a legislação, a terminologia RPA ou ARPs (Aeronaves Remotamente Pilotadas) é utilizada para qualquer

aeronave projetada para operações sem pilotos embarcados (COLOMINA e MOLINA, 2014).

Existem divergências acerca da terminologia correta a ser utilizada para estes equipamentos. Por exemplo, baseado nas especificações citadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o professor Siegle, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, classifica os “drones” como aeromodelos, e “VANTs” como sendo de uso comercial ou de pesquisa científica (SIEGLE, 2022). O termo “drone” (cuja tradução literal do inglês significa “zangão”) é uma expressão geral utilizada para descrever desde pequenos veículos aéreos adquiridos em lojas de brinquedo até VANTs militares, autônomos ou não. Por este motivo, o termo não é utilizado na regulação técnica da ANAC. No Brasil, a definição dada pela ANAC a VANT é a de aeronaves sem pilotos a bordo projetadas com fins não-recreativos e que possua uma carga útil embarcada, excluindo-se os balões tradicionais e os aeromodelos (MUNARETTO, 2015). Assim, VANTs são classificados como equipamentos empregados apenas com finalidades não-recreativas (RODRIGUES, 2020; SIEGLE, 2022).

### 3.2 BREVE HISTÓRICO

Embora seja um assunto mais popular nas últimas décadas, a projeção e construção de “máquinas voadoras não tripuladas” remete a tempos anteriores a dos voos tripulados (LONGHITANO, 2012). A construção dos primeiros artefatos voadores não tripulados ocorreu ao século XVIII, quando um brasileiro, o Padre Bartolomeu Lourenço de Gusmão, projetou o primeiro balão de ar quente. Isso ocorreu no ano de 1709, em Lisboa, Portugal, mesmo ano em que o projeto foi apresentado ao rei João Quinto e à sua corte (VISONI, R. M.; CANALLE, 2009). O primeiro uso de VANTs com fins militares foi relatado em 1849, quando os austríacos atacaram a cidade de Veneza com balões não tripulados cheios de explosivos.

Com fins não-militares, o francês Gaspard Felix Tournachon obteve a primeira fotografia aérea que recebeu patente no ano de 1858 para o que hoje chamamos de aerolevante, sendo pioneiro para o sensoriamento remoto (FREUND, 2010). Outro exemplo histórico da utilização de VANTs são as pipas e foguetes utilizados por Douglas Archibald, em 1883. Nestes veículos, Archibald acoplou diferentes equipamentos, incluindo câmeras e anemômetros (FAHLSTROM; GLEASON, 2012).

Outros relatos citam que uma das primeiras fotografias em veículo aéreo sem tripulação foi feita por Arthur Batat, no ano de 1888, na qual foi utilizada uma câmera anexada a uma pandorga (PUSCOV, 2002). Alguns autores relatam também sobre a utilização de imagens aéreas para avaliar impactos após desastres naturais. Um exemplo são as imagens geradas por George R. Lawrence, que registrou os escombros da cidade de São Francisco, EUA, após o terremoto ocorrido em 18 de abril de 1906 (PETTERCHAK, 2002).

Com relação aos VANTs, acredita-se que a primeira RPA pilotada remotamente por rádio foi desenvolvida em 1935 por Reginald Denny, chamada RP-1. Já com relação aos fins militares, estima-se que aproximadamente 15 mil VANTs foram idealizados durante a Segunda Guerra Mundial (PUSCOV, 2002). Em 1962, a empresa norte-americana Ryan Aeronáutica desenvolveu plataformas com sistemas melhores que envolveram robótica, funções de hardware e de softwares. Após isso, a partir de 1970, deu-se início à era moderna dos VANTs. Neste período, designers norte-americanos e israelenses iniciaram experimentos com veículos menores e mais baratos, contendo câmeras pequenas que transmitiam imagens em tempo real (LONGHITANO, 2012).

Com a evolução da aviação no final do século XIX e início do século XX deu-se início aos primeiros projetos de aeronaves de asas fixas não tripuladas, com objetivo militar, o que motivou avanços maiores e significativos na aerofotogrametria e sensoriamento remoto (RPAV, 2003). Entretanto, mesmo que os VANTs sejam utilizados majoritariamente nas áreas militares e de segurança pública, atualmente é amplamente aceito o fato de que estes equipamentos podem ser potencialmente aplicados também em diferentes áreas, conforme indicado pela NASA no documento “*Earth Observation and the Role of UAVs*” (COX, SOMERS e FRATELLO, 2006).

### 3.3 REGULAMENTAÇÃO

Com relação à regulamentação brasileira, quem dita as regras para a utilização de VANTs, em conjunto com a Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) e o DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo). Algumas das regras que entraram em audiência pública em 2015, e que foram aprovadas em 2017, são a RBAC-E 94 (Requisitos Gerais para VANTs e

Aeromodelos) e a RBAC 67 (Requisitos para Concessão de Certificados Médicos Aeronáuticos).

Alguns dos pontos mais importantes da RBAC-E 94 e da RBAC 67 são de que os VANTs são proibidos de cruzar fronteiras entre países e que pousos em aeródromos públicos somente são permitidos se houver autorização prévia da ANAC. Ainda de acordo com essas regulamentações, não são permitidos voos com equipamentos autônomos, apenas com ARPs, sendo que o piloto deve ter mais de 18 anos de idade. Além disso, distância mínima a ser respeitada entre alheios é de 30 m na horizontal, a menos que haja autorização dos mesmos. Já o DECEA orienta que voos de até 131 pés de altura, ou aproximadamente 40 metros, somente podem acontecer em distâncias maiores do que 5,4 quilômetros de aeródromos e aeroportos. Para voar com drone entre 40 e 120 metros de altura, a distância de aeródromos deve ser de, no mínimo, 9 quilômetros (MUNARETTO, 2015).

### 3.4 UTILIZAÇÃO DOS VANTs

Atualmente, são descritas uma ampla gama de utilizações dos VANTs, incluindo atividades de hobby, esportiva, pesquisas científicas e militares, arquitetura e urbanismo, atividades agropecuárias, nas áreas florestais e ambientais, no serviço de segurança patrimonial, entre outros. Independente da utilização, uma das funções básicas oferecidas por este tipo de equipamento é o fornecimento de vídeos e imagens aéreas que, posteriormente, podem ser processadas e utilizadas com diferentes finalidades (FREEMAN e FREELAND, 2015). Apesar das inúmeras vantagens, vale destacar algumas limitações técnicas e operacionais apresentadas por estes equipamentos, especialmente nos VANTs de menor custo, uma vez que estes normalmente só levam a bordo câmeras pequenas e de baixa resolução. Além disso, estes veículos são mais instáveis e motores menos potentes, o que reduz a excelência das imagens e limita a altitude de voo. A questão do tempo de voo também causa dificuldades e prejudica a aferição de espaços territoriais mais extensos (EISENBEISS, 2009).

Dentro deste contexto, aqui serão destacadas as utilizações de VANTs em áreas passíveis da formação de modelos digitais tridimensionais, a partir da aquisição de dados provenientes de fotografias aéreas registradas por estes equipamentos. Desta forma, serão considerados VANTs com especificações técnicas compatíveis



com as atividades descritas, apresentando o mínimo ou a nulidade de limitações técnicas que possam prejudicar qualquer uma das finalidades em questão.

### **3.4.1 Utilização de VANTs na agricultura**

Devido a capacidade tecnológica na coleta de dados e informações com precisão, sem que seja necessário contato direto, os VANTs são ferramentas cada vez mais presentes na agricultura. Isso porque, neste meio, é notável a opção cada vez maior pelas plataformas de fenotipagem de alto rendimento (PFARs), que são ferramentas rápidas e não-invasivas para fenotipagem de populações de plantas em condições de campo (SHI et al, 2016). Dentre os PFARs mais comuns na agricultura, incluem-se os VANTs equipados com múltiplos sensores para geração de imagens baseadas em sistemas de informações geográficas (GIS) (ARAUS e CAIRNS, 2014). A luz refletida capturada nessas imagens pode ser usada para fazer inferências sobre muitas características, incluindo estrutura da planta (por exemplo, altura da planta, índice de área foliar), status de nutrientes e presença de estresses abióticos e bióticos (YANG et al, 2017).

Deste modo, os VANTs facilitam as tomadas de decisões em questões da agricultura que dizem respeito a assuntos como o gerenciamento de água, fertilização, detecção de doenças, planejamento de colheitas seletivas, geração de mapas com seus mais diversos usos, modelos tridimensionais do terreno, planejamento de produção e safra, avaliar deficiência nutricional, estimativas de volumes, entre outros. Assim, poupa-se tempo e recursos operacionais quando comparado ao método tradicional de coleta de dados em campo (BONILLA et. al, 2020).

### **3.4.2 Utilização de VANTs na área florestal**

Há vários registros que vêm observando o uso de VANTs no setor florestal. Dentre eles, inclui-se a contagem e medição de árvores, o monitoramento do estado das florestas e plantações florestais e caracterização do uso da terra. Além disso, os VANTs estão sendo utilizados em estudos de fotointerpretação, identificação de espécies, estado fitossanitário de indivíduos e avaliação de estresse hídrico da cobertura vegetal para o planejamento e manejo florestal sustentável. Em estudos de dinâmica e estrutura da floresta, além da determinação de volume, mapeamento, e

detecção de infestação de pragas também são registrados o uso de VANTs (BRYSON et al., 2010; BONILLA et al., 2020).

Os VANTs também estão sendo gradativamente utilizados para fazer a contagem de árvores e a determinação da altura da copa, bem como a detecção de espécies em povoamentos, avaliação de perturbação florestal e identificação de clareiras em florestas, que são utilizados como indicadores de biodiversidade e diferentes atividades humanas que afetam os recursos naturais (BARBOSA, 2020). Estes fatores podem ser provenientes de incêndios florestais, identificados através de câmeras RGB presentes nos VANTs, fruto de desmatamento. Assim, o uso destes equipamentos se torna quase obrigatório na área da gestão de áreas florestais, tanto para a fiscalização quanto para o planejamento do corte e aperfeiçoamento do processo de extração de madeira de florestas (DISPERATI et al., 2007; BONILLA et al., 2020).

### **3.4.3 Utilização ambiental de VANTs**

Além de serem utilizados na agricultura e na área florestal, os VANTs também são aproveitados nas áreas sanitária e ambiental (MELLO e SIMÕES, 2019). Sua utilização se dá, por exemplo, na obtenção de dados em áreas afetadas por desastres naturais e no sobrevoo de áreas de difícil acesso, o que permite, por exemplo, obter informações para avaliar danos em edifícios afetados sem colocar em risco a vida da pessoa que faz o trabalho (EISENBEISS, 2011). Também é útil para fazer mapas de áreas de risco e rotas para entrega de doações às vítimas e localizar edifícios desmoronados ou bloqueios de estradas, monitoramento de corredores ribeirinhos para estimar a possível extensão da inundação do rio sobre o seu próprio leito comparando fotografias aéreas do local nas estações seca e chuvosa, captura de embarcações de pesca ilegal em águas protegidas, usada para estimar a erosão através da análise temporal de modelos digitais de elevação (MDE) gerados em voos (BONILLA et al., 2019, BARBOSA, 2020).

É possível, também, identificar a localização atual dos animais para o monitoramento de espécies faunísticas a fim de obter informações que ajudem a detalhar sobre seu comportamento, distribuição, abundância, habitat e uso de recursos, estabelecendo uma metodologia diferenciada em termos de contagem e identificação de aves (WILSON, BARR e ZAGORSKI, 2017). Estudos do tipo já foram

realizados no estado do Rio Grande do Sul, onde dados gerados por VANTs foram utilizados para analisar a dispersão de poluentes atmosféricos na região de interesse (FAGUNDES, 2016).

#### **3.4.4 Utilização de VANTs na topografia**

Topografia é definido como o estudo da superfície terrestre. Em particular, estabelece as bases subjacentes de uma paisagem. Por exemplo, topografia refere-se a montanhas, vales, rios ou crateras na superfície. A origem etimológica da palavra topografia vem dos termos grego “*topos*”, que significa “lugar”, e “*graphien*”, que significa “escrita”. O estudo da topografia está intimamente relacionado à geodesia, que se preocupa em medir com precisão a superfície terrestre. Desta forma, o estudo da topografia está intimamente relacionado à geografia e aos sistemas de mapeamento, como por exemplo o GIS, importante para a agricultura, estudos florestais, militares e ambientais (BARBOSA, 2020). Além disso, nas áreas de engenharia e arquitetura, a topografia também é responsável por fazer o levantamento planialtimétrico, que é a representação do relevo de um terreno em planta (ZEVENBERGEN e THORNE, 1987).

