

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**Correção cinemática em tempo real para fins de navegação de
aeronaves remotamente pilotadas**

Gabriel Aparecido Berci

**Jaboticabal, SP
2023**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**Correção cinemática em tempo real para fins de navegação de
aeronaves remotamente pilotadas**

Gabriel Aparecido Berci

Orientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção de título de ENGENHARIA AGRONÔMICA.

**Jaboticabal, SP
2023**

B485c Berci, Gabriel Aparecido
Correção cinemática em tempo real para fins de navegação
de aeronaves remotamente pilotadas / Gabriel Aparecido Berci.
-- Jaboticabal, 2023
44 p. : tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia
Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal

1. Agricultura. 2. Geociências. 3. Materiais cartográficos. 4.
Veículos pilotados remotamente. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia Rural

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Correção cinemática em tempo real para fins de navegação de aeronaves remotamente pilotadas

ACADÊMICO: Gabriel Aparecido Berci

CURSO: Engenharia Agrônômica

ORIENTADOR (ES): Prof. Dr. David Luciano Rosalen

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

(Assinaturas)

Presidente Prof. Dr. David Luciano Rosalen

Membro Enga. Agra. MS. Valeria Escaio Bubans

Valeria Bubans

Membro Biólogo MS. Pedro Gomes

Jaboticabal 16 / 11 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

23 / 11 / 2023, por ato "ad referendum"

Prof. Dr. Danisio Prado Munari
Chefe do Depto. de Engenharia
e Ciências Exatas

À Carmela, ao João, e ao Bruno André, que mesmo não estando presentes, não deixaram de poupar esforços para que eu continuasse firme nessa caminhada.
À Cristina e à Terezinha, por servirem de exemplo e serem sempre meu alicerce.

*Agriculture is our effort to create a lasting balance
between nature and humanity.*

Wendell Berry

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe Cristina e meu pai Itamar por todo o apoio, e por sempre me incentivarem e nunca pouparem esforços para comigo. Também aos meus tios/avós, Terezinha e João Massimo (*in memorian*), por todo o imenso apoio e por sempre estarem ao meu lado me apoiando em todas esferas da vida. Agradeço também, a todos os outros familiares que de alguma forma me auxiliaram durante esta jornada.

Aos meus amigos João Victor, Bruna, Priscila, Amanda, Lucinéia, Juliane, Gabriella, Ludmilla e Gustavo que me acompanharam durante esta trajetória pela graduação, e também não pouparam esforços para me ajudar e sempre estarem presentes em minha vida. Agradeço também a todos os meus outros amigos que estiveram presentes durante este ciclo.

Ao meu segundo lar e segunda família, a república K-bocanela, que sempre estiveram ao meu lado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. David Luciano Rosalen, por toda ajuda, ensinamentos, aprendizagens e compreensão ao longo deste período.

Aos projetos de extensão Horta Comunitária e Cursinho Ativo por todo o conhecimento e apoio financeiro ao longo desta trajetória.

A empresa Santiago & Cintra, pelo apoio na realização do voo, estabelecimento dos pontos de controle no terreno e todo apoio de campo.

Por fim, a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Jaboticabal por todas as oportunidades oferecidas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	17
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Sistema de Navegação Global por Satélite	17
3.1.1 Métodos de Correção	18
3.1.2 Posicionamento por Ponto Simples.....	19
3.1.3 Cinemático em Tempo Real	20
3.1.4 Cinemático Pós-processamento	20
3.2 Aerofotogrametria	21
3.2.1 Cobertura aerofotogrametrica e pontos de controle no terreno...21	
3.3 Aeronave Remotamente Pilotada	24
3.4 Sistema Sensores	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Área de Estudo	29
4.2 Tratamentos	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Análise Descritiva.....	35
5.2 Análise de Variância	36
5.3 Teste de Tukey.....	38
6 CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA - Associação Brasileira de Aeromodelismo

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

AP - Agricultura de Precisão

ARP - Aeronave Remotamente Pilotada

BEIDOU - Sistema chinês de posicionamento global por satélite.

DGPS - *Differential Global Position System* (Sistema de Posicionamento Global Diferencial)

DoD - *United States Department of Defense* (Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América)

EUA - Estados Unidos da América

FAB - Força Aérea Brasileira

GALILEU - Sistema de navegação por satélite da União Europeia.

GBAS - *Ground Based Augmentation System*

GLONASS - *Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya*

GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System*)

GPS - *Global Position System* (Sistema de Posicionamento Global)

GSD - *Ground Sample Distance* (Distância da Amostra Terrestre)

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NAVSTAR-GPS - *NAVigation System with Timing And Ranging - Global Positioning System*

PPP - Posicionamento por Ponto Preciso

PPK - *Post Processed Kinematic* (Cinemático Pós Processado)

RP - *Remote Piloted* - (Pilotado por Controle Remoto)

RPA - *Remotely Piloted Aircraft* (Aeronave Remotamente Pilotada)

RTK - *Real Time Kinematic* (Correção Cinemática em Tempo Real)

SGB - Sistema Geodésico Brasileiro

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

UAV - *Unmanned Aerial Vehicle* (Veículo aéreo não tripulado)

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

Correção cinemática em tempo real para fins de navegação de aeronaves remotamente pilotadas

RESUMO

A importância da correção de sinal no mapeamento de áreas agrícolas e agricultura de precisão é a de fornecer qualidade e realizar o aerolevanteamento com boa precisão. Usa-se Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft System* - RPA) para realizar o levantamento e obtenção de produtos. A aeronave utilizada em questão foi a eBee RTK equipada com sensor SODA (AgEagle, EUA). Voos realizados com GSD (*Ground Sample Distance*) de 2,5 cm, 2,5 cm e 5 cm, sobreposições lateral de 80% e longitudinal de 80%; 70% e 75% e 80% e 80% com voo cruzado, voo simples e voo cruzado, respectivamente. Usou-se *softwares* como o AgroEstat e planilhas eletrônicas para realizar o procedimento de cálculo dos erros e análise de variância entre os mesmos. Em termos de processamento de dados para altimetria, se obteve que o tratamento T2 com GSD de 2,5 cm foi o que mais se destacou, apresentando as menores médias de erros, e evidencia que GSD menor melhora a qualidade aerofotogramétrica. Para o parâmetro planimetria se observa que tal foi ligeiramente superior em termos de qualidade de posicionamento. Portanto, com o uso da correção por meio do RTK, é possível se obter qualidade na ordem de centímetros, e ocorre mais erros na altimetria do que na planimetria.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Fotogrametria de baixa altitude; Veículo Aéreo não tripulado.

