

**SEVEN**

PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS  
2024



# PROCESSAMENTO E COMPOSIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS OBTIDAS COM VANT

Felipe Moraes Pereira  
Helio Ricardo Silva

**SEVEN**

PUBLICAÇÕES ACADÊMICAS  
2024



# PROCESSAMENTO E COMPOSIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS OBTIDAS COM VANT

Felipe Moraes Pereira  
Helio Ricardo Silva

**EDITORA CHEFE**

Prof<sup>o</sup> Me. Isabele de Souza Carvalho

**EDITOR EXECUTIVO**

Nathan Albano Valente

**ORGANIZADORES DO LIVRO**

Felipe Moraes Pereira

Helio Ricardo Silva

2024 by Seven Editora

Copyright © Seven Editora

Copyright do Texto © 2024 Os Autores

Copyright da Edição © 2024 Seven Editora

**PRODUÇÃO EDITORIAL**

Seven Publicações Ltda

**EDIÇÃO DE ARTE**

Alan Ferreira de Moraes

**EDIÇÃO DE TEXTO**

Natan Bones Petitemberte

**BIBLIOTECÁRIA**

Aline Grazielle Benitez

**IMAGENS DE CAPA**

AdobeStok

**ÁREA DO CONHECIMENTO**

Ciências Exatas e da Terra

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Seven Publicações Ltda. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Seven Publicações Ltda é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação.

Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.



O conteúdo deste Livro foi enviado pelo autor para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional

## **CORPO EDITORIAL**

### **EDITORA-CHEFE**

Profº Me. Isabele de Souza Carvalho

### **CORPO EDITORIAL**

Pedro Henrique Ferreira Marçal. Vale do Rio Doce University

Adriana Barni Truccolo- State University of Rio Grande do Sul

Marcos Garcia Costa Morais- State University of Paraíba

Mônica Maria de Almeida Brainer - Federal Institute of Goiás Campus Ceres

Caio Vinicius Efigenio Formiga - Pontifical Catholic University of Goiás

Egas José Armando - Eduardo Mondlane University of Mozambique.

Ariane Fernandes da Conceição- Federal University of Triângulo Mineiro

Wanderson Santos de Farias - Universidad de Desarrollo Sustentable

Maria Gorete Valus -University of Campinas

Luiz Gonzaga Lapa Junior- Universidade de Brasília

Janyel Trevisol- Universidade Federal de Santa Maria

Irlane Maia de Oliveira- Universidade Federal de Mato Grosso

Paulo Roberto Duailibe Monteiro- Universidade Federal Fluminense

Luiz Gonzaga Lapa Junior- Universidade de Brasília

Janyel Trevisol- Universidade Federal de Santa Maria

Yuni Saputri M.A- Universidade de Nalanda, Índia

Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí, CEAD

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

P436p

Pereira, Felipe Moraes.

PROCESSAMENTO E COMPOSIÇÃO DE IMAGENS  
AÉREAS OBTIDAS COM VANT [recurso eletrônico] /  
Aurora Martínez Romero, Grécia Alicia Dominguez  
Espinoza - São José dos Pinhais, PR: Seven Editora,  
2024.

Dados eletrônicos (1 PDF).

ISBN 978-65-6109-002-5

1. Agisoft metashape professional. 2. Ortomosaico.  
3. NDVI. I. Título.

CDU 004.38

**Índices para catálogo sistemático:**

Programação na informática 004.38

**Bruna Heller** - Bibliotecária - CRB10/2348

**DOI:** 10.56238/livrosindi202410-001

**Seven Publicações Ltda**  
CNPJ: 43.789.355/0001-14  
editora@sevenevents.com.br  
São José dos Pinhais/PR

## **DECLARAÇÃO DOS AUTORES**

O autor deste trabalho DECLARA, para os seguintes fins, que:

Não possui nenhum interesse comercial que gere conflito de interesse em relação ao conteúdo publicado;

Declara ter participado ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente nas seguintes condições: "a) Desenho do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação dos dados; b) Elaboração do artigo ou revisão para tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão";

Certifica que o texto publicado está completamente livre de dados e/ou resultados fraudulentos e defeitos de autoria;

Confirma a citação correta e referência de todos os dados e interpretações de dados de outras pesquisas;

Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para realizar a pesquisa;

Autoriza a edição do trabalho, incluindo registros de catálogo, ISBN, DOI e outros indexadores, design visual e criação de capa, layout interno, bem como seu lançamento e divulgação de acordo com os critérios da Seven Eventos Acadêmicos e Editora.

## **DECLARAÇÃO DA EDITORA**

A Seven Publicações DECLARA, para fins de direitos, deveres e quaisquer significados metodológicos ou legais, que:

Esta publicação constitui apenas uma transferência temporária de direitos autorais, constituindo um direito à publicação e reprodução dos materiais. A Editora não é co-responsável pela criação dos manuscritos publicados, nos termos estabelecidos na Lei de Direitos Autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; O(s) autor(es) é(são) exclusivamente responsável(eis) por verificar tais questões de direitos autorais e outros, isentando a Editora de quaisquer danos civis, administrativos e criminais que possam surgir.