Ainda no contexto da topografia, o uso de VANTs é visto como extremamente vantajoso devido à uma variedade de fatores. Dentre eles, destaca-se o fato de que estes equipamentos podem ser utilizados em locais de difícil acesso, além da possibilidade de incorporação de diferentes tecnologias. Isso permite, dentre outras coisas, a coleta de informações sobre afloramentos, cálculos e análises de parâmetros da superfície terrestre, estudo das formas do terreno, e obtenção de ortofotografias e modelos digitais da topografia com alta resolução, úteis para o conhecimento dos processos geológicos (BONILLA et. al, 2019).

### **3.5 PLATAFORMA DOS VANTs**

Para a ANAC, existem dois objetivos para a utilização de VANTs no Brasil: um para uso recreativo e de lazer, e outro para fins comerciais, experimentais ou institucionais. Atualmente, a maior porcentagem destes veículos registrados em território nacional é para fins recreativos. Entretanto, seu uso para fins científicos e profissionais vem aumentando consideravelmente (MERKERT e BUSHELL, 2020).

Até meados de 2021, foram registrados mais de 16 mil novos VANTs, o que representa um aumento de aproximadamente 11% em relação ao ano anterior, de um total de aproximadamente 90 mil equipamentos registrados (SANTOS, 2022).

Com relação à capacidade, independente do objetivo de uso, a ANAC classifica os VANTs em três categorias distintas. São eles: de classe 1, cujo peso máximo de decolagem é maior do que 150 kg; de classe 2, com peso máximo de decolagem entre 25 e 150 kg; e de classe 3, cujo peso máximo de decolagem é de até 25 kg (MUNARETTO, 2015). Apesar de a ANAC considerar a soma do peso de vários itens para o peso máximo de decolagem, o que inclui pesos do cartão de memória, hélices, sensores, das baterias e/ou combustível, câmera, motores e eventual carga, a ANAC não considera o peso do equipamento no momento da decolagem (MUNARETTO, 2015).

Com relação à parte operacional, geralmente os VANTs consistem em veículos multi-hélices, o que os torna de fácil controle no ar. Além disso, com o recente desenvolvimento da tecnologia M2M (do inglês *Machine to Machine*, que significa “Máquina para Máquina”), alguns VANTs consistem em uma rede sem fio, contando com sistema GPS e câmeras (YAMAMOTO e UCHIDA, 2018). Desta forma, os VANTs também podem ser controlados por *tablet* ou *smartphones*, sendo que também podem voar automaticamente para direções pré-definidas por GPS (MERKERT e BUSHELL, 2020). Outros modelos de VANTs são encontrados na forma de micro e mini-VANTs, podendo ser de asa fixa ou multirotor (BARBOSA et. al, 2020).

Os dois principais modelos de VANTs encontrados nas atividades de levantamentos de dados geoespaciais são os multirotores e os de asa fixa, cada um contando com uma capacidade específica de acordo com seu modelo (FAHLSTROM e GLEASON, 2012; SOUZA, 2017). Autores comentam que o melhor tipo para aplicações arquitetônicas são os multirotores são melhores, pois tem maior capacidade de planar e levantar voo verticalmente. Desta forma, são mais úteis nas decolagens em locais que dispõem de pouco espaço e para utilização em fotogrametria terrestre. Por outro lado, os VANTs de asa fixa também são capazes de fazer voos mais longos, o que os torna ideais para aferições em áreas maiores, como por exemplo de cidades e fazendas extensas (MOUTINHO, 2015; SOUZA, 2017).

### 3.6 SENSORES

A exemplo das plataformas, novos sensores são constantemente desenvolvidos e avaliados em VANTs (MOUTINHO, 2015). Decorrentes do sensoriamento remoto, um grande número de sensores é adaptado para serem transportados nestes veículos. Os sensores são definidos como instrumentos que coletam energia oriunda de algum objeto, a convertem em sinais passíveis de serem registrados e apresentam de maneira que as informações possam ser coletadas, sendo que os tipos de sensores variam de acordo com a aplicação desejada (BARBOSA, 2020). Os sensores inicialmente eram simples câmeras fotográficas, de pequeno porte, e que apresentava uma tonalidade de cor. Posteriormente, evoluiu-se para colorido nas faixas do visível e do infravermelho. Atualmente, é possível encontrar VANTs que embarcam sensores com uma grande quantidade de bandas umas próximas às outras sendo os sensores hiperespectrais como LIDAR e SARs (*Synthetic Aperture Radar*) (BARBOSA, 2020).

Nos VANTs, são encontrados sensores que ocupam diferentes faixas do espectro eletromagnético, que podem captar dados de uma ou mais regiões deste espectro. Ondas eletromagnéticas são definidas, na física, como ondas resultantes de constantes oscilações entre os campos elétricos e os campos magnéticos. A radiação ultravioleta, as ondas de rádio, o infravermelho, a luz visível e o raio X são alguns para este tipo de ondas (MUNARETTO, 2015). Neste sentido, uma variedade de sensores que operam dentro da faixa das ondas eletromagnéticas é encontrada no mercado, sendo que também podem ser embarcados em voos para a aquisição de imagens. Para a utilização em VANTs, estes sensores precisam ter baixo peso, uma vez que a capacidade de carga das plataformas é limitada.

Nos VANTs, são encontrados diferentes tipos de câmeras, variando com o objetivo de uso. Um exemplo são os sensores que operam na faixa da luz visível (RGB), muito utilizados na agricultura, na mineração e no monitoramento de obras. Também são encontrados sensores infravermelhos (IV), que são capazes de identificar alterações hídricas e alguns parâmetros envolvidos no cálculo da biomassa, entre outros; além dos sensores multiespectrais, importantes na detecção de alguns fatores naturais, hídricos ou geológicos. Outro exemplo de sensores encontrados nos VANTs são os hiperespectrais, que capturam centenas de imagens da região visível ao IV de ondas médias. Na área militar e de segurança, utiliza-se muito sensores de

monitoramento do espectro de frequência, caracterizados por monitorar os sinais emitidos por navios, aeronaves e outros veículos de interesse. Radares também podem ser acoplados a VANTs que, entre outras funções, são capazes de mapear florestas, terrenos e edifícios, via emissão de ondas eletromagnéticas e coleta da energia que retornos do solo (retro espelhada). Além disso, a tecnologia LiDAR pode ser empregada, que permite a obtenção de uma imagem mais densa e detalhada (BONILLA et. al, 2020; SOUZA, 2017; MUNARETTO, 2015).

### **3.6.1 Sensores multiespectrais**

Uma câmera multiespectral presente em VANTs é composta por filtros de alta qualidade e sensores múltiplos que fazem a coleta de dados de diversas bandas do espectro eletromagnético. Assim, pode-se dizer que estes modelos são similares a uma câmera de infravermelho próximo (do tipo NIR, do inglês “*next infrared*”). Porém, como uma câmera multiespectral possui mais de um sensor, um equipamento deste tipo abrange um espectro maior na banda do IV e, conseqüentemente, analisa problemas mais pontuais e mais previamente do que uma câmera do tipo NIR. A versatilidade dos sensores multiespectrais provém da possibilidade de pré-seleção e mudança dos elementos do filtro espectral em canais individuais, o que permite o direcionamento estratégico das bandas individuais do espectro (CANDIAGO et al., 2015).

Os sensores multiespectrais registram a energia em bandas eletromagnéticas múltiplas (normalmente de 4 a 12), muito mais largas do que as faixas dos sensores hiperespectrais. Algumas regiões eletromagnéticas são excelentes na obtenção de informações sobre parâmetros biofísicos. Desta forma, este sensor tem grande importância devido a separação das bandas, pelo qual é possível realizar diversas combinações, como a aplicação de índices de vegetação e índices de umidade provenientes dessa vegetação. Assim, pode-se estimar a umidade do solo e comparar com o quadro de vegetação, calculados a partir da radiância média das imagens obtidas por VANT, para estimar o índice de área foliar (IAF) (CALDERÓN et al., 2014; CANDIAGO et al., 2015).

### 3.6.2 Sensores RGB

Os sensores do tipo RGB (do inglês “*red, green and blue*”, que significa vermelho, verde e azul) são aqueles sensores que operam na faixa de luz visível e tem comprimentos de onda que vão de 400 a 700 nm. Desta forma permitem capturar imagens que são visíveis a olho nu; ou seja, da mesma maneira que o ser humano enxerga. Além disso, estes sensores são os mais utilizados em VANTs, sendo que também são encontrados em câmeras fotográficas convencionais, onde são capazes de capturar imagens de alta resolução (BONILLA et. al, 2020; SOUZA 2017).

Com relação ao processamento de imagens, a cor de um objeto em uma imagem pode ser representada pelas intensidades das componentes vermelho, verde e azul, no sistema de cores RGB, ou pela intensidade (I), pela cor ou matiz (H) e pela saturação (S) no espaço IHS. Desta forma, na transformação das imagens do tipo RGB para o IHS, escolhem-se três bandas de uma imagem e associa-se cada banda a um dos componentes RGB. Assim, cada "pixel" na imagem de saída possuirá uma correspondência a um ponto no espaço IHS. O resultado é um conjunto de três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e outra de saturação (INPE, 2022).

Deste modo, o sensor do tipo RGB possibilita uma grande gama de projetos no contexto florestal, sendo possível fazer a contagem individual de árvores, identificar falhas em plantações, auxiliar nas tarefas de inspeção visual de florestes e em modelos de elevação através de aplicações algoritmos de SfM (Structure for Motion). Estes modelos reedificam o espaço tridimensional por meio das imagens, possibilitando a confecção de ortomosaico e Modelos Digitais de Superfície Fotogramétricos (MDS), por meio do processamento das imagens obtidas (BARBOSA, 2020; BONILLA et. al, 2020; FAHLSTROM e GLEASON, 2012).

### 3.6.3 Sensores hiperespectrais

O sensoriamento remoto hiperespectral se refere à utilização de imagens de bandas curtas em um intervalo de espectro contínuo, sendo capazes de obter dados mais precisos do que os sensores multiespectrais, devido ao fato de que, a cada pixel, a totalidade de um espectro é adquirido (CALDERÓN et al., 2013). Recentemente, os VANTs contendo sensores hiperespectrais são vistos como um meio interessante meio para a obtenção de dados, sendo utilizados padrões de banda estreita para

determinar tendências no espaço e no tempo da fluorescência da clorofila, bem como os índices fisiológicos e índices estruturais, operando um scanner comercial de mesa (CALDERÓN et al., 2013; FILHO et al., 2020).

Na área de recursos naturais, o processamento de imagens hiperespectrais permite estimar a degradação do solo e salinidade, conduzir estudos de padrão medições espectrais de coberturas e espécies vegetais associadas a propriedades fisiológicas e estruturas da planta, bem como fatores ambientais, fenológicos e antropogênicos. Da mesma forma, permitem obter medições de folhagem e cobertura, de fração de radiação fotos sinteticamente ativa, uso de modelos de radiação do dossel vegetal e o cálculo de índices de vegetação; têm permitido o desenvolvimento de índices de propriedades fisiológicas plantas como vigor, senescência e estado hídrico, bem como a identificação dos tipos cobertura específica e espécies de plantas, pragas e doenças e áreas suscetíveis a incêndios que não são possíveis através de imagens multiespectrais (BONILLA et. al, 2020).

Independentemente da melhora considerável em relação à resolução espacial, existe um acréscimo de complexidade na detecção hiperespectral em relação ao processamento de dados, uma vez que as imagens geradas apresentam uma variação na casa dos milhares de bandas estreitas que se tornam difíceis de operar em tempo real com computadores de baixa capacidade de processamento. Isso porque as informações obtidas por um VANT hiperespectral podem chegar a centenas de megabytes a cada 10 mil metros quadrados de área, obrigando o uso de enormes capacidades de memória e de processamento digital (MORIYA, 2015).