Real-time kinematic correction for navigation purposes of remotely piloted aircraft

ABSTRACT

The importance of signal correction in the mapping of agricultural areas and precision agriculture is to provide quality and carry out aerial survey with high accuracy. Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) are used to conduct the survey and obtain products. The specific aircraft used was the eBee RTK equipped with the SODA sensor (AgEagle, USA). Flights were conducted with Ground Sample Distance (GSD) of 2.5 cm, 2.5 cm, and 5 cm, with lateral overlaps of 80% and longitudinal overlaps of 80%; 70% and 75%; and 80% and 80% with cross-flight, single flight, and cross-flight, respectively. Software such as AgroEstat and spreadsheets were used to perform the error calculation procedure and analysis of variance among them. In terms of data processing for altimetry, it was found that Treatment T2 with a GSD of 2.5 cm stood out the most, showing the lowest average errors, highlighting that a smaller GSD improves aerophotogrammetric quality. For the planimetry parameter, it is observed that it was slightly superior in terms of positioning quality. Therefore, with the use of correction through RTK, it is possible to achieve centimeter-level accuracy, and there are more errors in altimetry than in planimetry.

Keywords: Precision agriculture; Low altitude photogrammetry; Unmanned aerial vehicle.

1. INTRODUÇÃO

O uso de informações geoespaciais do sistema de posicionamento por satélite, o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), auxilia estudos e trabalhos de diferentes setores, contribuindo para grandes avanços científicos, sociais e econômicos na sociedade contemporânea (Alves, 2021). Por serem modernas e de boa precisão, as informações geoespaciais ganham espaço dentro dos meios agrícolas. Destaca-se que o GNSS é essencial para a aplicação das técnicas da Agricultura de Precisão e Digital.

Historicamente o uso de imagens aéreas ou orbitais através da fotogrametria, obtida por meio de informações geoespaciais, fomenta a agricultura de precisão a executar seus serviços com êxito (Bernardi *et al.*, 2014). Segundo Rosalen (2015), uma das formas de definir fotogrametria é a junção de ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis a respeito de objetos físicos e o meio ambiente através de captura de vídeo-imagens, medição, interpretação e processamento de imagens fotográficas.

Dentro do processo de obtenção de imagens por aerofotogrametria o plano de voo e a determinação do tipo de voo são itens essenciais, de forma que existem dois tipos de plano de voo, sendo eles, *Cross-Grid UAV Imaging Flight Plans* (Planos de Voo de Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada - ARP - com Grade Cruzada): este termo descreve um plano de voo em que a ARP é direcionada a seguir uma trajetória de voo que envolve voar em linhas diagonais ou em padrões de zigzag sobre a área de interesse. A sobreposição das imagens é planejada de forma a cobrir a área de maneira eficiente e garantir que as imagens se sobreponham tanto horizontal quanto

verticalmente. Isso é frequentemente usado em aplicações de mapeamento e sensoriamento remoto para garantir a qualidade dos dados coletados e a precisão dos mapas e modelos gerados; e o *Simple ARP Imaging Flight Plans* (Planos de Voo de Imagens de ARP Simples): esse termo se refere a um plano de voo mais direto e linear, em que a ARP segue uma rota simples sobre a área-alvo. Geralmente, esse tipo de plano de voo é usado quando a área é relativamente pequena e não requer sobreposição de imagens tão extensa. Isso pode ser apropriado para aplicações mais simples, como captura de imagens para inspeções visuais, monitoramento básico ou levantamentos de áreas menores, e, portanto, a escolha entre esses dois tipos de planos de voo depende do tamanho da área, dos objetivos da missão e da qualidade desejada dos dados coletados. Planos de voo com grade cruzada são ideais para áreas maiores que requerem alta precisão, enquanto planos de voo simples podem ser suficientes para aplicações menores e menos complexas (Días, *et al.*, 2020).

Nos últimos 10 anos tem se intensificando o uso de Veículos Aéreos Não Tripulado (VANT's) para obtenção de imagens aerofotogramétricas. Rosalen (2015) cita que de acordo com o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*United States Department of Defense - DoD*), VANT seria definido como:

Veículo aéreo motorizado que não transporta um operador humano, usa forças aerodinâmicas para a sustentação aérea, pode voar de maneira autônoma ou ser pilotado por controle remoto, pode ser descartável ou recuperável e pode transportar uma carga útil letal ou não letal.

Alves (2021) evidencia que as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), por combinarem o uso de sensores fotogramétricos, técnicas de sensoriamento remoto e dados de posicionamento, podem ser de grande utilidade em diferentes atividades de mapeamento, visto que o georreferenciamento de dados de imagens suborbitais de sensoriamento remoto envolve a determinação das coordenadas dos pixels da imagem. Em estudos que exigem dimensionamento preciso de imagens e modelagem 3D, essa ferramenta se torna de grande utilidade.

Para a obtenção das imagens georreferenciadas, as aeronaves remotamente pilotadas fazem uso de câmeras digitais de boa qualidade. Essas câmeras podem ser sensores que registram a faixa espectral do visível, as bandas RGB (*Red/Green/Blue*) (Souza, 2017).

Na agricultura, os sensores RGB podem sofrer adaptações para registrarem a faixa espectral do infravermelho próximo (*Near-infrared* - NIR), o que possibilitava a determinação de índices de vegetação, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), fundamentais para a realização de diagnósticos da ocorrência de pragas, doenças ou deficiência nutricional em culturas (Rosalen *et al.*, 2017). Destaca-se que com fins específicos de levantamentos topográficos são geralmente utilizados os sensores RGB (MOREIRA, 2022).

Rosalen (1997) ressalta que no processo de obtenção dessas imagens, em especial de mosaicos controlados, se faz necessário a implantação de pontos de controle no terreno a fim de orientar o modelo fotogramétrico em relação à vertical e assim corrigir sua escala. Fato que Alves (2021) também

confirma, pois, o gerenciamento de imagens suborbitais depende da utilização de pontos de controle no solo, sendo as coordenadas destes registradas por equipamentos capazes de coletar informações do sistema GNSS.