Autoriza a **DIVULGAÇÃO DO TRABALHO** pelo(s) autor(es) em palestras, cursos, eventos, shows, mídia e televisão, desde que haja o devido reconhecimento da autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial, com a apresentação dos devidos **CRÉDITOS** à **SEVEN PUBLICAÇÕES**, sendo o(s) autor(es) e editora(es) responsáveis pela omissão/exclusão dessas informações;

Todos os e-books são de acesso aberto, portanto, não os venda em seu site, sites parceiros, plataformas de comércio eletrônico ou qualquer outro meio virtual ou físico. Portanto, está isento de transferências de direitos autorais para autores, uma vez que o formato não gera outros direitos além dos fins didáticos e publicitários da obra, que pode ser consultada a qualquer momento.

Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições públicas de ensino superior, conforme recomendado pela CAPES para obtenção do Qualis livro;

A Seven Eventos Acadêmicos não atribui, vende ou autoriza o uso dos nomes e e-mails dos autores, bem como de quaisquer outros dados deles, para qualquer finalidade que não seja a divulgação desta obra, de acordo com o Marco Civil da Internet, a Lei Geral de Proteção de Dados e a Constituição da República Federativa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus pelo fôlego de vida, motivação e sabedoria para superar todos os desafios que a vida nos propõe, e por me abençoar com novas experiências todos os dias.

Aos meus pais e irmão, Lourival e Marcia; Danilo, por todo apoio, estrutura necessária e suporte na vida, sempre acreditando no meu potencial. E, a todos meus familiares, que mesmo perto ou longe sempre deram forças em minha jornada.

A minha namorada, Mariana, que sempre esteve comigo em vários momentos de alegria e tristeza me apoiando muito, não mediu esforços para me ajudar, sendo exemplo de dedicação, força e amor.

Ao meu orientador Prof. Dr. Helio Ricardo Silva que durante toda a graduação esteve à disposição para ajudar, transmitir conhecimento, compartilhar experiências que agregaram em minha jornada na graduação.

Agradeço todos os docentes da Unesp, campus de Ilha Solteira, que me proporcionaram grandes aprendizados e contribuíram na minha formação acadêmica. Por fim, mas não menos importante, agradeço ao Danilo Neves, ex-aluno da Unesp, e que teve grande participação neste trabalho cedendo gentilmente as imagens obtidas pelo VANT.

## APRESENTAÇÃO DOS AUTORES



**Felipe Moraes Pereira**

Nascido em Andradina (São Paulo) e criado em Ilha Solteira, onde fez graduação em Engenharia Agrônoma pela Faculdade de Engenharia/UNESP, campus de Ilha Solteira. Desde o início da graduação participou de grupo de pesquisa, congressos e simpósios que despertaram interesse pelo geoprocessamento. Ingressou ao estágio no LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO – UNESP/FEIS, colaborando com projetos de sensoriamento remoto e geotecnologias para agricultura de precisão. Também foi membro do grupo de pesquisa INNOVANT – UNESP/FEIS em parceria da engenharia agrônoma com engenharia mecânica com ênfase em projetos ambientais e agricultura de precisão. Trabalhou na região do cerrado com agricultura de precisão avaliando a variabilidade espacial da produtividade e dos atributos químicos do solo das lavouras, através da amostragem georreferenciada de solo. Além de, análise ambiental rural utilizando as geotecnologias (sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas).



**Helio Ricardo Silva**

Nascido em Ribeirão Preto (SP), cursou o primário na escola estadual Francisco Manuel e o ginásio na escola estadual Fernando Costa em Registro (SP) e o científico no Colégio Mackenzie em São Paulo (SP). Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual Paulista, (UNESP), campus de Jaboticabal (1980) e Administração de Empresa pela Universidade Mackenzie (1983). Mestrado em sensoriamento remoto (1994) pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e doutorado em Produção Vegetal pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista (1999). É professor desde 1988 da Faculdade de Engenharia da UNESP, campus de Ilha Solteira vinculado ao Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, responsável por várias disciplinas com destaque para a disciplina de Geotecnologias. A trajetória do autor tem se firmado em realizar o diagnóstico ambiental rural e urbano, desde a década de 80, da área de influência do sexto complexo hidrelétrico mais importante do planeta, denominado Complexo Hidrelétrico de Urubupungá, que abrange o noroeste do estado de São Paulo, leste do Mato Grosso do Sul e oeste de Minas Gerais (triângulo mineiro) e pesquisas sobre ilhas de calor em pequenos centros urbanos. A parceria do autor com a empresa gestora do Complexo Hidrelétrico de Urubupungá tem possibilitado o desenvolvimento de pesquisas na área de bioengenharia para a recuperação de taludes nas margens do reservatório da Usina Hidrelétrica de Jupia com o objetivo de diminuir o processo de assoreamento deste Complexo Hidrelétrico.