#### **3.6.4 Sensores do tipo LIDAR**

Os sistemas de sensores do tipo LiDAR (do inglês “*Light Detection and Range*”, que significa detecção de luz e alcance) são amplamente vantajosos por possibilitarem a obtenção de detalhadas imagens tridimensionais acerca das características basais das florestas (BEHROOZPOUR et al., 2017). Os sistemas LIDAR aéreos quantificam as distâncias diretamente por meio de pulsos laser, e fornecem uma taxa alta de repetição com pico de 33.000 pulsos por segundo. Quando empregados na área florestal, os pulsos deste sistema atuam como uma sonda do dossel, o que permite a aferição da estrutura interna 3D de um dossel de floresta. Em outras palavras, a tecnologia LIDAR permite a obtenção de uma precisa nuvem de



pontos tridimensionais que, em conjunto, representam a forma física dos objetos digitalizados. Além disso, é possível captar estruturas complexas de florestas, que podem ser comparadas às medições de campo não disponíveis em artigos de duas dimensões, como por exemplo imagens de satélite e ortofotografias (CRUZ et al., 2011; GUO et al., 2021).

Esta tecnologia já está bem difundida no ramo florestal e vem sendo utilizada em estudos como identificação de árvores individuais, altura do dossel da floresta, estimativa de biomassa florestal, área basal, estimativa de parâmetros estruturais da floresta, extração da altura de árvores individualmente e de talhões com maior precisão. Em áreas de plantio, a tecnologia LIDAR é utilizada para estimar o volume de madeira e diâmetro do tronco e, além disso, para estudar a estratificação vertical da vegetação e da biomassa (BEHROOZPOUR et al., 2017; BONILLA et. al, 2020). À medida que a tecnologia avança e se torna mais acessível, é possível utilizá-la de forma especializada para diversas finalidades, como por exemplo na detecção de gases poluentes na atmosfera, de gases durante atividade eruptiva e até mesmo para aquisição de dados meteorológicos (BONILLA et. al, 2020).

### **3.6.5 Sensores termais**

A exemplo do que ocorre com os sensores multiespectrais, os VANTs possuem outras possibilidades de aplicação utilizando sensores fora da faixa de espectro da luz visível, como é o caso de câmeras térmicas. As câmeras térmicas capturam comprimentos de onda pertencentes ao espectro IV e os transformam em um espectro perceptível na faixa da luz visível, compatível com a visão humana (VIANA et al., 2018). O espectro do IV é definido como uma radiação eletromagnética que abrange uma faixa de comprimentos de onda de 10  $\mu\text{m}$  a 700 nm. Desta forma, o espectro do IV é invisível ao olho humano e tem relação direta com o calor e com a radiação térmica emanada pela matéria. Os sensores capazes de detectar ondas deste espectro são extremamente úteis na área de sensoriamento remoto e conseqüentemente para usuários de VANTS, e são popularmente conhecidos como “sensores de calor” ou “câmeras térmicas” (BELLVERT et al., 2014).

A radiação infravermelha (IR) é emitida através de uma fonte de calor e se propaga muito parecido com a luz. O espectro infravermelho cobre comprimentos de onda maiores que tecnologia em andamento, espectro de luz visível, que vai de 400

a 800 nm, o infravermelho próximo (NIR, do inglês “*next infrared radiation*”), entre 780 nm a 2500 nm, e infravermelho distante (FIR, do inglês “*far infrared radiation*”), entre 15 µm a 1000 µm. O sensoriamento remoto na região do infravermelho termal (TIR) é fundamental no processo de avaliação de alterações de superfícies. Um exemplo clássico de aplicação é na agricultura, onde o referido processo é utilizado para a avaliação de mudanças climáticas, detecção de pragas, nos cálculos para estimativa de evapotranspiração, na avaliação do estresse hídrico, entre outros (BELLVERT et al., 2014; VIANA et al., 2018).

De acordo com a região espectral do NIR, pode-se representar os locais de reflectância da planta, sendo assim importante para a análise da vegetação em aplicações agro-florestais. Isso porque, via tecnologia do NIR, pode-se observar quando a planta está sadia, uma vez que a produção de energia a partir da fotossíntese será refletida por ela (BONILLA et. al, 2020). O NIR é usado para detectar remotamente as propriedades do solo como análise de umidade e estresse por deficiência de nutrientes. Além disso, é possível estudar propriedades mais complexas, como a área de superfície específica, o conteúdo de carbono orgânico e hidrofobicidade (VIANA et al., 2018).

### 3.7 COLETA DE DADOS UTILIZANDO PONTOS DE CONTROLE DE CAMPO

Ground Control Points (GCP's) traduzido do inglês significa pontos de controle em solo, que nada mais são que marcações físicas em campo com algum tipo de material, para que se possa coletar as coordenadas e elevação para que quando for gerado os produtos os mesmos sejam mais precisas com as coordenadas GPS, sendo importante nas situações das quais o mapa necessite de coordenadas mais precisas por exemplo em projetos onde é necessária a comparação de dados por meio do tempo ou georreferenciamento de locais específicos (VERA, RAMÍREZ e CARRICONDO, 2017).

Existem basicamente três tipos de GCP's, que são os reutilizáveis, os perdidos e os fixos, cada um com suas características. Não existe uma regra definida para o tamanho dos GCP's. Entretanto, seu tamanho deve ser sempre proporcional à resolução, ou ao GSD (do inglês “*Ground Sampling Distance*”) previsto no mapa. Quanto melhor a resolução do mapa, menor deverá ser o GCP. Com relação à quantidade, o número mínimo adequado é cinco GCP's, sendo que a distância não

ultrapasse 400 metros entre si. A distância ideal é de 200 a 400 metros entre eles (MORTE, CARVALHO e BARROS, 2020). Já em relação à disposição dos GCP's alguns cuidados precisam ser tomados. Neste contexto, inclui-se a distribuição uniforme na área, em todo o perímetro e centro, alocação em visão clara do céu, que não seja debaixo de árvores, perto de cercas ou quaisquer outros obstáculos que venham a comprometer a sua visibilidade, e alocação nos pontos extremos de elevação do seu terreno, seja nos pontos mais altos quanto nos mais baixos (VERA, RAMÍREZ e CARRICONDO, 2017).

### 3.8 PROCESSAMENTO

O processamento digital de imagens (PDI) é parte integrante do sensoriamento remoto, e objetiva fornecer meios de simplificar a obtenção de informações para análise e geração de produtos. Nesta etapa, após a coleta de dados pelos VANTs, as imagens brutas são analisadas em programas computacionais específicos, que por sua vez proporcionam o desenvolvimento de atividades interativas de observação e reajuste para que, por fim, obtenha-se outras imagens representativas detalhadas preenchidas com todos os elementos pretendidos (YAMAMOTO e UCHIDA, 2018).

Várias técnicas são propostas para o processamento de imagens provenientes dos VANTs, o que inclui a utilização de um ou mais equipamentos vinculados ou não ao sistema de fotogrametria. Fotogrametria é definida como a ciência de fazer medições a partir de fotografias. Este método utiliza um resultado obtido após a obtenção de várias fotos, tiradas de diferentes pontos de vista. A fotogrametria pode ser usada para registrar campos de movimento 2D e 3D. O objetivo é simular a estereoscopia da visão binocular humana, sendo que realmente é usado para obter as informações de objetos físicos existentes. Assim, esse processo coleta os dados sobre a forma, o volume e a profundidade do assunto que você está tentando escanear. Este é o método usado para transformar várias imagens em um design 3D preciso (TEMBA, 2000).

Com relação ao histórico do processamento digital de imagens aéreas, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) comprou o primeiro sistema de processamento de imagens do Brasil no ano de 1974, chamado "IMAGE-100", da empresa General Eletrics (GE). Este sistema fazia o processamento de imagens transmitidas via satélite, e trazia um mínimo de funções, obrigando a equipe de

desenvolvimento do INPE a adotar apenas alguns algoritmos. No ano de 1986, a Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do referido órgão inaugurou o Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM), para MS-DOS, e uma placa gráfica regional que apresentava duas vezes a capacidade da placa anteriormente utilizada. Paralelamente, a DPI criou um software de informação geográfica chamado SGI, que tinha como objetivo incorporar imagens e outras medições feitas em superfícies a mapas. O SITIM e o SGI começaram a serem utilizados conjuntamente, o que originou o chamado sistema SITIM/SGI, utilizado por 150 universidades e institutos de pesquisa até 1994. A partir de 1996, foi liberado o software SPRING, que estava sendo desenvolvido desde 1991. Já a partir do ano 2000, o INPE iniciou o desenvolvimento da TerraLib, que consiste em uma biblioteca de código aberto para suportar aplicações inovadoras na área de geoprocessamento (INPE, 2022a).

### 3.9 MODELOS DIGITAIS TRIDIMENSIONAIS

Historicamente, o relevo era representado inicialmente por mapas formados por trabalhos artísticos, contendo os elementos detalhados acerca da região representada. Estes mapas eram utilizados na orientação de diferentes profissionais e também de viajantes. Com o tempo, a excelência das informações foi se aprimorando a partir da implementação de métodos cartográficos e topográficos. Para isso, foram criadas diferentes formas de representação de um relevo. Dentre elas, podemos citar as clássicas representações, uni ou bidimensionais, na forma de pontos cotados, curvas de nível ou de perfis e seções transversais (VAN ESSEN, 2008).

Com relação aos clássicos modelos não-tridimensionais, os pontos cotados são utilizados em trabalhos onde é necessário o conhecimento de níveis e inclinações, como por exemplo em implantações viárias, edificações e sistemas hidráulicos (saneamento, drenagem, colocação de hidrantes, entre outros). Já as curvas de nível são definidas como planos oblíquos de uma superfície no plano horizontal, que tem distâncias iguais e são justapostas. Desta forma, são representadas por linhas constante, com distanciamento apropriado e imutável, compatíveis com a escala e inclinação da superfície. Por fim, as seções transversais são a representação de cortes perpendiculares ao chão do terreno pela extensão de uma linha pré-definida. Assim, as seções transversais possibilitam observação de linhas da superfície do

terreno, camadas minerais, representações hídricas, entre outras (SUGIHARA, MURASE e ZHOU, 2015).

Entretanto, atualmente, a forma de representação do relevo mais usual nos diferentes mapas são as representações em modelos tridimensionais. Neste contexto, existe uma crescente utilização dos modelos tridimensionais na forma de modelos digitais também em diferentes áreas de pesquisa, incluindo topografia, geografia, engenharia, agricultura e mineração, entre outras (ZHOU, ALBERTZ e GWINNER, 1999). Assim, a fotogrametria é um significativo instrumento utilizado na obtenção de informações tridimensionais, sendo que no século XXI os métodos fotogramétricos digitais para o fornecimento de modelos digitais tridimensionais têm se tornado amplamente utilizados devido à eficácia e eficiência do processo. Dentre as técnicas utilizadas na aquisição de imagens como fonte de dados para obtenção de modelos digitais tridimensionais, destacam-se os levantamentos realizados com VANTs (VIANA, 2017).

### **3.9.1 Modelo digital de elevação (MDE)**

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), MDE é um modelo digital que representa as elevações da topográficas vinculadas aos componentes geográficos existentes sobre a superfície, incluindo edificações e vegetação. Assim, o MDE consiste em uma representação gráfica 3D de dados de elevação que representa um terreno ou objetos sobrepostos (VALERIANO e JÚNIOR, 2003). Em outras palavras, o MDE corresponde a um modelo matemático para representar uma superfície qualquer de forma contínua. É também uma denominação genérica para modelos digitais altimétricos, sem se preocupar em diferenciar os modelos que representam ou não o solo exposto. Desta forma, existem discrepâncias conceituais na sua definição como modelo digital. Entretanto, aceita-se que dentro do MDE estejam englobados os modelos digitais de superfície (MDS) e modelos digitais de terreno (MDT) (GOMES, 2006). A seguir, serão descritas as principais características e aplicações dos diferentes modelos digitais de elevação utilizados atualmente no geoprocessamento de imagens geradas por VANTs.