Dessa forma, Rosalen (2015) define os pontos de controle no terreno como pontos cujas coordenadas são de origem conhecidas, sendo conectadas a um sistema geodésico e no caso do Brasil, devem estar conectadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), adotando como *Datum* o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realização de 2000 (SIRGAS, 2000).

Contudo, para Tomaštik *et al.*, (2019), essa dependência vai de forma contrária as vantagens da utilização do sensoriamento remoto nas práticas da agricultura de precisão, posto isso, o uso e desenvolvimento crescente de metodologias de fotogrametria digital pode ser percebido como um empenho para eliminar a dependência.

De acordo com Alves (2021), o processo de correção dos dados de posicionamento se apresenta como uma alternativa para a eliminação do uso de pontos de controle, sendo esses dados corrigidos em tempo real (*Real Time Kinematic* - RTK) ou após o levantamento (*Post Processed Kinematic* - PPK). Os sistemas de posicionamento com correção RTK, atualmente, são acoplados às ARPs como forma de solução precisa para as dificuldades da aquisição de pontos de controle.

A agricultura moderna está cada vez mais avançada e, neste cenário, a agricultura de precisão ocupa um papel fundamental, consistindo no uso de um conjunto de tecnologias com o objetivo principal de aumentar a produção

através de modificações e diferentes manejos em áreas agrícolas, de forma a monitorar e acessar a atividade agrícola em nível local (Galvão; Rosalen, 2013). De acordo com Tschiedel e Ferreira (2002), as técnicas envolvendo Agricultura de Precisão devem ser entendidas como uma forma de manejo sustentável, no qual as modificações ocorrem minimizando os danos ao meio ambiente e evitando prejuízos às reservas naturais.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal verificar o impacto do voo cruzado e da resolução geométrica na qualidade da cobertura aerofotogramétrica obtida com o método de correção RTK embarcado em Aeronave Remotamente Pilotada – ARP.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo do presente trabalho, será apresentada uma breve revisão de literatura sobre a história do GNSS, dos sistemas SIG, suas utilidades na agricultura e das Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), focando a aplicação desses na agricultura de precisão, objetivando, assim, um melhor entendimento da tecnologia utilizada e de suas limitações.

3.1 Sistema de Navegação Global por Satélite

O *Global Navigation Satellit System* (GNSS) em português Sistema de Navegação Global por Satélite, é considerado recente, embora sua história remonte do início nos anos 1970 com o desenvolvimento do sistema

Americano, o *Global Positioning System* (GPS) em português Sistema Global de Posicionamento, que era utilizado de forma exclusivamente militar, e mesmo que considerado global não era mundial, pois ficava restrito somente ao *United States Department of Defense* (DoD) ou departamento de defesa dos Estados Unidos, sendo submetido a um rígido controle governamental (Álvarez, 2008).

De acordo com Polezel (2010), em função da boa precisão fornecida pelo GPS, o mesmo fora usado para uma variedade de propósitos operacionais, desde navegações simples até a medição de precisão milimétrica. Concomitante, o GLONASS (Sistema de Navegação Global por Satélite) de origem Russa, também estava em operação, mas não era difundido, entretanto ambos os sistemas fazem parte do chamado Sistema Global de Navegação por Satélite. Além dos citados anteriormente, o GNSS inclui o sistema de posicionamento da Comunidade Européia (GALILEO), o BeiDou de origem chinesa, e o QZSS que é japonês, além das *Satellite Based Augmentation System* SBAS ou em português que são chamadas de redes de aumento baseadas em satélite.

3.1.1 Métodos de Correção

De acordo com o Website Mappa (2021), quando se espera obter precisão, acurácia centimétrica e o posicionamento correto das coordenadas de voo, se faz necessário o uso de métodos de correção e posicionamento do sinal da ARP, para assim obter uma boa acurácia e evitar erros grotescos.

Portanto, as vias de correção são utilizadas para suprir as defasagens de sinal das ARPs, principalmente a longas distâncias, pois tal fator pode causar obstrução dos sinais, resultando na perda de dados de correção e uma menor porcentagem de posições precisas da câmera no voo (Pix4D, 2017).

3.1.2 Posicionamento por Ponto Simples - PPS

O Posicionamento por Ponto Simples (PPS) ou também chamado de posicionamento absoluto, se caracteriza pelo uso de um único receptor GNSS, medindo a distância entre suas antenas e a distância das antenas dos satélites, se utilizando a observável pseudodistância (Leandro 2003). Almeida e Poz (2016), relatam que o PPS é considerado um dos métodos de posicionamento mais utilizado para determinação de coordenadas em levantamentos geodésicos de precisão.

Basicamente o posicionamento absoluto se utiliza do GPS, que já é um sistema muito conhecido e no contexto do mapeamento com ARPs, o GPS serve para guiar o voo automatizado da ARP, sendo esta uma solução encontrada para o mapeamento de áreas de maneira prática. Contudo, o GPS comum nem sempre funciona de maneira correta, podendo perder o sinal, falhando para atualizar informações, e no caso de ARPs que utilizam somente este tipo de sistema, a margem de erro de posicionamento geográfico de um GPS pode ficar na ordem de metros (Mappa, 2021).

3.1.3 Cinemático em Tempo Real

O conceito de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK) ou correção cinemática em tempo real se baseia na transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélites, dos receptores instalados nos vértices de referência aos receptores que percorrem os vértices de interesse. Desta forma, proporciona o conhecimento instantâneo, em tempo real, de coordenadas precisas dos vértices levantados (Incra, 2013).

O RTK, pode ser dividido em RTK convencional e RTK em rede. O RTK convencional, os dados de correção de sinal são transmitidos por meio de um link de rádio do receptor instalado no vértice de referência ao (s) receptores (s) que percorre (m) os vértices de interesse; já no RTK em rede se utiliza de várias estações de monitoramento contínuo conectadas a um servidor central, no qual, por meio de conexão à internet os dados de correção de sinais são distribuídos aos receptores moveis (Incra, 2013).

Portanto, Furlaneto (2003) relata que mesmo que o método de correção RTK possua algumas restrições que devem ser atentadas, o mesmo ainda é de bastante utilidade, pois com esse meio de posicionamento é possível se obter precisão e acurácia centimétrica dos dados de campo.