## APRESENTAÇÃO

Os sensores ópticos multiespectrais de alta resolução espacial embarcados em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) são uma ferramenta apropriada para o mapeamento detalhado da vegetação, assim sendo objetivou-se com esse estudo realizar técnicas de mapeamento aéreo com um VANT a fim de gerar mosaicos georreferenciados com capacidade de serem processados para extrair dados relevantes para diversas aplicações, como o Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI). Para tal utilizou-se hexacoptero com câmera multiespectral para obter fotografias aéreas para análise multiespectral da vegetação. A área de estudo foi dividida em 5 talhões onde estavam instaladas a cultura da soja entre o estádio R5.4 e R5.5. Para a aplicação das técnicas de fotogrametria utilizou-se o software específico Agisoft Metashape Professional e foram desenvolvidas tecnologias de geoprocessamento para obtenção dos ortomosaicos e dos modelos digitais de superfície (MDS), o software QGIS para geração do NDVI e o complemento plugin "dzetsaka" para quantificação do uso e cobertura do solo. Foram construídos 5 ortomosaicos verdadeiros a partir dos MDS com tamanho de GSD médio de 24,1 centímetros, o previsto era de 23,86 cm. Não usou pontos de apoio, utilizando-se apenas os dados do GPS de navegação embarcado no VANT. Os NDVI nos talhões 1, 2, 3, 4 e 5 obtiveram, respectivamente, valores de -0,72 a 0,90; -0,29 a 0,96; -0,18 a 0,90; -0,42 a 0,92; -0,49 a 0,90, sendo os valores máximos esperados para a idade da soja, porém foram identificadas áreas com valores de NDVI abaixo do esperado. Foram geradas 3 classes de uso e ocupação do solo, sendo solo exposto com valores próximo a zero; Soja apresentando alguma debilitação com valores entre 0,1 a 0,45; Soja saudável com valores maiores que 0,45, e foram quantificadas, respectivamente, em 14,29 ha, 160,52 ha e 532 ha. Conclui-se que o Agisoft Metashape Professional se mostrou eficiente para geração dos produtos finais, MDS e Ortomosaico, em área agricultável. O NDVI mostrou ser uma metodologia eficiente para identificação de zonas com diferente potencial viabiliza o monitoramento de vegetação, integrando Geotecnologias. O software QGIS e o complemento plugin "dzetsaka" mostraram uma ferramenta de baixo custo adequada para mapear, classificar e quantificar cobertura do solo.

Helio Ricardo Silva

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>12</b>
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO.....	<b>12</b>
2.2 SENSORES.....	<b>12</b>
2.3 MOSAICAGEM.....	<b>13</b>
2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	<b>14</b>
2.5 NDVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA.....	<b>15</b>
2.6 CULTURA DA SOJA.....	<b>17</b>
2.7 USO DO NDVI NO ESTABELECIMENTO DA SAÚDE DA SOJA.....	<b>18</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	<b>20</b>
3.2 VANT E CÂMERA.....	<b>20</b>
3.3 PLANO DE VOO.....	<b>22</b>
3.4 CONSTRUÇÃO DO ORTOMOSAICO.....	<b>22</b>
<b>3.4.1 Inclusão das imagens ao projeto</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4.2 Estimativa da qualidade das imagens</b> .....	<b>23</b>
<b>3.4.3 Conversão das coordenadas</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4.4 Preferencias de configurações</b> .....	<b>24</b>
<b>3.4.5 Calibração da câmera</b> .....	<b>25</b>
<b>3.4.6 Alinhamento das fotos</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4.7 Eliminação de ruídos</b> .....	<b>28</b>
<b>3.4.8 Otimização de câmeras</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4.9 Nuvem de pontos densificados</b> .....	<b>29</b>
<b>3.4.10 Modelo digital de superfície</b> .....	<b>30</b>
<b>3.4.11 Geração de ortofotomosaico</b> .....	<b>31</b>
<b>3.4.12 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)</b> .....	<b>32</b>
<b>3.4.13 Exportação do raster</b> .....	<b>34</b>

3.5 QGIS.....	35
<b>3.5.1 Geração do NDVI.....</b>	<b>35</b>
<b>3.5.2 Classificação supervisionada.....</b>	<b>36</b>
3.5.2.1 Criação de shapefile.....	36
3.5.2.2 Configuração do Plugin dzetsaka.....	37
3.5.2.3 Classes.....	37
3.5.2.4 Renderização da banda.....	37
3.5.2.5 Classificação.....	38
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
4.1 SOBREPOSIÇÃO.....	40
4.2 NUVEM DE PONTOS.....	40
4.3 NUVEM DE PONTOS DENSIFICADOS.....	43
4.4 MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE – MDS.....	44
4.5 ORTOMOSAICO.....	46
4.6 NDVI.....	47
4.7 CLASSIFICAÇÃO.....	49
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