### **3.9.2 Modelo digital de superfície (MDS)**

O MDS é definido como um conjunto de pontos com coordenadas conhecidas em um determinado sistema de referência cartográfica, cujos pontos possuem a mesma distância entre eles ou não, mas que possuem elevação conhecida. Assim, o MDS representa a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos como árvores e construções, onde o topo desses objetos será representado como a superfície do terreno (CRUZ et al., 2011). Diferentemente do MDT, o MDS não pode ser utilizado para geração de curvas de nível, já que os pontos gerados são reflexos de edificações, árvores e estruturas diversas que se encontram no solo. Assim, este tipo de modelo normalmente é utilizado em projetos de estações de rádio, telecomunicação, delimitação de áreas de inundações por represas, obras de engenharia, estudos de trajetos rodoviários e ferroviários, de massa de vegetação e no planejamento de proteção de aeródromos (ISIOYE e JOBIN, 2012).

### **3.9.3 Modelo digital de terreno (MDT)**

O Modelo Digital de Terreno (MDT) representa uma parte da superfície da Terra considerando suas altitudes, apresentando as cotas do terreno, do solo, sem considerar as construções, árvores e demais objetos acima do nível do terreno. Em outras palavras, o MDT é uma reprodução aritmética do arranjo no espaço de alguma particularidade atrelada a uma área real, empregado na modelagem do relevo e de demais dados temporalmente variáveis. Dentre outros exemplos podemos citar as representações batimétricas, topográficas e de temperatura (GALIN et al., 2019).

Nota-se que a diferença entre o MDT e o MDS é a aplicação de um filtro, pois enquanto o MDS representa a altimetria de todos os objetos acima do solo, o MDT desconsidera todos esses elementos, representando apenas a altimetria do terreno (ADI et al., 2022). Assim, o MDT pode ser gerado através de um processo de filtragem do MDS, buscando destacar o perfil do terreno e excluindo os objetos sobrepostos ao nível do terreno. Os principais exemplos de aplicação de modelos do tipo MDT normalmente são na realização de estudos de relevo, declividade, cálculos hidrográficos, e atividades em que sejam necessárias as informações do terreno (ZHOU et al., 2007).

### 3.10 ORTOMOSAICO

Por definição, um ortomosaico é uma representação gráfica espacial formada a partir da junção de várias ortofotos. Já uma ortofoto, ortofotografia ou ortoimagem é uma fotografia aérea corrigida geometricamente (“ortorretificada”) de forma que a escala seja uniforme: a foto tem a mesma falta de distorção de um mapa. O processo de correção geométrica, ou ortorretificação, é definido como sendo a correção das distorções da imagem em um trabalho de georreferenciamento. Neste processo, a ortorretificação é atribuída a algum sistema de coordenadas da imagem, que realiza as correções geométricas do sensor, assim como corrige os efeitos do relevo na imagem (JUNIOR, 2009).

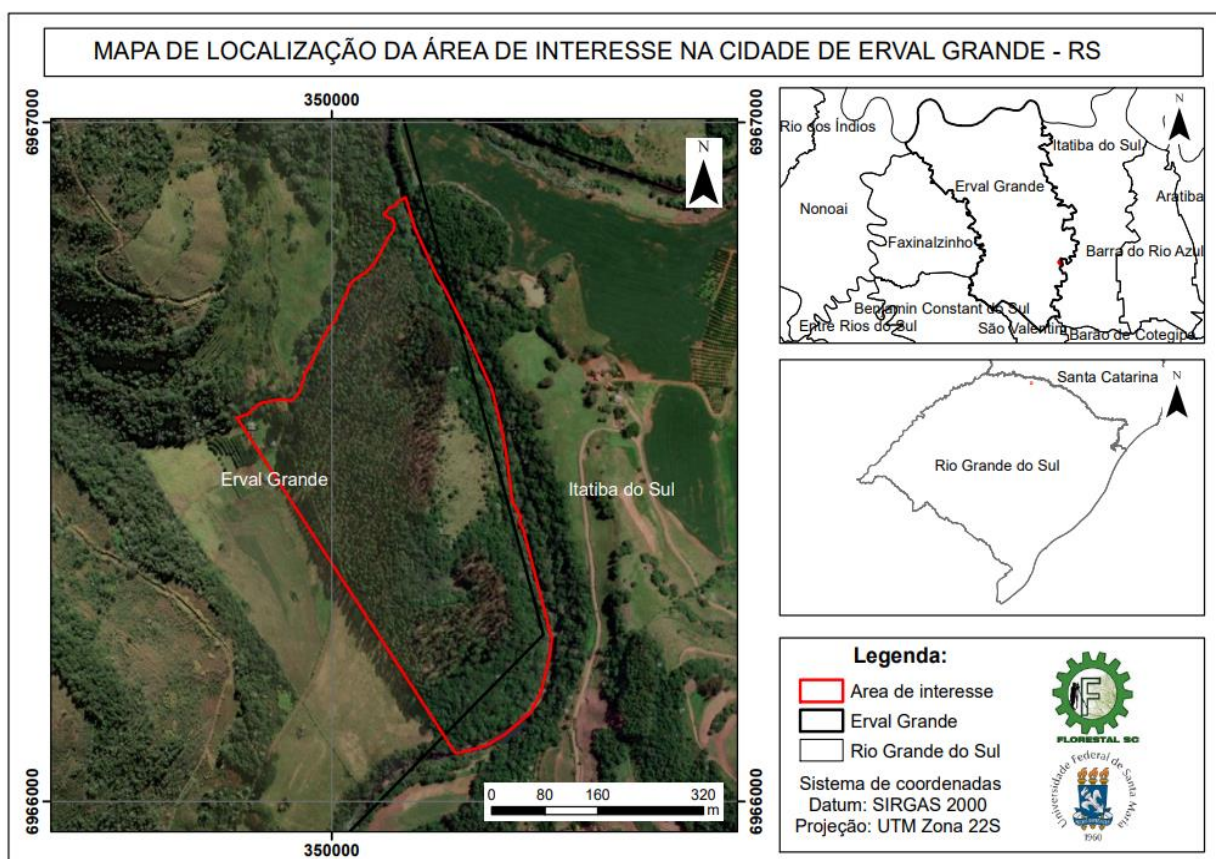
Desta forma, ao contrário de uma fotografia aérea não corrigida, uma ortofotografia pode ser usada para medir distâncias reais, porque é uma representação precisa da superfície da Terra, tendo sido ajustada para relevo topográfico, distorção da lente e inclinação da câmera. Neste contexto, simplificada, um ortomosaico é uma representação fotográfica detalhada e precisa de uma determinada área, criada a partir de muitas fotos que foram costuradas e corrigidas geometricamente (“ortorretificadas”) para que sejam tão precisas quanto um mapa (JUNIOR, 2009).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada com a colaboração da Empresa FLORESTAL SC – Serviços Ambientais e Topográficos, que concedeu a área de estudo. A área em questão está localizada na cidade de Erval Grande – RS, conforme mapa de localização ilustrado na Figura 1. A área territorial do município é de 285.677 km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 4.780 pessoas (IBGE, 2021). Entretanto, o território da área de estudo é de 25,902 hectares. O clima da região é o subtropical, e a área fica localizada no chamado Planalto das Araucárias.

Figura1: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: A autora, 2022.



## 4.2 PLATAFORMAS UTILIZADAS

Para a coleta das imagens, foi utilizado um VANT modelo Phantom 4, fabricado pela empresa Dà-JiāngInnovations (DJI, 2018), que possui acoplado de fábrica, uma câmera RGB e fornece imagens em formato JPG e Matrice 100 (DJI, 2019) com as câmeras X3 e a Câmera multiespectral Sequoia Parrot.

Os pontos de controle de campos (GCP) foram feitos utilizando lajotas de cerâmica brancas e mantas de alumínio onde foram distribuídos ao longo do terreno respeitando a literatura, contendo no mínimo cinco, para este trabalho utilizou-se nove pontos de controle e distância entre eles de 200 a 400 metros, Assim, foram utilizados o sistema RTK vinculado a GPS para a coleta dos GCP, fornecendo assim as coordenadas e altimetria e posteriormente utilizou-se estas informações para fazer as correções de posicionamento necessárias para o processamento correto dos dados obtidos via VANT. O software SfM Agisoft Photo Scan foi utilizado para o processamento das imagens, e o Software ArcGIS 10.8 foi utilizado para a manipulação dos dados espaciais.

## 4.3 PLANO DE VOO

Para que fosse realizada a saída em campo e fosse possível a coleta de material para estudo foi necessário definir, em escritório, alguns pontos e parâmetros como alocação de pontos de controle em solo, estudo do relevo e declividade, clima, tempo, velocidade do vento, tempo de voo, deslocamento do drone durante o voo, quantidade de baterias, posicionamento do GPS, entre outros.

Portanto, foi estudado o relevo da área concedida através de mapa de altimetria que foi confeccionado pelo autor do trabalho, a fim de verificar possíveis problemas futuro que o terreno pudesse oferecer durante a realização do plano de voo que repercuta de forma negativa no produto final e nos objetivos propostos para o presente trabalho.

Os desníveis do local junto com formação da vegetação podem dificultar alocação de GCP'S bem como sombrear os mesmos causando problemas no momento de georreferenciar os pontos no processamento, e limitando acesso a parte da área.

Os pontos de controle foram necessários para realizar as marcações em solo, os mesmos são pontos físicos que foram coletados por receptores GNSS+RTK, e foram alocados de forma uniforme e homogênea em diferentes pontos sobre o terreno que serviram para coletar coordenadas (altitude, longitude e latitude) de forma precisa e com acurácia no espaço, foi constatado perante a revisão de literatura que os GCPs que foram utilizados para fazer as marcações podem ser classificados entre os tipos reutilizáveis e perdidos servindo como uma espécie de marco temporário, e que o tamanho do GCPs deve ser proporcional ao tamanho do GSD previsto no mapa, a quantidade recomendada é de cinco GCPs desde que não ultrapassem 400 metros entre si.

O GCPs para este trabalho foi uma lajota de construção civil e manta asfáltica, foram escolhidos estes materiais devidos sua refletividade repercutindo em uma fácil visualização no processamento baixo custo de aquisição dos materiais, e que de forma uniforme e homogênea foram distribuídos nos extremos e centro da área com uma distância de até 400 metros entre cada ponto com base na literatura.

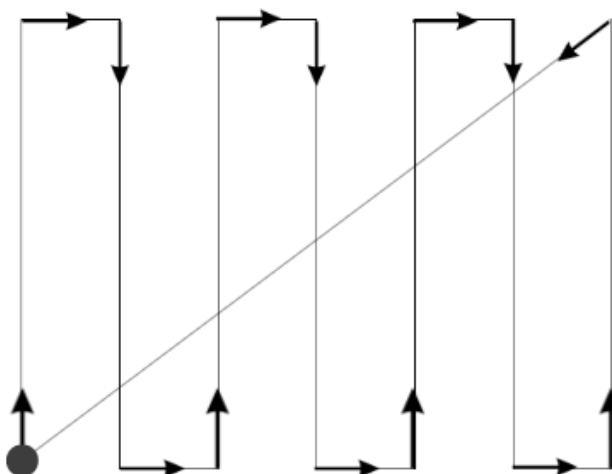
Como a área de estudo é de aproximadamente 26 hectares foi necessário duas a três baterias que tiveram duração média de 10 a 15 minutos com o drone em plena operação com folga de carga suficiente para que conseguisse retornar a base (home), a verificação das condições climáticas foi realizada através de observação visual e por meio de aplicativos climáticos que informaram tais características (chuva, sol, velocidade do vento entre outras), o VANT só entrou em pleno funcionamento quando os aplicativos apresentaram características negativas para a chuva e velocidade do vento que não ultrapassou de 15 a 20km/h, pois havendo condições climáticas adversas há o risco de danificar o equipamento ou até mesmo perca do mesmo.

A missão propriamente dita foi a definição das características de como seria realizado o voo com o VANT, a mesma foi realizada de forma automática através de aplicativo (DJI GO) que a própria fabricante (DJI) disponibiliza. A missão contemplou definições como a área a ser levantada (imageada), a partir disso altura de voo e a faixa de voo que refletem na quantidade de fotos capturadas pela câmera do VANT consecutivamente na quantidade de baterias necessárias para operação, velocidade do voo, sobreposição das fotos, resolução espacial entre outros.

Os dois tipos de voos efetuados conforme o plano de voo foi em grid e cruzado conforme ilustrados nas Figuras 2 e 3.