3.1.4 Cinemático Pós-processado

O *Post Processed Kinematic* (PPK) ou cinemática de pós-processamento é um processo de posicionamento no qual os sinais recebidos de um dispositivo de recepção móvel armazenam os dados de localização que podem ser ajustados usando correções de uma estação de referência após a coleta de dados, outro fato que se destaca é que o PPK usa tempos de

observação significativamente reduzidos em comparação com o estático (Pirti, 2021).

De acordo com o Website Mappa (2021), o Sistema PPK pode ser considerado de bastante similaridade ao RTK e se utiliza da mesma lógica de cruzamento de dados, porém, esse cruzamento e processamento das informações ocorre em um momento posterior ao voo, sendo assim chamado de um sistema de pós-processamento. Ressalta-se que os dados de GPS da ARP ficam armazenados no computador de bordo da aeronave e são corrigidos após o voo.

3.2 Aerofotogrametria

O levantamento aerofotogramétrico é um dos métodos utilizados para o mapeamento da superfície terrestre. O voo fotogramétrico é realizado por uma ARP, na qual é acoplada uma câmera fotogramétrica que cobre toda a área a ser mapeada.

Para obter uma cobertura completa do terreno a ser representado, as fotografias aéreas são tomadas de modo sobreposto. Com o auxílio de um aparelho fotogramétrico, realiza-se a restituição, processo de confecção do mapa, através de um modelo tridimensional (IBGE, 2023).

3.2.1 Cobertura Aerofotogramétrica e Pontos de Controle no Terreno

O uso de imagens aéreas ou orbitais é sempre de grande auxílio na agricultura de precisão, sendo este o caso da Fotogrametria. Segundo o

Manual de Interpretação Fotográfica, fotogrametria é definida como "a ciência ou arte de se obterem medidas confiáveis por meio de fotografias" (American Society for Photogrammetry, 1980 *apud* Rosalen, 1997).

Considerando um conceito mais recente e abrangente, da *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (2000) (*apud* Santos; Dias, 2011), a fotogrametria pode ser definida como:

A arte, a ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos.

De acordo com Galvão e Rosalen (2013), as imagens obtidas graças à fotogrametria têm sido muito usadas no mapeamento de culturas, pragas, doenças, cadastro rural e glebas de terra. Posto que com imagens orbitais é possível identificar espécies de plantas, calcular área foliar, biomassa, cobertura do solo, quantificação de nitrogênio, clorofila, água, deficiências de nutrientes, entre outros

A fotogrametria pode ser classificada em três categorias: fotogrametria terrestre, aérea e espacial. A terrestre é obtida através de câmeras métricas terrestres acopladas ou não a teodolitos/estação total tendo seu eixo de visada na horizontal; a aérea ou também aerofotogrametria que tem em seu princípio a utilização de câmeras métricas aéreas colocadas em aeronaves remotamente pilotadas e, por último a espacial, que é realizada por meio de satélites e/ou ônibus espacial (Rosalen, 1997).

Tommaselli (2009), destaca que no contexto do mapeamento fotogramétrico, as linhas de voo são posicionadas no mapa de forma que as faixas adjacentes se sobreponham em cerca de 25% a 30% da área coberta pela

foto, o que é conhecido como "sobreposição lateral". No que diz respeito à sobreposição entre fotos consecutivas, espera-se um valor mínimo de 60%, que é denominado "sobreposição longitudinal". Essa sobreposição longitudinal tem o propósito de viabilizar a criação de pares estereoscópicos para observação e medição em 3D, a criação de mosaicos (usando principalmente a parte central de cada fotografia devido a menores distorções e variações topográficas) e a obtenção de pontos de referência por meio de técnicas fotogramétricas, como a Fototriangulação.

Portanto, Rosalen (2015) destaca que as aplicações da fotogrametria são inúmeras, e vão desde mapeamento planialtimétrico sistemático em diferentes escalas, até o monitoramento ambiental, detecção de pragas e doenças em culturas, levantamentos geológicos e pedológicos, uso e ocupação do solo, arquitetura, arqueologia, inteligência militar e perícia criminal.

Voltado ao termo pontos de controle, tais podem ser definidos como pontos cujas coordenadas são, preferencialmente, determinadas em campo através de métodos de posicionamento, visto que atualmente são utilizados métodos de posicionamento GNSS que garantam qualidade compatível com os objetivos propostos do voo, e como exemplo destaca-se, o posicionamento relativo rápido estático que permite atingir à qualidade de centímetros na determinação de coordenadas em campo (Monico, 2008 *apud* Galvão; Rosalen, 2013)

De maneira mais sucinta também pode ser definir pontos de controle no terreno como pontos cujas coordenadas são conhecidas e conectadas a

um sistema geodésico. No caso do Brasil, devem estar conectadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), adotando como *Datum* o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realização de 2000 (SIRGAS2000). Visto isso, Sato (2003) relata que existem três tipos de pontos de controle: os planimétricos ou horizontais - "H"; os altimétricos ou verticais - "V", e os pontos de duplo-apoio - "HV", tendo como importância orientar o modelo fotogramétrico e comparar as coordenadas.

Dessa forma, destaca-se que a implantação de pontos de controle, em campo, demanda tempo e recursos extras, além da própria ARP e respectivo software de processamento digital de imagens. Exige o deslocamento até a área, pessoal qualificado para a coleta de dados de campo, receptores GNSS, acessórios e softwares específicos (Galvão, 2014).

3.3 Aeronaves Remotamente Pilotadas

De acordo com Sousa; Sousa; Costa (2016) as ARPs, também conhecidas como Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou - *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) – tradução para o inglês, são aeronaves que podem ser pilotadas à distância a partir de uma base ou de uma plataforma que disponibiliza meios eletrônicos e computacionais, sendo operados por uma pessoa ou por controladores lógicos programáveis ou para operarem autonomamente.

Segundo o Departamento de Defesa dos EUA (*United States Department of Defense – DoD*), VANT é definido como:

Veículo aéreo motorizado que não transporta um operador humano, usa forças aerodinâmicas para a sustentação aérea, pode voar de maneira autônoma ou ser pilotado por controle remoto, pode ser descartável ou recuperável e pode transportar uma carga útil letal ou não letal.

Já segundo a Associação Brasileira de Aerodelismo (ABA) (*apud RASI, 2008, p.25*), a definição de VANT é: “Um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi planejado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo”

Outro termo popularmente dito para designar um VANT, ou aeronaves não tripuladas, é conhecido como drones, e difundem-se cada vez mais no Brasil e no mundo (Decea, 2023).