Os sensores ópticos multiespectrais de alta resolução espacial embarcados em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) são uma ferramenta apropriada para o mapeamento detalhado da vegetação, assim sendo objetivou-se com esse estudo aplicar uma técnica de mapeamento aéreo com um Veículo Aéreo Não Tripulado para avaliar o desenvolvimento da cultura da soja através do Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI). Para tal utilizou-se hexacoptero com câmera multiespectral para obter fotografias aéreas para análise multiespectral da vegetação. A área de estudo foi dividida em 5 talhões onde estavam instaladas a cultura da soja entre o estádio R5.4 e R5.5. Para a aplicação das técnicas de fotogrametria utilizou-se o software específico Agisoft Metashape Professional e foram desenvolvidas tecnologias de geoprocessamento para obtenção dos ortomosaicos e dos modelos digitais de superfície (MDS), o software QGIS para geração do NDVI e o complemento plugin “dzetsaka” para quantificação do uso e cobertura do solo. Foram construídos 5 ortomosaicos verdadeiros a partir dos MDS com tamanho de GSD médio de 24,1 centímetros, o previsto era de 23,86 cm. Não usou pontos de apoio, utilizando-se apenas os dados do GPS de navegação embarcado no VANT. Os NDVI nos talhões 1, 2, 3, 4 e 5 obtiveram, respectivamente, valores de -0,72 a 0,90; -0,29 a 0,96; -0,18 a 0,90; -0,42 a 0,92; -0,49 a 0,90, sendo os valores máximos esperados para a idade da soja, porém foram identificadas áreas com valores de NDVI abaixo do esperado. Foram geradas 3 classes de uso e ocupação do solo, sendo solo exposto com valores próximos a zero; Soja apresentando alguma debilitação com valores entre 0,1 a 0,45; Soja saudável com valores maiores que 0,45, e foram quantificadas, respectivamente, em 14,29 ha, 160,52 ha e 532 ha. Conclui-se que o Agisoft Metashape Professional se mostrou eficiente para geração dos produtos finais, MDS e Ortomosaico, em área agricultável. O NDVI mostrou ser uma metodologia eficiente para identificação de zonas com diferente potencial viabiliza o monitoramento de vegetação, integrando Geotecnologias. O software QGIS e o complemento plugin “dzetsaka” mostraram uma ferramenta de baixo custo adequada para mapear, classificar e quantificar cobertura do solo.

**Palavras-chave:** Agisoft metashape professional, Ortomosaico, NDVI.

A expressão Agricultura de Precisão teve a primeira aparição nos Estados Unidos em 1929, porém sua maior repercussão começou 50 anos depois, juntamente com os avanços da tecnologia, sistemas de informações geográficas e setor computacional. Dentre as diversas formas de se tratar a Agricultura de Precisão a finalidade principal sempre é a aplicação de técnicas para solucionar os problemas de campo como a desuniformidade da vegetação (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

O desenvolvimento de novas tecnologias criou a oportunidade de aumentar a produtividade do trabalho e gestão inteligente de recurso. Um dos setores que mais ganhou com estas inovações tecnológicas nos últimos anos foi o setor agrícola, onde com o auxílio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou também chamada de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), pode monitorar o desenvolvimento das culturas e a presença de pragas na área de interesse (LAJÚS et al., 2018; PRIMICERIO, 2012; GARCIA-RUIZ et al., 2013; AYLOR et al., 2011).

A partir da aplicação de operações matemáticas e técnicas de informática é possível obter e analisar informações espaciais, permitindo novas aplicações como nas áreas de análise de recursos naturais, agricultura de precisão, representações cartográficas, dentre outros (GIRALDELI, 2019; MOREIRA, 2003).

Com esta inovação é plausível as vantagens quando comparado com os métodos utilizados antigamente no monitoramento de culturas, o qual é baseado em amostragens feitas em campo por homem que implica em grande demanda de tempo, além de ser passível de erros, ou através de imagens de satélite que dependendo da cultura tem grande cadência. Estes métodos ficam em grande desvantagem levando em conta o tempo entre cada coleta de dados e a tomada de decisão podendo comprometer o resultado do cultivo. A partir do monitoramento com VANT tem-se o fornecimento de grande volume de dados e com baixa cadência, o que permite agir rapidamente diante de possíveis problemas na cultura (PRIMICERIO, 2012; SILVA, G., 2017).

Sistema de Informações Geográficas (SIG) é a denominação para os instrumentos computacionais que oferecem a capacidade de recriação da região, analisar, avaliar ou observar os acontecimentos na área de interesse. Para melhor representação se faz necessário a obtenção de imagens georreferenciadas, assim como tratá-las através do processamento de imagens (GEBBERS; ADAMCHUK, 2010). Atualmente diversos softwares realizam estes processamentos como QGIS, Agisoft Metashape, Spring, ArcGIS, dentre outros.

Neste contexto, objetivou-se com esse estudo aplicar uma técnica de mapeamento aéreo com um Veículo Aéreo Não Tripulado para avaliar o desenvolvimento da cultura da soja através do Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada (NDVI).

### 2.1 SENSORIAMENTO REMOTO

De acordo com Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), o sensoriamento remoto é o estudo das propriedades físicas e químicas de qualquer objeto sobre a superfície da terra sem a necessidade de contato físico, baseando-se somente na interação desses alvos com a radiação eletromagnética. O princípio do sensoriamento remoto pode ser posto como a percepção da interatividade da radiação eletromagnética com o objeto situado na face terrestre. Essa interação é medida através de sensores espectrais, que são equipamentos capazes de medir o espectro eletromagnético refletido (ABREU; COUTINHO, 2014).

Os dados de sensoriamento remoto é uma ferramenta útil para auxílio diante de decisão a ser tomada. O êxito do sensoriamento remoto depende de fatores como eficiência na aquisição dos dados, fidedignidade e baixo custo. Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) conhecidas, também, como drones tornou-se uma tecnologia de sensoriamento remoto que executa esses parâmetros e através de sensores acoplados são capazes de fornecer imagens com informações, as quais são vantajosas por terem alta resolução espacial e temporal (XIANG; TIAN, 2011).