Na Figura 2 podemos observar voo do tipo grid ou “zig-zag”, onde o VANT inicia sua trajetória no ponto denominado “home”, representado na Figura acima pelo círculo preto e tem seu deslocamento em linhas que podem ser no sentido horizontal ou vertical e depois finaliza o voo retornando ao ponto início.

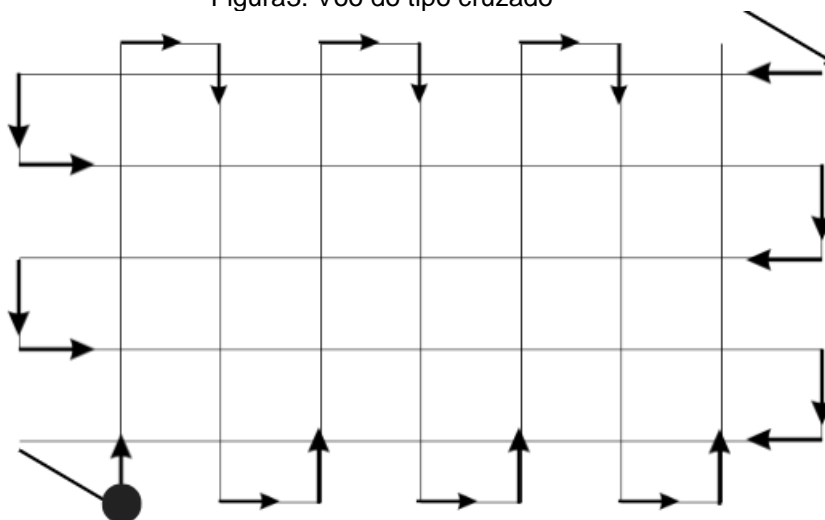
Figura2: Tipo de voo em Grid (zig-zag)



Fonte: elaboração própria, 2023.

Já na imagem 3 podemos observar voo do tipo cruzado, onde o VANT inicia o deslocamento saindo do ponto “home” representado pelo círculo preto na Figura acima, e percorre linhas primeiro verticais e depois horizontais ou vice-versa, finalizando o voo no mesmo ponto em que iniciou.

Figura3: Voo do tipo cruzado



Fonte: elaboração própria, 2023.

Depois de escolhido e os parâmetros para o plano de voo o VANT saia do ponto inicial denominado “Home” e percorria as faixas de voo que para este estudo foi tanto do tipo grid quanto cruzado, com altura de 60 a 80 metros de altura do solo, as fotos obtidas tiveram uma sobreposição mínima de 80% e após percorres as faixas com partida da “home” ele retornava para “home” finalizando assim a missão.

Houve variação na angulação da câmera embarcada pois encontrou-se na literatura que quando mudamos o ângulo de incidência da câmera para 15-35° fora do nadir, é possível ter aumento na precisão e maior incidência no chão do terreno quando há paredes verticais (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ et al., 2021).

A seguir será mostrado os parâmetros utilizados nos respectivos voos, pois para cada voo obteve-se quantidade de fotos diferentes, quantidade de fotos alinhadas diferentes, quantidade pontos de controle diferentes, processamento utilizado e resolução espacial (GSD), abaixo será demonstrando esses parâmetros para cada configuração de voo

Quadro 1: Parâmetros utilizados nos voos

PARÂMETRO	VOO 1	VOO 2	VOO 2X3	VOO 3	VOO 4	VOO 5	VOO 6
Drone	Phanton 4	Phanton 4	Phanton 4	Phanton 4	Phanton 4	Matrice 100	Matrice 100
Câmera	RGB	RGB	RGB	RGB	RGB	RGB	Multispectral
Tipo de voo	Grid	Grid	Cruzado entre voo 2 e 3	Grid	Grid	Grid	Grid
Angulação	Perpendicular ao nadir	15° fora do nadir	15° fora do nadir	15° fora do nadir	Perpendicular ao nadir	Perpendicular ao nadir	Perpendicular ao nadir
Altura de voo	80 m	80 m	80 m	80 m	80 m	60 m	60 m
Quantidade de fotos	600	189	129	56	207	184	184
Quantidade de fotos alinhadas	546	165	118	51	180	166	166
Quantidade de GCP	6	5	1	1	4	3	4
Qualidade do processamento	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
GSD para o DEM	6,13 cm (pixel)	6,38 cm (pixel)	9,69 cm (pixel)	5,65 cm (pixel)	6,08 cm (pixel)	5,25 cm (pixel)	2,25 cm (pixel)
GSD para ortomosaico	3,07 cm (pixel)	6,19 cm (pixel)	2,48cm (pixel)	2,38 cm (pixel)	3,04 cm (pixel)	2,62 cm (pixel)	2,62 cm (pixel)

Fonte: A autora, 2023.

#### 4.4 ANÁLISE DE DADOS – PROCESSAMENTO

Foram realizados seis voos, com diferentes parâmetros, ângulo da câmera, altura do voo, tamanho da área, tipo de voo entre outros. Em seguida aos voos realizados, os dados armazenados em microchip (cartão de memória) durante a execução do plano de voo foram levados e transferidos a um computador, possibilitando a geração do modelo digital de elevação (MDE), modelo digital de superfície (MDS) e ortomosaico, além dos GCPs que foram coletados através sistema RTK vinculado ao GPS

Estes dados foram processados pelo software Agisoft Metashape (AGISOFT INC, 2022) de processamento de imagens de VANTs, em sua versão demonstrativa profissional por 30 dias. Realizou-se duas vezes o processamento a fim de garantir a fidelidade dos dados obtidos, onde o processamento foi realizado com os mesmos parâmetros nas duas situações.

A sequência do processamento ocorreu da seguinte forma: Importação das fotos para o software, alinhamento das fotos, conversão das fotos de WGS84 para SIRGAS2000 zona UTM 22s, importação dos GCP's e conversão de WGS84 para SIRGAS2000 zona UTM 22s, georreferenciamento dos GCP's, criação da nuvem densa de pontos, criação do DEM(MDS), criação do ortomosaico, classificação dos pontos em campo, criação do MDT, calibração de refletância quando usou-se a câmera multiespectral.

## 5 RESULTADOS

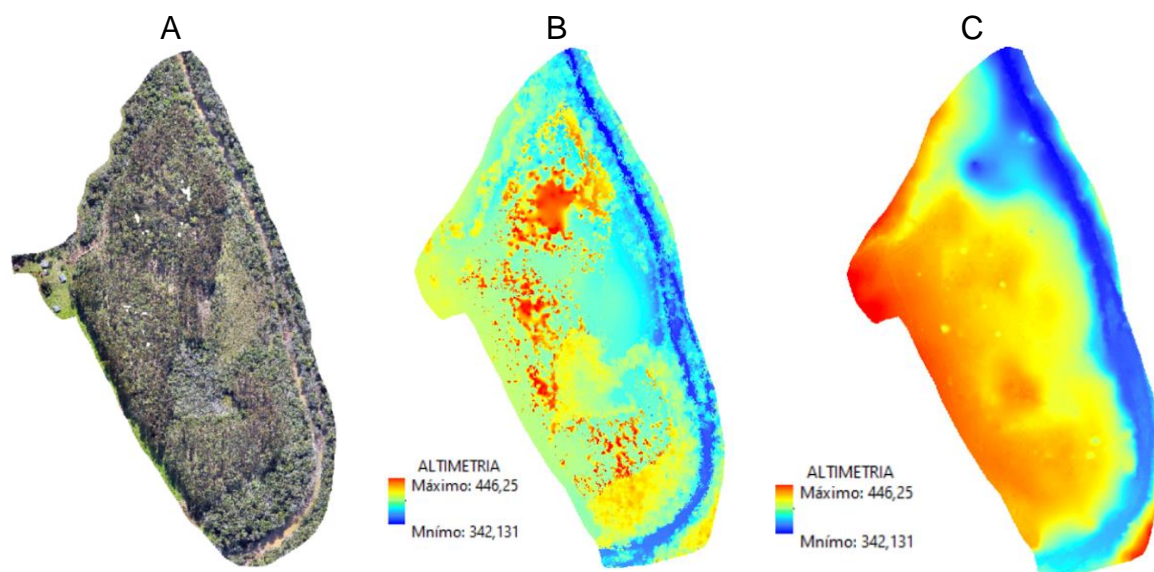
### 5.1 VOO 1

Na Figura 4A apresentada abaixo retrata a confecção do ortmosaico para o voo 1 podemos notar diferenças na vegetação, onde em alguns pontos da área possuímos altimetria elevada quando comparado a outro ponto, essa variação é devido a presença de vegetação florestal existente. Além disso é notório a presença do nosso elemento principal para a pesquisa, o rio.

Na Figurada 4B retrata a confecção do Modelo Digital do Terreno (MDT), com isto é possível observar a altimetria da vegetação existente, que varia de no mínimo 342,131m representada por colorações em tons de azul e máxima de 446,25m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que poucos pontos são representados pela altimetria máxima e que no restante da área temos pontos próximos à máxima.

Na Figura 4C retrata o Modelo digital de Superfície (MDS) podemos observar a altimetria do terreno, que varia de no mínimo 342,131m representada por colorações em tons de azul e máxima de 446,25m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que em sua maioria há existência pontos que são representados pela altimetria máxima e que no restante da área temos pontos próximos ao mínimo.

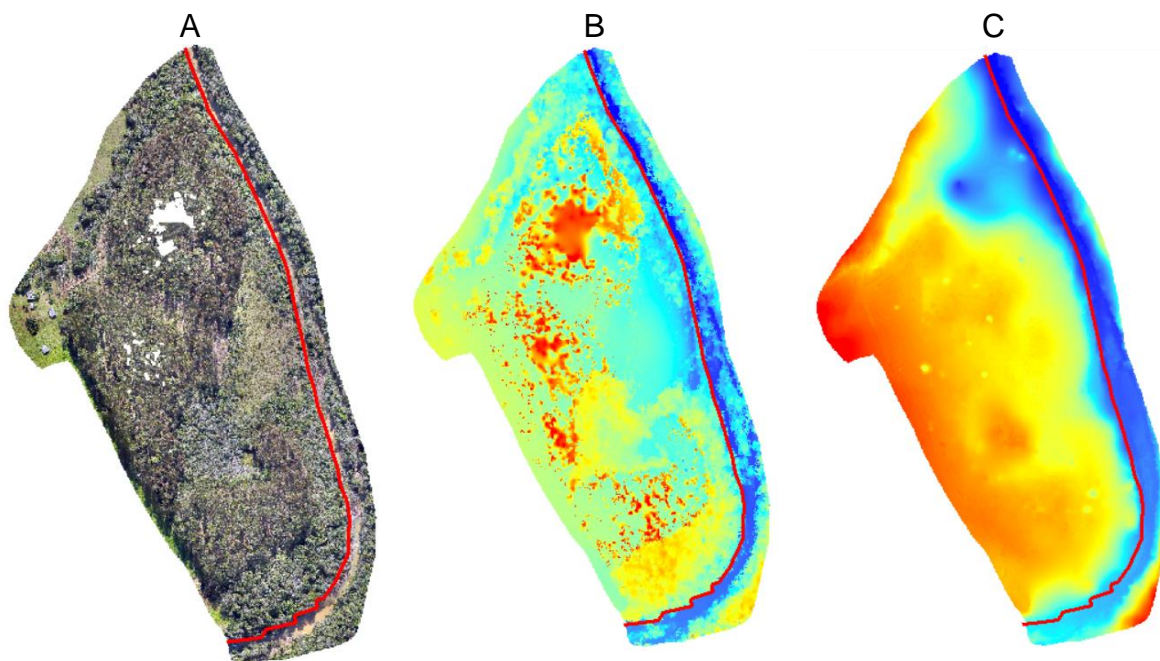
Figura 4: Resultado do processamento do voo 1 (A – ortmosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: A autora, 2023.

Na Figura 5, conforme apresentado abaixo, podemos observar a confecção dos modelos digitais e posteriormente a realização da demarcação do rio, é possível visualizar o rio quando observamos a Figura 5, mas difícil dizer com certeza absoluta onde é o início do seu leito e de sua margem, na Figura 5A temos uma maior precisão e segurança quando vamos delimitar o rio, quando comparado com as Figuras 5B e 5C, pois os modelos classificam as áreas ao entorno do rio com a mesma cota que o do rio, fazendo com que ao analisar o modelo individualmente não conseguimos delimitá-lo.