Verifica-se que as nomenclaturas são as mais diversas e o termo que é muito empregado é Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), em inglês *Remotely Piloted Aircrafts* (RPA). Rosalen e Amazonas (2019), definem uma ARP como uma aeronave motorizada, não tripulada, que pode ser autônoma, semiautônoma, controlada remotamente, ou a combinação de todos estes. Dentre as finalidades pode-se citar a obtenção de dados para estudos e pesquisas em diversas áreas (Hardin; Jensen, 2011). Destaca-se que “RPA” é o termo técnico adotado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2015).

Algumas diferenças conceituais e técnicas entre as ARPs devem ser descritas, sendo a principal delas o sistema aerodinâmico no qual sustenta a aeronave no ar, visto que as ARPs podem ser divididos em dois tipos, asa fixa

ou rotativa. Os de asa fixa são utilizados para cobrir maiores distâncias/áreas, enquanto os de asa rotativa (multirotor) são mais utilizados em áreas com menor dimensão por atingirem velocidades mais baixas (Sousa; Sousa; Costa, 2016).

Em termos gerais, as ARPs de asa rotativa podem assumir a forma de um helicóptero convencional ou um multirotor. ARPs do tipo multirotor consistem em uma plataforma aérea equipada com eletrônicos avançados que permitem a instalação de diversos sistemas de captura de imagens. Seu sistema de controle possibilita voos com alta estabilidade, exigindo um treinamento operacional mínimo. Além disso, essas RPA são compactas, fáceis de operar, oferecem segurança e têm custos operacionais reduzidos (Medeiros, 2007).

Por outro lado, na agricultura, o tipo de RPA mais comumente empregado é o modelo de asa delta ou também conhecido como asa fixa, devido ao seu tamanho compacto. No entanto, essas RPA, são relativamente sensíveis a ventos fortes, embora, de maneira geral, sejam os que apresentam menos desafios operacionais para iniciantes. Essa categoria de RPA é caracterizada por uma asa em formato de delta que proporciona sustentação ao voo e possui um motor de hélice na parte traseira que impulsiona o modelo para frente (Force, 2016).

Neste contexto, ressalta-se a ampla gama de utilização das RPAs, que abrangem desde as áreas de busca e salvamento, bem como auxílio à segurança pública, meio ambiente, detecção de estresse em culturas

agrícolas e levantamentos topográficos e cadastrais mais complexos (Rosalen; Amazonas, 2019).

As informações resultantes do mapeamento com a RPA são, comumente, um mosaico de imagens da área que fora sobrevoada. Define-se mosaico como um conjunto que abrange um bloco de imagens aéreas adjacentes e unidas sistematicamente pelo devido ajuste e sobreposição de suas margens vizinhas, de maneira a se obter uma representação contínua da superfície, havendo 3 classes de mosaico, sendo elas: controlado, não controlado e semicontrolado (Galvão, 2014).

A denominação mosaicos não controlados é um termo utilizado para denominar mosaicos que não passaram por um processo de retificação e sua respectiva orientação, as imagens são basicamente mescladas ajustando os detalhes das arestas adjacentes (Santos, 2004). De acordo com Rosalen (2015), um mosaico controlado passa por um processo de retificação e orientação e deve-se utilizar pontos de controle, daí o nome mosaico ortorretificado ou ainda mosaico ortorretificado.

3.4 Sistema Sensores

O uso de RPAs na agricultura de precisão tem seu foco na utilização de sensores com base em espectro de refletância, ou seja, medição de refletância de Radiação Eletromagnética (REM) após interação com várias superfícies, realizado em diferentes comprimentos de onda, provenientes do chamado espectro refletido, mais especificamente abrangendo a região do visível (*Visible* – VIS, de 400 a 700 nm), Infravermelho próximo (*Near Infrared* – NIR,

de 700 a 1300 nm) e Infravermelho de ondas curtas (*Short Wave Infrared* – SWIR, de 1300 a 2500 nm) (Jorge; Inamasu, 2014).

O Sensoriamento Remoto (SR) caracteriza-se pela obtenção de informações de um objeto sem que exista contato físico com o mesmo, e ocorrendo a longas distâncias. Atualmente, imagens de sensores remotos podem ser obtidas a partir de diversas plataformas, como satélites, aeronaves, RPAs, máquinas agrícolas autopropelidas, entre outras (Shiratsuchi et al., 2014).

Em consonância com Alves (2021), o georreferenciamento de dados de sensoriamento remoto se baseia na determinação de coordenadas para os pixels que formam uma imagem, afim de contribuir com os estudos que exigem precisão no dimensionamento por imagem e também em modelagens 3D, realiza-se o georreferenciamento.

Segundo Furlanetto *et al.*, (2017), os sensores que são utilizados de forma mais ampla na agricultura são os sistemas multiespectrais, constituídos por câmaras fotográficas semiprofissionais adaptadas para assim poderem operar em outras bandas do espectro eletromagnético. Destaca-se que além dos multiespectrais, existem os sensores hiperespectrais, imageadores ou não-imageadores, que são mais recentes e altamente promissores para aplicação no estudo de agricultura de precisão.

Portanto, Pedrali (2017) indica que uma ARP pode embarcar uma variedade de sensores para a coleta de dados via Sensoriamento Remoto. Assim, os usos desses sensores permitem um ganho em relação aos

equipamentos a bordo de plataformas orbitais, principalmente, em virtude das resoluções espacial e temporal.

De acordo com Jensen (2009), os sistemas de sensoriamento remoto multiespectral registram a energia em múltiplas bandas do espectro eletromagnético, visto que certas regiões do espectro eletromagnético são ótimas para obter informações sobre parâmetros biofísicos.

Furlanetto *et al.*, (2017), ressalta que mesmo que os sensores multiespectrais sejam limitados quanto ao número de bandas espectrais e a sua resolução espectral, deixando a desejar na obtenção da “assinatura espectral” dos alvos, ainda assim é possível a geração de índices de vegetação que buscam caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação como área fotossintética, biomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida, produtividade, e outros parâmetros.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

Para o presente trabalho a área de estudo escolhida localiza-se na Fazenda de Ensino Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) do Câmpus da UNESP de Jaboticabal-SP (localização em torno de 21°14'51”S e 48°17'15”W). A área em questão possui um tamanho aproximado de 3,6 hectares.