O sensoriamento remoto em conjunto com o processamento digital de imagens é um instrumento que viabiliza a obtenção de informações, em especial no uso de imagens obtidas por sensores multiespectrais. Desta forma, estas duas ferramentas possuem aplicabilidade na agricultura. (CAMPBELL; WYNNE, 2011). Os VANTs têm como vantagens sua alta resolução, baixo custo, mobilidade e flexibilidade de acoplamento de sensores, além de que quando comparados aos satélites demonstram terem melhor resolução espacial e temporal (SIEBERT; TEIZER, 2014; TURNER; LUCIEER; WATSON, 2012).

Segundo Zarco-Tejada, González-Dugo e Berni (2012), é possível através de fotografias de alta resolução obtidas com VANT, estimar clorofila e carotenoides presentes no tecido vegetal. Calderón et al. (2013) em estudo com a cultura da oliveira utilizaram fotografias de sensores multiespectrais, termal e hiperespectral para constatar antecipadamente a presença da doença murcha-de-Verticillium, a qual ocorre no sistema vascular e tem como sintoma o estresse hídrico.

Córcoles et al. (2013) mensuraram a cobertura vegetativa em uma área que possuía a cultura da cebola usando VANT, através da utilização do índice de área foliar (IAF). Os autores concluíram que o coeficiente de determinação foi de 0,83 entre o IAF e cobertura de dossel.

### 2.2 SENSORES

As fotografias obtidas através de VANTs podem diferir quanto ao tipo, isto porque depende do tipo de sensor conectado ao VANT. Segundo Munaretto (2015), existem alguns tipos de sensores

que são usados nestes veículos:

- I.** Sensores RGB: são sensores na faixa do visível (comprimentos de onda entre 400nm e 700nm) muito usados para monitoramento de obras, agricultura, monitorar a erosão do solo e mineração. As imagens deste sensor são construídas pela combinação das bandas azul, verde e vermelho, também, comumente denominada câmeras digitais, responsáveis por fotografia tradicional.
- II.** Sensores infravermelho-próximo (NIR): estes sensores adquirem imagens no comprimento de onda entorno de 850nm. Diferentemente das câmeras de imagem do espectro visível o sensor NIR oferece informações que não podem ser percebidas a olho nu. Como aplicabilidade pode ser identificadas áreas de vegetação com estresses hídricos e desenvolvimento de biomassa.
- III.** Sensores Red-Edge: estes sensores trabalham próximos ao comprimento de onda da cor vermelha, 700nm (Red-Edge). São sensores sensíveis às alterações do teor de clorofila das plantas e detectam com maior precisão a clorofila nas faixas de 690 nm a 750 nm. Sua usabilidade pode ser para estimar teores de pigmentos de clorofila, índice de área foliar, detecção de estresse hídrico, dentre outros.
- IV.** Sensores Multiespectrais e Hiperespectrais: são sensores que registram imagens em várias faixas de comprimento de onda, sendo que pode ter faixas dos espectros visíveis, infravermelho próximo, Red-Edge, entre outros.
- V.** Sensores termais: estes sensores conseguem capturar a energia na faixa do infravermelho que são emitidas pelo alvo. Sua aplicação pode ser para determinar a fluorescência, temperatura e banda estreita para determinar estresse hídrico.

### 2.3 MOSAICAGEM

A crescente utilização de VANTs para obtenção de fotografias aéreas digitais estimula a criação de mosaicos, que é uma técnica de união homóloga de duas ou mais imagens, sendo que um dos métodos mais simples de mosaicagem é o do vizinho mais próximo. Tal recurso é utilizado quando uma única imagem não é capaz de cobrir toda uma área de interesse, ou seja, é um método de recriação do local. Portanto, o emprego desta técnica é fundamental para fazer o mapeamento de áreas extensas ocupadas por culturas agrícolas (CHAVES et al., 2015).

Zanetti, Gripp Junior e Santos (2017) dizem que a ortorretificação é o método de aprimoramento geométrico da imagem, das distorções provocadas pelo relevo e conjunto ótico do sensor, resultando o ortomosaico.

Segundo Wolf e Dewitt (2000), o objetivo do mosaico é dar apoio ao usuário no estudo de áreas de interesse (em uma área rural identificar falhas de plantio, analisar estado fisiológico da cultura, em uma área urbana identificar quantidades de prédios, dentre outros).

Os mosaicos podem ser classificados em três tipos (WOLF; DEWITT, 2000):

- I. Mosaico não controlado: São mosaicos mais simples, construídos através da união de fotografias próximas e não utiliza pontos de apoio. Normalmente são mosaicos de preparo rápidos quando comparado com as outras classes, porém, quanto maior a quantidade de imagens utilizadas para criar o mosaico maior será o tempo de processamento, pois o algoritmo terá maior dificuldade de reconhecer os pontos em comum. E, ainda, estes mosaicos não possuem a mesma acurácia dos mosaicos controlados.
- II. Mosaico semicontrolado: Este tipo de mosaico pode ser obtido pelo uso de pontos de controle no solo e não utilização de aplicação do processo de retificação de imagens ou pelo uso de imagens retificadas e planificadas, mas sem uso de pontos de controle no solo. Neste método os pontos de controle podem ser produzidos com as coordenadas geográficas de cada foto, latitude e longitude. Portanto, esta técnica é intermediária entre acurácia e economia de processamento e maior rapidez na sua construção.
- III. Mosaico controlado: Esta técnica é a mais precisa e acurada. O mosaico é obtido através de imagens retificada e método específico de mosaicagem, de modo a gerar uma imagem ampla que corresponda a uma fotografia aérea vertical. Os pontos de controle nas imagens são sobrepostos com os seus homólogos delimitando a posicionamento das fotos no processo e habilitados para escala equivalente como as imagens retificadas, com isso tem-se uma maior acurácia.