Figura 5: Resultado da demarcação do rio para o voo 1. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: A autora, 2023.

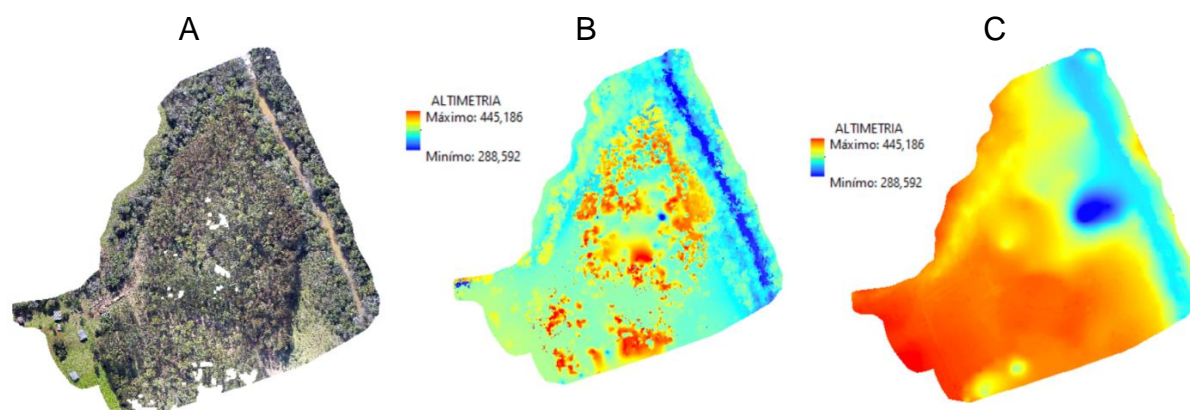
## 5.2 VOO 2

Na Figura 6A, apresentada abaixo que retrata a confecção do ortmosaico para o voo 2 podemos notar diferenças na vegetação, onde em alguns pontos da área possuímos altimetria elevada quando comparado a outro ponto, essa variação é devido a presença de vegetação florestal existente. Além disso é notório a presença do nosso elemento principal para a pesquisa, o rio.

Na Figurado 6B, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria da superfície, que varia de no mínimo 288,592m representada por colorações em tons de azul e máxima de 445,186m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que a altimetria máxima e valores próximos ao mesmo estão localizados na região central do modelo.

Na Figurada 6C, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria do terreno, que varia de no mínimo 288,592m representada por colorações em tons de azul e máxima de 445,186m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que em sua maioria há existência de pontos que são representados pela altimetria máxima e que na minoria da área temos pontos próximos ao mínimo.

Figura 6: Resultado do processamento para o voo 2. (A – ortmosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).

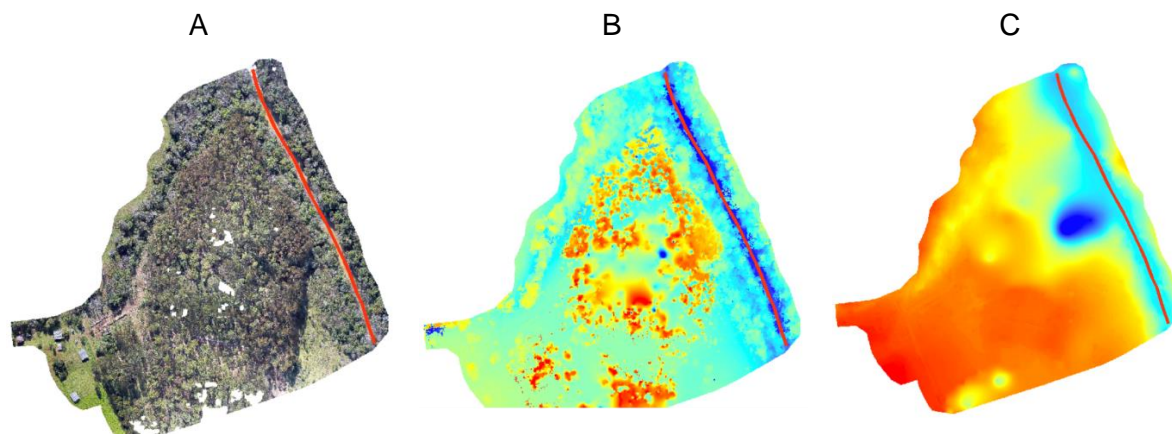


Fonte: A autora, 2023.

Na Figura 7, conforme apresentado abaixo, podemos observar a confecção dos modelos e posteriormente a isso a demarcação do rio, é possível visualizar o rio, mas difícil dizer com certeza absoluta onde é o início do seu leito quando visto no MDT, MDE, e ortmosaico, mas para este caso o ortmosaico têm uma precisão maior quanto nos outros modelos.



Figura 7: Resultado da demarcação do rio para o voo 2. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: A autora, 2023.

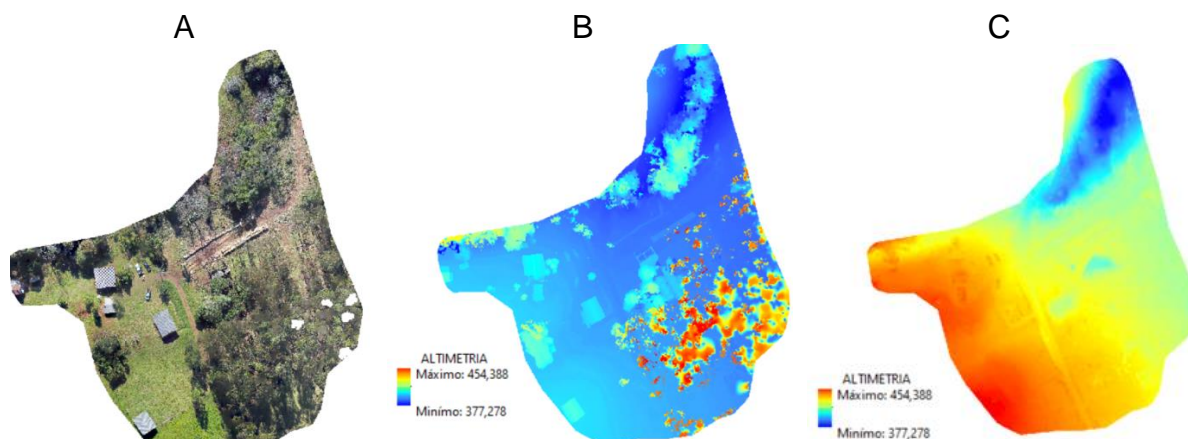
### 5.3 VOO 2X3

Na Figura 8A, apresentada abaixo que retrata a confecção do ortomosaico para o voo 2x3 podemos notar diferenças na vegetação, onde em alguns pontos da área possuímos altimetria elevada quando comparado a outro ponto, essa variação é devido a presença de edificações e vegetação florestal existente. Além disso é notório a ausência do nosso elemento principal para a pesquisa, o rio.

Na Figura 8B, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria da superfície, que varia de no mínimo 377,278m representada por colorações em tons de azul e máxima de 454,388m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que a altimetria máxima e valores próximos ao mesmo estão localizados na região Es-nordeste, e que no restante a altimetria está próxima do mínimo.

Na Figura 8C, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria do terreno, que varia de no mínimo 377,278 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 454,388 m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que em sua maioria há existência de pontos que são representados pela altimetria máxima e que na minoria da área temos pontos próximos ao mínimo

Figura 8: Resultado do processamento para o voo 2x3. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: A autora, 2023.

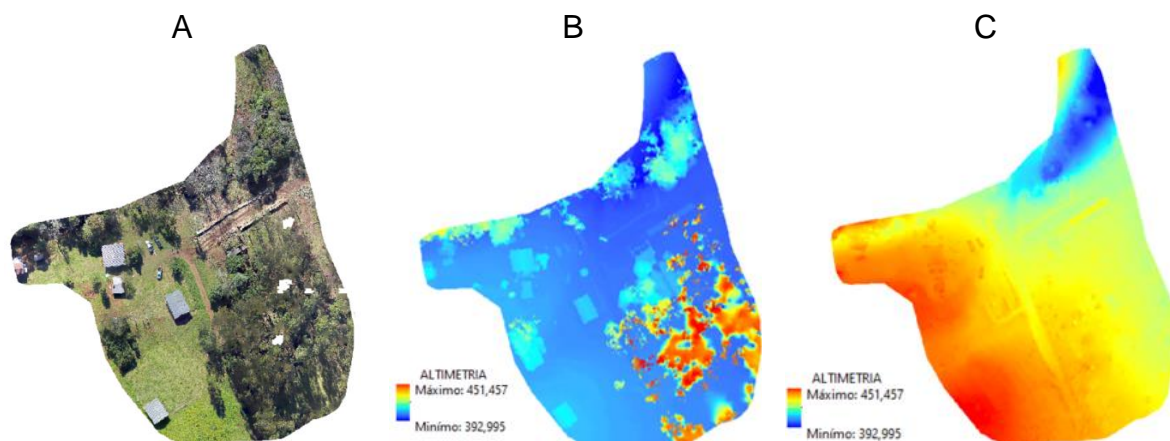
#### 5.4 VOO 3

Na Figura 9A, apresentada abaixo que retrata a confecção do ortomosaico para o voo 3 podemos notar diferenças na vegetação, onde em alguns pontos da área possuímos altimetria elevada quando comparado a outro ponto, essa variação é devido a presença de edificações e vegetação florestal existente. Além disso é notório a ausência do nosso elemento principal para a pesquisa, o rio.

Na Figura 9B, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria da superfície, que varia de no mínimo 392,995 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 454,457 m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que a altimetria máxima e valores próximos ao mesmo estão localizados na região Es-nordeste, e que no restante a altimetria está próxima do mínimo.

Na figura 9C, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria do terreno, que varia de no mínimo 392,995 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 451,457 m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que em sua maioria há existência de pontos que são representados pela altimetria máxima e que na minoria da área temos pontos próximos ao mínimo

Figura 94: Resultado do processamento para o voo 3. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



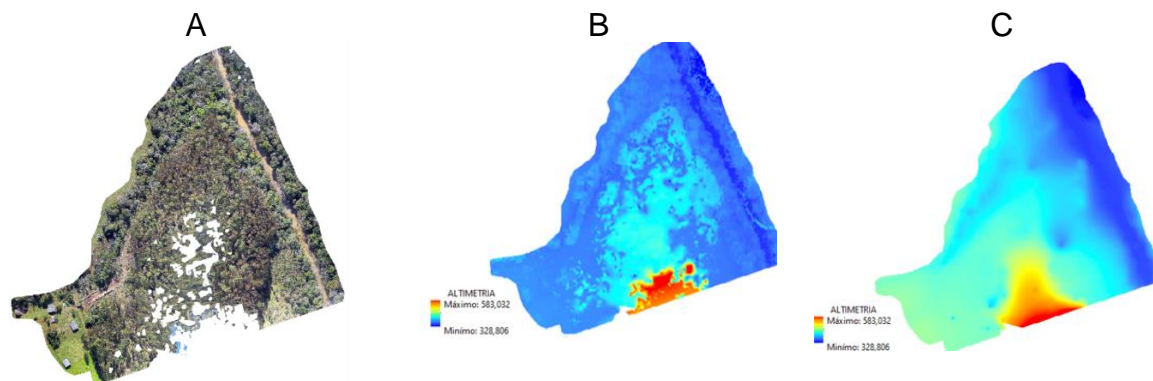
## 5.5 VOO 4

Na Figura 10A, apresentada abaixo que retrata a confecção do ortomosaico para o voo 4 podemos notar diferenças na vegetação, onde em alguns pontos da área possuímos altimetria elevada quando comparado a outro ponto, essa variação é devido a presença de vegetação florestal existente. Além disso é notório a presença do nosso elemento principal para a pesquisa, o rio.

Na Figura 10B, conforme apresentado acima, podemos observar a altimetria da superfície, que varia de no mínimo 328,806 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 583,032 m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que a altimetria máxima e valores próximos ao mesmo estão localizado no extremo sul do modelo.