4.2 Tratamentos

Para a escolha dos tratamentos foram levados em consideração alguns parâmetros como o GSD, sobreposição, tipo de voo com base em padrões normalmente utilizados. O tratamento 2 foi definido como tratamento padrão, pois é o mais utilizado para mapeamento de acordo com o modelo da aeronave.

E assim foram estabelecidos os seguintes tratamentos:

- 1) Voo cruzado com *Ground Sample Distance* (GSD) ou distância de amostragem no terreno (resolução geométrica) de 2,5 cm, sobreposição lateral de 80% e longitudinal 80%;
- 2) Voo simples com GSD de 2,5 cm de pixel, sobreposição lateral de 70% e longitudinal 75%;
- 3) Voo cruzado com GSD de 5,0 cm, sobreposição lateral de 80% e longitudinal de 80%.

Como justificativa dos tratamentos escolhidos foi utilizada a recomendação de voo cruzado como forma de melhoria da qualidade e aumento do GSD como um teste para avaliar o impacto deste na qualidade

Para avaliar a qualidade do georreferenciamento das imagens oriundas da cobertura aerofotogramétrica foram estabelecidos 14 pontos de controle distribuídos de forma uniforme em função do tamanho da área, para verificação das coordenadas conhecidas e georreferenciar o modelo aerofotogramétrico. Cujas coordenadas foram determinadas utilizando-se o método de

posicionamento GNSS RTK, com receptor GNSS HIPER (Topcon, Japão), método de posicionamento RTK (Figura 1).



Figura 1. GNSS HIPER (Topcon, Japão) utilizado no trabalho, rastreando as coordenadas de um ponto de controle/verificação.
Fonte: O próprio autor.

A cobertura aerofotogramétrica da área foi realizada utilizando-se uma ARP de asa fixa, modelo eBee RTK (AgEagle, EUA) (Figura 2).



Figura 2. Aeronave eBee RTK (AgEagle, Suíça) com antena receptora GNSS RTK em destaque.
Fonte: SphereDrones (2023).

A aeronave utilizada em questão foi equipada com sensor RGB SODA (AgEagle EUA) (Figura 3).



Figura 3. Sensor SODA (AgEagle, EUA).
Fonte: UAVSensefly (2023).

As coordenadas dos pontos de controle foram comparadas com as coordenadas obtidas nos diferentes tratamentos, calculando-se os respectivos erros planimétricos e altimétricos.

Para a visualização e edição do mosaico e do modelo digital de terreno foi utilizado o *software* QGIS e para a análise estatística dos dados o *software* AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos e planilhas eletrônicas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desta forma, para o presente trabalho após os dados de voo serem devidamente coletados e processados, foram obtidos dados, como os estatísticos e fotogramétricos.

No caso dos dados fotogramétricos obteve-se o ortomosaico a partir das imagens capturas da área de estudo (Figura 4).



Figura 4. Exemplo de ortomosaico obtido no aerolevanteamento. Em destaque vermelho a área de estudo.

Fonte: O Próprio Autor

E também se obteve a imagem aérea isolada.

A título de exemplo a (Figura 5) (a) e (b) exibem o exemplo de uma imagem obtida por aerolevanteamento.



(a)

(b)

Figura 5. (a) Imagem isolada obtida por aerolevanteamento. (b) Imagem isolada e ampliada obtida por aerolevanteamento.

Fonte: O Próprio Autor

Já os dados estatísticos foram derivados de planilhas eletrônicas e do *software* AgroEstat.

5.1. Análise Descritiva

A Tabela 1 exibe os indicadores de qualidade de posicionamento altimétrico e planimétricos, em milímetros, que foram obtidos nos diferentes tratamentos. Tais indicadores estão na forma de erros relativos às coordenadas plano-retangulares (eE e eN), o erro altimétrico (eh) e o erro planimétrico (ep). Para cada um destes se obteve o valor máximo, mínimo, médio, o desvio padrão (dos erros), desvio padrão do valor médio dos erros e o coeficiente de variação.

Tabela 1. Análise descritiva de indicadores de qualidade de posicionamento planimétrico e altimétrico obtidos nos tratamentos.

Tratamento	Erro	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Média (mm)	DP (mm)	DPM (mm)	CV (%)
T1 (Voo cruzado, GSD 2,5 cm, 80 e 80 sobrep.)	eN	13	0	6	4	1	67,3
	eE	13	0	7	4	1	62,8
	eh	64	29	47	11	3	23,7
	ep	16	5	10	4	1	33,7
T2 (Voo simples, GSD 2,5 cm, 70 e 75 sobrep.)	eN	33	0	10	9	2	88,8
	eE	18	0	9	5	1	59,8
	eh	56	2	26	14	4	52,4
	ep	33	6	16	7	2	45,2
T3 (Voo cruzado, GSD 5 cm, 80 e 80 sobrep.)	eN	42	1	18	10	3	57,7
	eE	46	3	12	11	3	91,6
	eh	86	35	68	13	4	19,3
	ep	46	8	24	11	3	45,1

eN: erro na coordenada Norte; eE: erro na coordenada Leste; eh: erro altimétrico; ep: erro planimétrico; DP: desvio padrão, DPM: desvio padrão da média; CV: coeficiente de variação, GSD: *Ground Sample Distance* – distancia de amostragem no terreno, sobrep: sobreposição lateral e longitudinal respectivamente em valores percentuais.

Os dados exibidos na Tabela 1 indicam que o coeficiente de variação do erro altimétrico para o T1 ficou por volta de 23% e planimétrico de 33%, já para o T2 o CV do erro altimétrico ficou por volta de 52% e planimétrico por volta de 45%, e por último o T3 em que os valores foram de 19% no CV do erro altimétrico

e 45% no erro planimétrico, aceita-se que com uma porcentagem maior do CV maior é a variabilidade dos dados em relação à média, já por outro lado, um CV baixo indica que os dados estão mais próximos da média.

5.2. Análise de Variância

De acordo com o observado no presente trabalho, se fez necessário a realização de uma análise de variância do tipo ANOVA fator único para o erro altimétrico e para o erro planimétrico afim de verificar se existe diferença significativa entre as médias de T1, T2 e T3, admitindo duas hipóteses, a hipótese nula H_0 e a hipótese alternativa H_1 , de forma que na hipótese nula assume-se que as médias entre os tratamentos são iguais, já na alternativa a média dos tratamentos seriam diferentes.