## 2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Processamento digital de imagens (PDI) é uma ferramenta computacional que pode ser compreendido como um conjunto de processos capazes de evidenciar determinados aspectos naturais, o qual gera um banco de dados que pode ser utilizado em demais processamentos (MENESES; ALMEIDA, 2012). Portanto, o principal objetivo do PDI é auxiliar na extração de informações, sendo uma ferramenta fundamental durante o processo de interpretação de imagens.

A transformação em imagens de melhor qualidade espectral e espacial, e tornando-se adequada para aplicação faz parte do processamento digital de imagens, que utiliza operações matemáticas dos dados para sua execução, isto implica que cada operação é específica para determinada situação. Para melhor aproveitamento e extração de informações contida nas imagens o usuário deve ter maior entendimento sobre a formulação matemática e/ou estatística do algoritmo, assim como os variados métodos para processamento de imagens e transformações que são processadas nas imagens. Vale ressaltar que o processamento da imagem e a representação não são fidedignas 100% a reprodução do local, portanto é necessária a interpretação e análise dos dados por parte do usuário (GONÇALVES; MITISHITA, 2016; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Queiroz e Gomes (2001) dizem que o processamento digital de imagens pode ser desmembrado em etapas, inicia-se com a obtenção das imagens, prosseguindo por um pré-processamento, segmentação, representação e descrição e, por último, reconhecimento e interpretação.



As técnicas de classificação de atributos extraídos de imagens digitais é um procedimento importante, pois gera resultados que são a base para diversas aplicações ambientais e socioeconômicas. Ainda de acordo com Freitas e Panher (2011), essa técnica é importante para encontrar padrões e objetos homogêneos os quais são aproveitados para mapear regiões da superfície terrestre.

Esta metodologia pode ser utilizada para eliminação de ruídos e/ou informações irrelevantes contidas nas imagens, ainda outros métodos que transformam o aspecto de representação dos dados das imagens tendo como propósito reduzir a complexidade computacional exigida para classificar as imagens (QUEIROZ; GOMES, 2001).

Em análises morfológicas a segmentação é um atributo grandemente usado. A segmentação consiste em separar a imagem em zonas ou objetos que a constituem, esta técnica juntamente com outras ferramentas permitem separar a área de interesse da imagem de outros dados desnecessários para classificação (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Meneses e Almeida (2012) confirmam que é vantajoso a utilização do processamento de imagens com imagens obtidas a partir de sensores multiespectrais, pois é possível usufruir do princípio de operações aritméticas como soma, subtração, multiplicação e divisão para a transformação dos dados através de associação de imagens que produz uma imagem diferente da inicial, além de outras funcionalidades. Este processo necessita pelo menos duas bandas obtidas pelo mesmo tipo de sensor tem como método a aplicação em cada pixel por meio de operações matemática pré-definida. Pode-se dizer que a soma e a multiplicação são utilizadas com o objetivo de destacar semelhanças espectrais entre duas ou mais imagens de bandas diferentes, ao passo que a subtração e a divisão são empregadas para destacar desigualdade espectrais do objeto analisado (LEITE; SENA; SANTIAGO NETO, 2012; ESQUEF; ALBUQUERQUE, Márcio; ALBUQUERQUE, Marcelo, 2003).

Algumas operações podem levar a ocorrer perdas de informações quando os valores novos excederem o trecho que compreende os números digitais ou torna-se números fracionários. Em imagem de 8 bits os valores maiores que 255 são saturados em 255 e, da mesma forma, os valores negativos são saturados em 0, isto é necessário para preservar a imagem em 8 bits (MENESES; ALMEIDA, 2012).

## 2.5 NDVI – ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

O processo de transformação é necessário para calcular os índices de vegetação que usa os dados espectrais transformados, ou seja, resultado dos cálculos. No sensoriamento remoto a utilização de índices de vegetação tem sido uma técnica amplamente usada por vários benefícios e facilidade no estudo da área de interesse como a indicação da presença de vegetação, as condições e saúde da

cultura, dentre outros. O êxito de sua aplicabilidade se constitui pelo fato que a produção de massa vegetal tem associação com a quantidade de energia de luz absorvida (ZHOU; ZHONG, 2020; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Rouse et al. (1974) propôs o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), sendo um dos primeiros índices de vegetação estudados que pode ser criado por meio da obtenção de imagens multiespectrais. O NDVI funciona porque quando a luz solar atinge a vegetação ocorre acentuada absorção por conta da clorofila no comprimento de onda do vermelho (0,63 – 0,70 µm) e por uma intensiva energia refletida no comprimento de onda do infravermelho próximo (0,75 – 0,90 µm) originada pela estrutura celular das folhas. Este índice considera a diferença entre os valores refletidos da banda do infravermelho próximo (NIR) e da banda do vermelho (RED), normalizada pela soma dos mesmos valores (GALVÍNCIO, 2019).