Na Figura 10C, conforme apresentado acima, podemos observar a altimetria do terreno, que varia de no mínimo 288,592m representada por colorações em tons de azul e máxima de 445,186m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que em sua minoria há existência de pontos que são representados pela altimetria máxima e que na maioria da área temos pontos próximos ao mínimo.

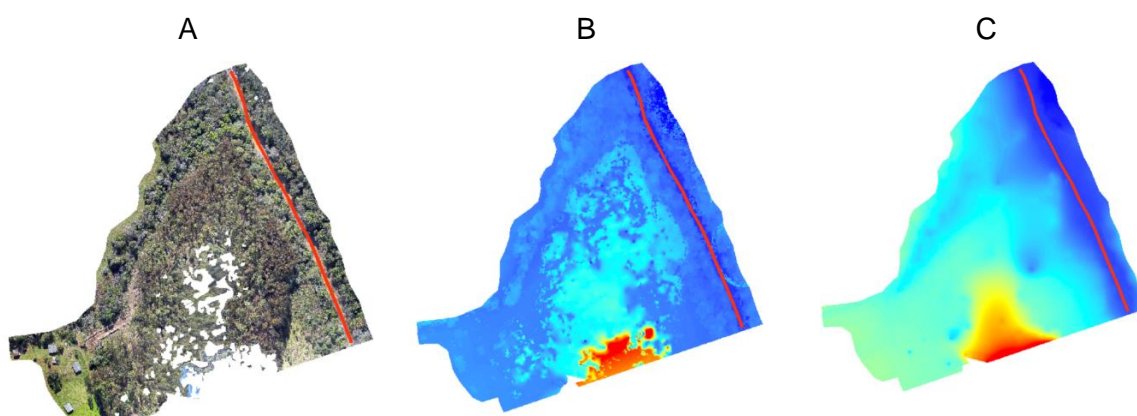
Figura 10: Resultado do processamento para o voo 4. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: Autora, 2023.

Na Figura 11, conforme apresentado abaixo, podemos observar a confecção dos modelos e simultaneamente a demarcação do rio, é possível visualizar o rio, mas difícil dizer com certeza absoluta onde é o início do seu leito quando visto no MDT, MDE, e ortomosaico, o ortomosaico têm uma precisão maior quanto nos outros modelos pois é uma reconstrução 2D do terreno, diferente dos modelos digitais que se baseiam na planialtimetria do terreno o que gera problemas na hora de delimitar o rio

Figura 11: Resultado da demarcação do rio para o voo 4. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: A autora, 2023

## 5.6 VOO 5

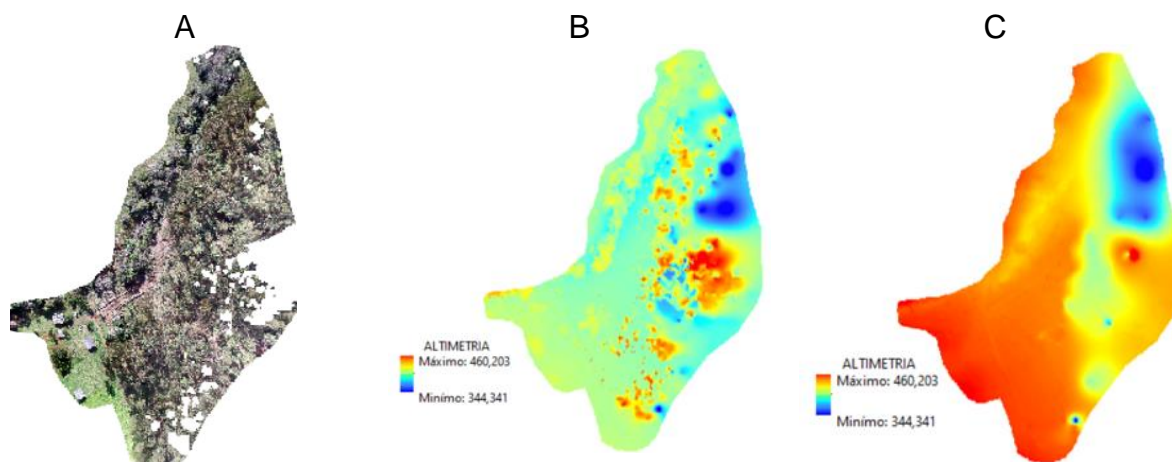
Na Figura 12A, apresentada abaixo que retrata a confecção do ortmosaico para o voo 5 podemos notar diferenças na vegetação, onde em alguns pontos da área possuímos altimetria elevada quando comparado a outro ponto, essa variação é

devido a presença de vegetação florestal existente. Além disso é notório a ausência do nosso elemento principal para a pesquisa, o rio. Além disso podemos notar ruídos (manchas brancas) o que significa que não foi possível realizar a sobreposição devido a variação da planimetria do terreno por se tratar de um terreno complexo.

Na Figura 12B, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria da superfície, que varia de no mínimo 344,341 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 460,203m representada por tons de vermelho. Na área podemos visualizar que predominância é de altitudes médias.

Na Figura 12C, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria do terreno, que varia de no mínimo 341,341 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 460,203m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que em sua maioria há existência pontos que são representados pela altimetria máxima e que no restante da área temos pontos próximos ao mínimo

Figura 12: Resultado do processamento para o voo 5. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: A autora, 2023.

## 5.7 VOO 6

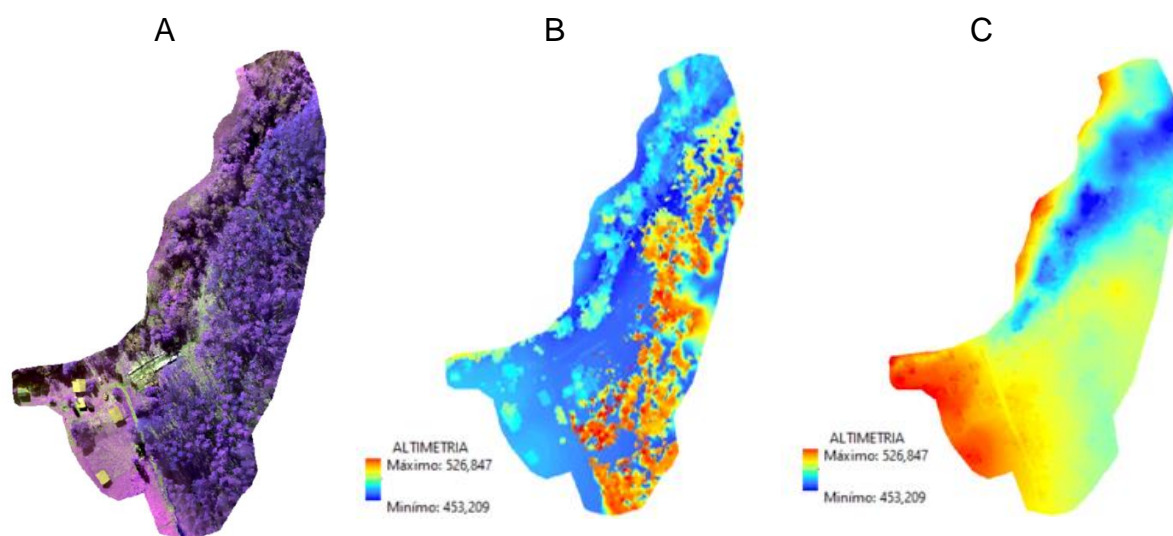
Na Figura 13A, apresentada abaixo que retrata a confecção do ortomosaico para o voo 6 podemos notar diferenças na vegetação, onde em alguns pontos da área possuímos altimetria elevada quando comparado a outro ponto, essa variação é devido a presença de vegetação florestal existente. Além disso é notório a ausência do nosso elemento principal para a pesquisa, o rio. Esta imagem lança mão de uma câmera multiespectral Sequoia Parrot. Apenar de mais bandas com calibração

radiométrica, a resolução espacial efetiva não auxiliou na identificação dos alvos de interesse.

Na Figura 13B, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria da vegetação existente, que varia de no mínimo 453,209 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 526,847 m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que quase metade da área são representados pela altimetria máxima e que no restante da área temos pontos próximos à máxima.

Na Figura 13C, conforme apresentado abaixo, podemos observar a altimetria do terreno, que varia de no mínimo 453,209 m representada por colorações em tons de azul e máxima de 526,847 m representada por tons de vermelho. Na área podemos notar que em sua maioria há existência pontos que são representados pela altimetria máxima e que no restante da área temos pontos próximos ao mínimo

Figura 13: Resultado do processamento para o voo 6. (A – ortomosaico; B - Modelo digital do terreno; C - Modelo digital de superfície).



Fonte: A autora, 2023.

Após a geração dos produtos Modelo Digital de Elevação (MDE) Modelo Digital de Superfície (MDS) e ortomosaico que foram gerados através das fotos obtidas em campo a partir dos voos com o drone, e posteriormente processadas com o software Agisof Metashape versão demonstrativa, foi demarcado o rio com o auxílio do software ArcGIS, a demarcação ocorreu de forma simultânea com base nos modelos gerados através do processamento com software anterior(Agisof Metashape), e somente foi possível a demarcação nos voos 1, 2 e 4 pois contemplou a área de interesse.

## 6 DISCUSSÃO

Para que fosse possível o reconhecimento de marco topográfico e GCP na área do estudo, foi utilizado configurações diferentes no plano de voo, onde optou-se por mudar o ângulo da câmera e utilizar voo cruzado, pois encontrou-se na bibliografia que quando mudamos o ângulo de incidência da câmera para 15-35° fora do nadir, é possível ter aumento na precisão da imagem e maior incidência no chão do terreno quando há paredes verticais. (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ et al., 2021).

Mas para este estudo está configuração não foi eficiente, pois quando comparamos está configuração com as demais utilizados no estudo não obteve aumento de precisão da imagem e nem maior incidência da câmera no chão afim de facilitar o reconhecimento do GCP e o marco topográfico.

Nas duas configurações de plano de voo adotadas houve dificuldade de recolher o GCP e o marco topográfico, pois foram poucas imagens em que apareciam e muitas delas podíamos confundir com algum ruído ou alguma coisa na qual não era de fato o objeto do estudo. Podemos observar o que foi supramencionado nas Figura 14 e 15 a seguir.

Figura 14: Marco topográfico



Fonte: A autora, 2023.

Figura 15: Pontos de controle de solo (GCP)



Fonte: A autora, 2023

Foi confeccionado ortomosaico, modelo digital de superfície (MDS) e modelo digital do terreno (MDT) para cada voo, podemos observa-los respectivamente na Figura 4 para o voo 1, nas Figura 6 para o voo 2, Figura 8 para o voo 2x3, Figura 9 para o voo 3, Figura 10 para o voo 4, Figuras 12 para o voo 5 e Figura 13 para o voo 6. As Figuras 5, 7 e 11 atendem ao objetivo de demarcação do rio, pois as imagens obtidas durante a realização do plano de voo contemplaram a área do rio. Contudo a demarcação do rio não é precisa por haver divergências entre o ortomosaico, modelo digital de superfície e modelo digital do terreno.

Uma das explicações que se pode dar para tal fenômeno seria pela existência da formação florestal ao longo do recurso hídrico, o que impede a demarcação com eficácia, comprometendo a fidelidade do trabalho. Além disso podemos constatar que para a delimitação de calha de rio é mais fácil e preciso quando utilizado somente ortomosaico por representar um modelo em duas dimensões do terreno, diferente dos modelos digitais que são baseados em planialtimetria, que é possível visualizar situações onde as áreas próximas do rio tiveram a mesma interpretação de altimetria que o rio. Sendo assim, este tipo de demarcação serve como uma orientação para a localização do rio, mas não como um parâmetro para a sua demarcação.

O uso da topografia é baseado em estações totais ou sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) pois conseguimos obter dados geográficos, precisos



de alta qualidade, porém a obtenção destes são caro e demorado quando comprada com os VANTS. (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ et al., 2021).

E por isto a topografia é utilizada para demarcação de rio, mas seria uma maneira de otimizar recursos.

Nas Figuras 4, 8, 12, 15, 18 e 22 é possível vislumbrar algumas partes em branco, isto acontece pois a configuração do dossel da floresta era alta em alguns pontos ao longo da área do estudo, o que podemos denominar como morfologia do terreno complexa o que leva a uma diminuição drástica na sobreposição das imagens na hora de processá-las, a explicação para este fenômeno é que a distância entre o sensor e o solo não é constante o que gera maiores valores do erro quadrático médio da raiz vertical (RMSE) e quando o RMSE é alto gera menores valores de sobreposição para terrenos com configuração complexa. (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ et al., 2021).