Após a realização da Análise de Variância (ANOVA) para o erro altimétrico conforme a Tabela 2, se observou que o valor de F a nível de 5% de significância, com 3 e 39 graus de liberdade é 3,44, portanto como $F_{\text{calculado}} (34,89) > F_{\text{tabelado}}$, então, rejeita-se H_0 , pelo teste F, a 5% de significância, ou seja, pode-se observar que houve diferença significativa para o parâmetro erro altimétrico.

Tabela 2. Quadro de análise de variância do tipo ANOVA para erro altimétrico.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Tratamentos	2	12099,000000	6049,5000000	34,89**	< 0,0001
Resíduo	39	6762,1428571	173,38827839	-	
Total	41	18861,142857	-	-	

Por outra via, a Tabela 3 indica os valores gerais para todos os tratamentos com base no erro altimétrico.

Tabela 3. Média e parâmetros gerais de todos os tratamentos para altimetria.

Média Geral	46 mm
Desvio Padrão	13 mm
Erro Padrão da Média	3,6 mm
Coeficiente de Variação	28 %

Já para realização da Análise de Variância (ANOVA) para o erro planimétrico, conforme a Tabela 4, se observou que o valor de F a nível de 5% de significância, com 3 e 39 graus de liberdade é 3,44 e como $F_{\text{calculado}} (10,24) > F_{\text{tabelado}}$, então, também se rejeita H_0 , pelo teste F, a 5% de significância, ou seja, pode-se observar que também existe alguma diferença significativa para o parâmetro erro planimétrico.

Tabela 4. Quadro de análise de variância do tipo ANOVA para erro planimétrico.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Tratamentos	2	1322,9047619	661,45238095	10,24**	< 0,0003
Resíduo	39	2519,0000000	64,589743590	-	
Total	41	3841,9047619	-	-	

Visto isso a Tabela 5 indica os valores gerais para todos os tratamentos com base no erro planimétrico.

Tabela 5. Média e parâmetros gerais de todos os tratamentos para planimetria.

Média Geral	17 mm
Desvio Padrão	8 mm
Erro Padrão da Média	2 mm
Coeficiente de Variação	48 %

5.3 Teste de Tukey

Visto o resultado obtido pela ANOVA tanto para o fator erro altimétrico quanto para o planimétrico, verificou-se que existe diferença significativa entre pelo menos dois tratamentos, e, desta forma foi performado o Teste de Tukey, se baseando na diferença mínima significativa (DMS), para saber quais tratamentos foram iguais ou diferentes.

Para o erro altimétrico, de acordo com o valor da DMS que fora 12 mm, foi essencial realizar uma comparação de médias para saber a diferença entre duas médias, e admitindo que se essa diferença for superior ao valor da DMS (> 12 mm) assume-se que existe variância significativa.

Portanto, a média dos volumes das parcelas para o T1, T2 e T3 foram 46 mm, 26 mm e 67 mm respectivamente, e, com base na D.MS para comparação de médias do erro altimétrico, assumiu-se que existe variância significativa nas médias dos três tratamentos, ficando conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6. Classificação e comparação de médias de erros altimétrico dos tratamentos através do teste de Tukey.

Tratamento	Média (mm)	
Tratamento 3	67	a
Tratamento 1	46	b
Tratamento 2	26	c
DMS (5%) = 12,12		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Como exemplificado na Tabela 6 observou-se que o T3, apresentou a maior média, seguido do T1 e por último T2, porém voltado ao quesito do presente trabalho onde se espera que as melhores médias sejam as menores,

indicando o tratamento que menos variou no aspecto erro altimétrico, se considera o T2 como melhor, seguido pelo T1 e T3.

Já para o erro planimétrico, de acordo com o valor da DMS que fora 7,40 mm, também foi necessário realizar uma comparação de médias para saber a diferença entre duas médias, e admitindo que se essa diferença for superior ao valor da DMS (> 7,40 mm) assume-se que existe variância significativa.

De forma que a média dos volumes das parcelas para o T1, T2 e T3 foram 10 mm, 16 mm e 24 mm respectivamente, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7. Classificação e comparação de médias de erros planimétrico dos tratamentos através do teste de Tukey.

Tratamento	Média (mm)	
Tratamento 3	24	a
Tratamento 2	15	b
Tratamento 1	10	b
DMS (5%) = 7,40		

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, de acordo com o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Considerando as diferenças acima para o erro planimétrico e a DMS de 7,40 pode-se afirmar que os tratamentos T1 e T2 são iguais; T1 com T3 e T2 e T3 são diferentes, no qual o tratamento 1 apresentou a menor média e assim igual para a altimetria, a menor média é considerada a melhor, ou seja a que apresentou menos erros e variações.

6. CONCLUSÕES

Portanto, conclui-se que tanto para a altimetria como para a planimetria o aumento da distância de amostragem no terreno (*Ground Sample Distance - GSD*) de 2,5 para 5,0 cm piora a qualidade do posicionamento.

O aumento da sobreposição lateral e longitudinal de 70% e 75% para 80% e 80%, assim como o voo cruzado não melhoram a qualidade do posicionamento tanto altimétrico, como planimétrico, de forma que ao aumentar um pouco a sobreposição não se verifica melhora na qualidade a ponto de compensar o uso de um pixel melhor. O mesmo vale para o uso do voo cruzado, visto que tal demanda mais tempo e não melhora a qualidade do posicionamento.

Para a qualidade altimétrica onde se espera média menor do erro, o Tratamento 2 e o Tratamento 1 foram os que apresentaram menor média de erro, já o Tratamento 3 foi o que mais errou exemplificando o fato de que o uso de um menor valor para a distância da amostra terrestre confere mais qualidade ao posicionamento, visto que no Tratamento 3 o valor do GSD foi mais elevado.

Ressalta-se que com relação ao parâmetro planimetria, o mesmo apresenta menos erros, se comparado a altimetria, ambos são diferentes estatisticamente e o tratamento que apresentou menor erro altimétrico foi o tratamento 1, o que também indica que o menor valor de GSD é melhor, visto que no T1 o valor de GSD foi de 2,5 cm.

Também, mediante os resultados, conclui-se que o uso do RTK (*Real Time Kinematic*) permite a obtenção de uma qualidade na ordem de centímetros para altimetria e para a planimetria, sendo esta última ligeiramente superior em termos de qualidade de posicionamento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com GNSS: qual é o método mais acurado atualmente? **Boletim de Ciências Geodesicas**, v. 22, n. 1, p. 175–195, 1 jan. 2016.