O NDVI demonstra forte sensibilidade à resposta espectral da vegetação verde, ou seja, à quantidade de clorofila. Ele tem sido muito utilizado para monitoramento agrícola, pois consegue estimar biomassa, avaliar o estado da vegetação, analisar estágios de crescimento das culturas, dentre outros usos. Vale ressaltar que o uso do NDVI é para o auxílio em diversas atividades agrônômicas, porém a análise direta do engenheiro agrônomo ou do produtor em campo é fundamental para tomar as decisões necessárias e adequadas de manejo (SILVA, V et al., 2019; XUE; SU, 2017).

Portanto, Rouse et al. (1974) propôs que o NDVI pode ser expresso pela fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Onde:

NDVI - valor do índice de vegetação da diferença normalizada  
NIR - valor da refletância na faixa do infravermelho próximo  
RED - valor da refletância na faixa do vermelho

Os valores do NDVI podem variar entre -1 e 1, sendo que valores entre -1 e 0 indicam um objeto inanimado ou morto (plantas mortas, estradas, corpos d'água, edifícios, etc.), pois reflete o vermelho e o infravermelho próximo praticamente na mesma intensidade, conseqüentemente o valor do NDVI será próximo de zero. Já valores entre 0 e +1 indicam presença de vegetação, sendo que uma vegetação sadia terá valor próximo de 1, pois absorve mais na faixa do vermelho e reflete mais na faixa do infravermelho (ROUSE et al., 1974).

## 2.6 CULTURA DA SOJA

A soja é uma oleaginosa herbácea, de caule ereto e possui ramificações, e sua altura varia de 0,30 a 2,00 m. Ela é considerada uma planta autógama e de ciclo anual. O ciclo é dividido em fase vegetativa, a qual inicia no período da emergência da plântula até a abertura das primeiras flores, e fase reprodutiva, desde o período do início da floração até a maturidade. Seu sistema radicular é pivotante, onde ocorre formação de nódulos por conta de bactérias fixadoras de nitrogênio do ar atmosférico. As cultivares mais precoces tem ciclo médio de 75 dias e as tardias em média 200 dias, podendo ter alguma alteração devido influências das condições ambientais da região e/ou cultivar utilizada (MÜLLER, 1981). Quanto aos frutos são do tipo vagem, achatados, pubescentes, deiscentes, com coloração variando desde cinza-claro a amarelo-palha, conforme as características da cultivar (SEDIYAMA et al., 1985).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2013), os fatores genéticos determinam as características de exigências nutricionais, assim como o potencial de exportação da soja, mas outros fatores como fertilidade do solo, manejo cultural e climáticos também influenciam. A Tabela 1 demonstra as quantidades de nutrientes extraídas e exportadas para cada tonelada de grãos produzida pela cultura da soja.

Tabela 1 - Quantidade absorvida e exportação de nutrientes pela cultura da soja

Parte da planta	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	g/Kg ou Kg/tonelada de grãos						mg/Kg ou g/tonelada de grãos						
<b>Grãos</b>	51	10,0	20	3,0	2,0	5,4	20	237	10	70	30	5	40
<b>Restos culturais</b>	32	5,4	18	9,2	4,7	10,0	57	278	16	390	100	2	21
<b>Total</b>	83	15,4	38	12,2	6,7	15,4	77	515	26	460	130	7	61
<b>Exportação(%)</b>	61	65	53	25	30	35	26	45	38	15	23	71	66

Obs.: à medida que aumenta a matéria seca produzida por hectare, a quantidade de nutrientes nos restos culturais da soja não segue modelo linear.

Fonte: EMBRAPA (2013).

O potássio tem função essencial na planta como ativador de enzimas existentes nos processos de respiração e fotossíntese, translocação de açúcares, fixação biológica de nitrogênio e, ainda, age como regulador de potencial osmótico celular (TAIZ; ZEIGER, 2013). O potássio também é importante no controle de antracnose, doenças de final de ciclo e doenças fúngicas tais como cretamento foliar, cancro da haste, mancha púrpura da semente (MASCARENHAS et al., 2004).

Segundo o nitrogênio, que é fixado simbioticamente, o potássio é o nutriente em maior quantidade absorvido pela soja. Uma adversidade encontrada é que os solos brasileiros principalmente do Cerrado são pobres em teores de potássio, portanto se faz necessário a utilização de adubos potássicos, pois sem esta operação não haverá quantidade suficiente para suprir a necessidade da soja e sua produtividade será prejudicada. Em solos de baixa CTC outra adversidade que ocorre é o

problema de lixiviação, que acarreta na diminuição da disponibilidade deste nutriente para a planta (EMBRAPA, 2013; VILELA; SOUSA; SILVA, 2004).

A deficiência de K prejudica a atividade de algumas enzimas e reflete na parte externa da planta com manchas cloróticas nas folhas, retenção foliar, hastes verdes, e nos frutos a ocorrência de partenocárpia (FURLANETTO et al., 2018).

Segundo Malavolta e Usherwood (1984) ao estudarem o índice salino de variados adubos demonstram que o cloreto de potássio (KCl) contém maior valor (116,3). Os autores destacam que altas doses de potássio próximo às raízes podem provocar atrasos ou a não germinação e emergência das plântulas, conseqüentemente ocorre redução na população de plantas. De acordo com Malavolta (1980), o uso de altas doses de KCl no solo pode provocar na planta sintomas de clorose e necrose nas folhas, assim como diminuição da produção por conta do acúmulo de Cl no tecido vegetal.