## 7 CONCLUSÕES

Contudo conseguiu-se observar com esta pesquisa que é possível utilizar dados obtidos via VANT para confeccionar modelos e posteriormente realizar a demarcação do rio, com isso a pesquisa atendeu ao seu objetivo.

Quanto ao objetivo específico 1, para este estudo foi possível encontrar o marco topográfico, mas houve uma tendência pois a autora participou de todos os processos, além de que o marco estava embaixo do GPS, facilitando assim sua busca, mas no geral a busca pelo marco não é possível, por isto recomenda-se para futuras pesquisas acerca do tema realizar demarcações de rio em áreas iguais com diferentes parâmetros para visualizar quais parâmetros serão mais adequados à pesquisa e para encontrar marcos topográficos que o marco seja coberto por alguma substância da qual ajude a identifica-lo, como por exemplo utilizar sulfato de bário.

Um dos limitadores deste trabalho foi a capacidade de processamento operacional do computador utilizado, o que influenciava na quantidade de dias em que o processamento no software iria ficar “rodando”, e pela licença gratuita (versão demonstrativa) durar apenas 30 dias.

Com este estudo foi possível concluir que se os VANTS fossem utilizados para demarcação e delimitação de recursos hídricos haveria uma redução de consumo dos recursos, pois quando utilizamos a topografia convencional com o mesmo objetivo há um aumento de gastos de recursos, incluindo tempo, dinheiro, tomada de decisões.

Portanto os benefícios quanto a utilização dos VANTS é notável, mas carece de estudos mais profundos sobre o tema, pois a literatura é escassa acerca do tema, ainda mais no que tange a de demarcação dos recursos hídricos

## REFERÊNCIAS

ADI, W. T., et al. Comparison of UAV Drone and Online Terrain Model for Railway Route Planning, **Journal of Railway Transportation and Technology**, v. 1, n. 1, p. 20-27, 2022.

AGISOFT INC. **Agisoft Metashape**.. Petersburg, Russia,,: Agisoft LLC. Disponível em: <<http://www.osbsoftware.com.br/produto/agisoft-photoscan/>>. , 2022

ARAUS, J. L.; CAIRNS, J. E. Field high-throughput phenotyping: The new crop breeding frontier. **Trends in Plant Science**, v. 19, p. 52– 61, 2014.

BARBOSA, F. C. **Geociências, Sociedade e Sustentabilidade**. Piracanjuba, GO: Conhecimento Livre, 2020.

BEHROOZPOUR, B. et al, "Lidar System Architectures and Circuits". **IEEE Communications Magazine**, v. 55, n. 10, p. 135-142, 2017.

BELLVERT, J. et al. Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. **Precision Agriculture**, v.15, n. 4, p. 361-376, 2014.

BONILLA, M. G. et al. Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT's) para el monitoreo y manejo de los recursos naturales: una síntesis. **Tecnología en Marcha**, v. 33-34, p. 77-88, 2020.

BRYSON, M. et al. 2010. Airborne vision-based mapping and classification of large farmland environments. **Journal of Field Robotics**, v. 27, n. 5, p. 632-655, 2010

CALDERÓN, R. et al. Detection of downy mildew of opium poppy using high-resolution multi-spectral and thermal imagery acquired with an unmanned aerial vehicle. **Precision Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 639-661.

CALDERÓN, R. et al. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 139, p. 231-245, 2013.

CANDIAGO, S. et al. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. **Remote Sensing**, v. 7, n. 4, p. 4026-4047, 2015.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 92, p. 79–97, 2014.

CORDEIRO, A. M. et al. Systematic review: a narrative review. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v. 34, n. 6, p. 428-431, 2007.

COX, T. H. T., SOMERS, I., FRATELLO, S. **Earth observations and the role of UAVs: a capabilities assessment**. Relatório técnico. Civil UAV Team, NASA, 2006. Disponível em: [t.ly/rY4B](https://t.ly/rY4B). Acesso em: 04 dez. 2022.

CRUZ, C. B. M. et al. **Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba: INPE, p. 5463, 2011.

DISPERATI, A. A. et al. Aplicação da técnica “Filtragem de Locais Máximas” em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*. **Scientia Forestalis**, v. 76, n. 1, p. 45-55, 2007.

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry**. Tese (Doutorado) - Doctor of Sciences, University of Technology Dresden, Germany, 2009.

EISENBEISS, H. **The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping**. In: PHOTOGRAMMETRIC WEEK'11, 18, 2011, Stuttgart: Wichmann, 2011.

FAGUNDES, M. A. R. **Geração de base cartográfica tridimensional com o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Cartográfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FAHLSTROM, P. G.; GLEASON, T. J. **Introduction to UAV Systems**. 04. ed. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2012.

FILHO, F. H. I. et al. Comparação de sensores hiperespectrais para análise do comportamento espectral de folhas de soja. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 33563-33574, 2020.

FREEMAN, P. K.; FREELAND, R. S. Agricultural UAVs in the U.S.: potential, policy, and hype. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 2, p. 35-43, 2015.

FREUND, G. **Fotografia e Sociedade**. Lisboa: Veja, 2010.

GALIN, E. et al. A Review of Digital Terrain Modeling. **Computer Graphics Forum**, v. 38, n. 2, p. 553-577, 2019.

GOMES, F. R. R. **Avaliação de Discrepância entre Superfícies no Espaço Tridimensional**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Cartográfica, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

GUO, M. et al. Accurate Calibration of a Self-Developed Vehicle-Borne LiDAR Scanning System. **Journal of Sensors**, v. 2021, n. 8816063. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/js/2021/8816063>. Acesso em: 06 dez. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Teoria:** Processamento de Imagens, 2022. Disponível em: <http://t.ly/c3-z>. Acesso em: 06 dez. 2022.

\_\_\_\_\_. **Histórico - Divisão de Processamento de Imagens:** A criação da DPI... como tudo começou. São José dos Campos: INPE, 2022a. Disponível em: <https://t.ly/ln-3>. Acesso em: 06 dez. 2022.

ISIOYE, A. O.; JOBIN, P. An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources. **Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology**, v. 2, n. 1, 2012.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S. I. et al. Digital terrain models generated with low-cost UAV photogrammetry: Methodology and accuracy. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 5, p. 285, 2021. Disponível em: IJGI | Free Full-Text | Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy (mdpi.com). Acesso em: 06 dez. 2022.

JUNIOR, J. G. **Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais.** Tese (Doutorado) - Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

JÚNIOR, G. Z. et al. Introdução ao mundo dos drones. *In: Anais do 5ª MOEPEX.* Ibirubá: Instituto Federal do Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <http://t.ly/K74B>. Acesso em: 06 dez. 2022.

MELLO, C. C. S.; SIMÕES, G. F. **Aerofotogrametria com VANT aplicada ao monitoramento volumétrico de aterros sanitários.** *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL*, 9, 2019, São Carlos, SP. Anais do Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, São Carlos: ABMS, 2019.

MERKERT, R.; BUSHELL, J. Managing the drone revolution: A systematic literature review into the current use of airborne drones and future strategic directions for their effective control. **Journal of Air Transport Management**, v. 89, n. 101929, 2020.

MORIYA, E. A. S. **Identificação de bandas espectrais para detecção de cultura de cana-de-açúcar sadia e doente utilizando câmara hiperespectral embarcada em VANT.** 2015. Tese (Doutorado) - Ciências Cartográficas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São Paulo, 2015.

MORTE, C. L. B.; CARVALHO, L. F. S. G.; BARROS, R. S. **USO DE VANT COMO FERRAMENTA PARA ESTIMATIVA DE ALTURA DE DOSSEL EM MANGUEZAL: UM ESTUDO INVESTIGATIVO EM GUARATIBA, RIO DE JANEIRO, BRASIL.** *Revista Tamoios*, n. 3, p. 42-51, 2020.

MOUTINHO, O. **Evaluation of Photogrammetric Solutions for RPAS: Commercial vs Open Source.** 2015. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Geográfica, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

MUNARETTO, L. **VANT e drones: a aeronáutica ao alcance de todos**. São José dos Campos: Edição independente, 2015.

LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Engenharia. Escola de Transportes da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PAJARES, G. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 81, n. 4, p. 281–330, 2015.

PETTERCHAK, J. Photography Genius: George R. Lawrence & "The Hitherto Impossible". **Journal of the Illinois State Historical Society**, v. 95, n. 2, p. 132-147, 2002.

PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. **DRONES E CIÊNCIA: Teoria e aplicações metodológicas**. Santa Maria, RS: FACOS-UFSM, 2019.

PUSCOV, J. **Flight System Implementation in UAV**. Examensarbete utfört vid Fysikinstitutionen, KTH, SCFAB Sommaren-Hösten, 2002.

RODRIGUES, F. S. **VANT: de sua criação aos dias atuais**. Monografia (Graduação) - Ciências Aeronáuticas. Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020.

RPAV. **Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology**. 2003. Disponível em: [https://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav\\_home.html](https://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html). Acesso em: 02 dez. 2022.

SANTOS, C. Voando alto: registro de drones cresce 11,3% no Brasil e 18,8% em Minas. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 21 fev. 2022. Disponível em: <http://t.ly/OBSk>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SIEGLE, E. **Drones e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2022. Disponível em: <http://t.ly/VWHG>. Acesso em: 04 dez. 2022.

SHI, Y., et al. Unmanned aerial vehicles for high-throughput phenotyping and agronomic research. **PLOS ONE**, 11, e0159781, 2016.

SOUZA, H. L. Sensoriamento remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. **Revista Brasileira de Geomática, Curitiba**, v. 5, n. 3, p. 326-342, 2017.

SUGIHARA, K.; MURASE, T.; ZHOU, X. Automatic generation of 3D building models from building polygons on digital maps, **2015 International Conference on 3D Imaging (IC3D)**, p. 1-9, 2015.

TEMBA, P. **Fundamentos da Fotogrametria**. Belo Horizonte: UFSM, 2000

VALERIANO, M. M.; JÚNIOR, O. A. C. Geoprocessamento de Modelos Digitais de Elevação para Mapeamento da Curvatura Horizontal em Microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 1, p. 17-29, 2003.

VAN ESSEN, R. Maps Get Real: Digital Maps evolving from mathematical line graphs to virtual reality models. *In*: van Oosterom, P. et al., **Advances in 3D Geoinformation Systems: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography**. Berlin: Springer, 2008.

VERA, F. A.; RAMÍREZ, F. C.; CARRICONDO, P. M. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. **Measurement**, v. 98, p. 221-227, 2017

VIANA, D. C. **Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por VANT e refinados com uso de dados GNSS/RTK**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

VIANA, L. A., et al. POTENTIAL USE OF THERMAL CAMERA COUPLED IN UAV FOR CULTURE MONITORING. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 3, p. 286–298, 2018.

VISONI, R. M. ; CANALLE, J. B. G. Bartolomeu Lourenço de Gusmão: o primeiro cientista brasileiro. **História da Física e Ciências Afins. Revista Brasileira do Ensino de Física**, v. 31, n. 3, 2009.

WILSON, A. M.; BARR, J.; ZAGORSKI, M., The feasibility of counting songbirds using unmanned aerial vehicles, **The Auk**, v. 134, n. 2, p. 350–362, 2017.

YAMAMOTO N.; UCHIDA N. Improvement of Image Processing for a Collaborative Security Flight Control System with Multiple Drones, **2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)**, p. 199-202, 2018.

YANG, G., et al. Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: Current status and perspectives. **Frontiers in Plant Science**, 8, 1111, 2017.

ZEVENBERGEN, L. W.; THORNE, C. R. Quantitative analysis of land surface topography. **Earth Surfaces Processes and Landforms**, v. 12, p. 47-56, 1987.

ZHOU, G.; ALBERTZ, J.; GWINNER, K. Extracting 3D information using temporal-spatial analysis of aerial image sequences. **Photogrammetry Engineering e Remote Sensing**, v. 65, n. 7, p. 823-832, 1999.

ZHOU, H. et al. Terrain synthesis from digital elevation models. **Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 13, n. 4, p. 834–848, 2007.