ÁLVAREZ, D. **Sistema GNSS (global navigation satellite system)**. Proyecto Fin De Carrera. Universidad Autonoma De Madrid Escuela Politecnica Superior. Madrid, jan. 2008.

ALVES, I. S. L. **Sistema GNSS-RTK de baixo custo em veículos aéreos não tripulados para aplicações na agricultura**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*. Viçosa/MG: UFV, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC-E 94**: Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília: Anac, 2017. 26 p.

DÍAZ, G., M., *et al.* Customizing unmanned aircraft systems to reduce forest inventory costs: can oblique images substantially improve the 3D reconstruction of the canopy? **International Journal of Remote Sensing**, 41:9, p.3480-3510, 2020.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Unmanned Aerial Vehicle Roadmap 2005 - 2030**, Washington, 2005.

FORCE, P. **Drones na Agricultura**: tudo sobre a tecnologia que está mudando o setor. Porto Alegre: Floresta & Agricultura, 2016.

FURLANETTO, R. H. et al. **Potencial de utilização de sensores multiespectral e hiperespectral no estudo de diferentes alvos agrícolas**. Anais da XII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. [s.l: s.n: s.d].

GALVÃO, G. M. **Acurácia da mosaicação gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão**. Monografia de trabalho de graduação—Jaboticabal: UNESP FCAV, 2014.

GALVÃO, G. M.; ROSALEN, D. L. Acurácia da mosaicação gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 42, 2013, Fortaleza. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2013.

HARDIN, P.; JENSEN, R. Small-scale unmanned aerial vehicles in environmental remote sensing: Challenges and opportunities. **GIScience and Remote Sensing**, v. 48, n. 1, p. 99–111, 1 jan. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Aerofotogrametria.** [s.d]. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/aerofotogrametria.html#:~:text=O%20levantamento%20aerofotogram%C3%A9trico%20%C3%A9%20um,a%20%C3%A1rea%20a%20ser%20mapeada..> Acesso em: 6 nov. 2023.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres*. Parêntese. São José dos Campos. 2ed. 2009.

LEANDRO, R. F. **A Influência da Ionosfera no posicionamento GPS por ponto simples.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção de Título de Mestre em Engenharia dos Transportes São Carlos: USP, 10 mar. 2003.

MAPPA. **Mapeamento com Drones. GPS RTK ou PPK: qual usar em mapeamentos com drones?** 9 de nov. 2021. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/gps-rtk-ou-ppk-qual-usar-com-drones/>. Acesso em: 22/06/2023.

MARINHO, D. **Voos de VANT (drones).** Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor. Acesso em: 22/06/2023.

MEDEIROS, F., A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão.** Dissertação de Mestrado. Santa Maria-RS, 122p. 2007.

MOREIRA, T. B. R. **Monitoramento da cultura do milho com auxílio de técnicas de agricultura de precisão.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo, campus de Alegre, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Agroecologia. Alegre/ES: IFES, 4 nov. 2022.

PEDRALI, L. D. **Aplicação de sensor multiespectral a bordo de VANT na determinação de graus de severidade de *Erwinia psidii* em *Eucalyptus urograndis*.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal. Santa Maria RS, 2017.

PIRTI, A. Evaluating the accuracy of post-processed kinematic (Ppk) positioning technique. **Geodesy and Cartography**, v. 47, n. 2, p. 66–70, 12 jul. 2021.

PIX4D. **RTK vs PPK drones vs GCPs**: o que tem melhores resultados? 26 de ago. 2017. Disponível em: <https://www.pix4d.com/pt/blog/rtk-ppk-comparacao-gcp-drones/>. Acesso em: 23/05/2023

POLEZEL, W. G. C. **Impacto da modernização do GNSS no posicionamento**. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista.. Presidente Prudente/SP: UNESP, 2010.

ROSALEN, D. L. Veículo aéreo não tripulado – VANT: Conceituação e utilização na agricultura. In: **Processos Agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. 1 ed. Jaboticabal: SBEA, 2015, p. 589-600.

RASI, J. R. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola**. Monografia apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Rural, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Gerenciamento e utilização de Máquinas Agrícolas. Pelotas/RS: UFP, 28 abr. 2008.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção de Título de Mestre em Engenharia dos Transportes. São Carlos/SP: USP, 22 dez. 1997.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital**. 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

ROSALEN, D. L. et al. **Caracterização altimétrica através de sensor multiespectral embarcado em aeronave remotamente pilotada**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Rio de Janeiro, nov. 2017.

ROSALEN, D. L et al. Caracterização altimétrica através de sensor multiespectral embarcado em aeronave remotamente pilotada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27.; EXPOSICARTA, 26. 2017. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 2017.

ROSALEN, D. L.; AMAZONAS, D. M. **Mapeamento com aeronave remotamente pilotada de navegação precisa em tempo real**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos SP, abr. 2019.

ROSALEN, D. L.; AMAZONAS, D. M. Mapeamento com aeronave remotamente pilotada de navegação precisa em tempo real. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais....** São José dos Campos: INPE, 2019.

SHIRATSUCHI, L. S., et al. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. Em: Agricultura de Precisão: **Resultados de um Novo Olhar**. Brasília: EMBRAPA. p. 1–596.

SANTOS, D. S.; DIAS, F. F. **Uso de Anaglifos como Alternativa para Práticas de Estereoscopia em Sensoriamento**. Niterói RJ, 2011.

SATO, S. S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais**. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção de Título de Doutora em Engenharia dos Transportes. São São Carlos/SP: USP, 2003.

SOUSA, A.; SOUSA, J. J.; COSTA, J. **Deteção de objetos a partir de imagens obtidas por VANT**. I Seminário Internacional UAV, Lisboa, mar. 2016.

SOUZA, H. L. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 3, p. 326-342, jul/set. 2017.

TOMASSELLI, Antônio, M. G. *Fotogrametria Básica*. Introdução. [s.l.]. 14p., 2009.

TOMAŠTÍK, J. et al. UAV RTK/PPK method-An optimal solution for mapping inaccessible forested areas? **Remote Sensing**, v. 11, n. 6, 2019.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, p. 1–5, 7 mar. 2001.