## 2.7 USO DO NDVI NO ESTABELECIMENTO DA SAÚDE DA SOJA

As folhas saudáveis tem maior reflectância na região do infravermelho próximo, isto se dá pela alta dispersão e baixa absorção nesta faixa do espectro na planta por conta da parede celular e descontinuidade entre espaços aéreos (DAS et al., 2013). Plantas afetadas por doenças geralmente apresentam crescimento reduzido e sintomas de amarelecimento, que proporcionam contraste na resposta espectral em relação às saudáveis (SEIXAS et al., 2020).

Segundo Mfuka, Zhang e Byamukama (2019) em seu estudo sobre saúde da soja sob ataque de mofo branco usaram o NDVI a fim de detectarem áreas em que a cultura estava sadia e não sadia, os autores expõem que valores acima de 0,45 indicam que a cultura está saudável.

De acordo com Das et al. (2013), após dois anos consecutivo de estudo sobre o ataque do vírus do mosaico amarelo em soja concluíram que os valores NDVI de 0,8451 e 0,8707 correspondem as plantas sadias, enquanto que os valores 0,4457 e 0,5734 representam as plantas infectadas. Os autores ainda afirmam em relação às plantas doentes que esta diferença alta de valores de um ano para outro pode ter sido causada pelas tensões ambientais naturais sofridas por elas.

O trabalho desenvolvido por Santos Junior et al. (2002) veio agregar aos citados anteriormente, neste relacionou-se os valores do NDVI com plantas de soja sadias e atacadas com nematoides (*Heterodera glycines*). Os resultados corroboram com o esperado uma vez que as plantas atacadas foram influenciadas à resposta espectral por apresentarem menor volume de biomassa, enquanto que as plantas sadias demonstraram maiores valores do NDVI. A Tabela 2 expõe esta relação.

Tabela 2 - Densidade populacional de *Heterodera glycines* por 50 cm<sup>3</sup> de solo, pesada matéria fresca (PMF) em gramas, número de vagens por planta e índice vegetativo com diferença normalizada (NDVI), em lavouras de soja (*Glycine max*) no Município de Florínea, SP

Cistos viável/ 50cm <sup>3</sup> de solo	PMF	Vagens/Planta	NDVI
0	122,30	71	0,821
0	158,1	63	0,881
2	49,2	28	0,493
4	104,10	67	0,815
6	86,3	46	0,592
8	66,10	45	0,696
12	33,06	22	0,308
23	28,00	17	0,415
56	23,70	16	0,154

Fonte: Santos Junior et al. (2002), adaptado.

Ferri, Formaggio e Schiavinato (2004) utilizaram imagens hiperespectrais, de soja cultivada em estufa a fim de determinar características fenológicas, saúde e vigor da cultura. As plantas desenvolveram-se normalmente durante todo ciclo. Os resultados do NDVI encontrado em cada um dos estágios foram dispostos na Tabela3.

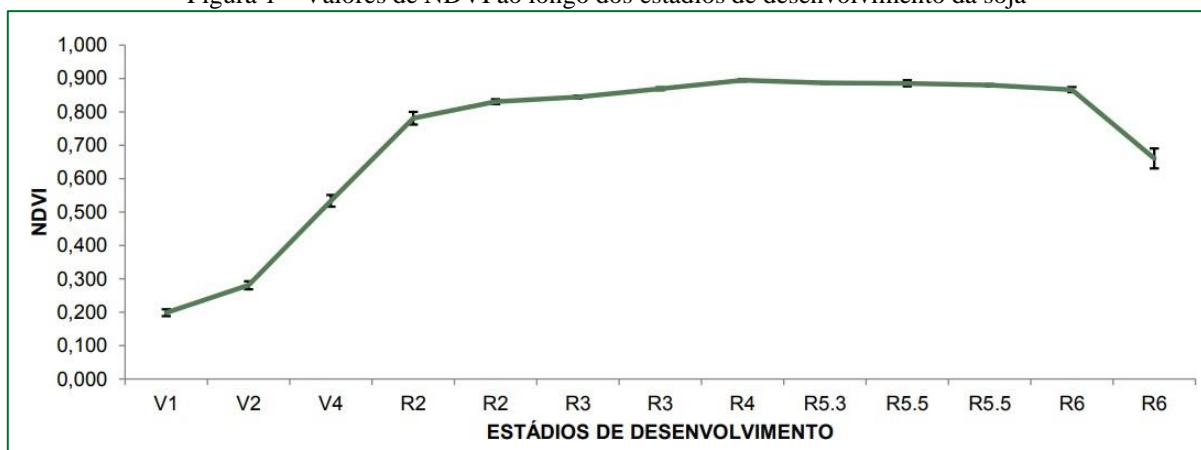
Tabela 3 - Valores médios do NDVI nos diferentes estágios fenológicos da soja

Estágio	VC	V1	V2	V3	V5	R2	R4	R5	R6	R7	R8
NDVI	0,41	0,42	0,84	0,83	0,84	0,85	0,86	0,85	0,79	0,70	0,37

Fonte: Ferri, Formaggio e Schiavinato (2004), adaptado.

No início do ciclo da soja os valores de NDVI são menores e ficam em torno de 0,2 e conforme a planta vai se desenvolvendo os valores vão aumentando, sendo que quando se encontra em pleno desenvolvimento, próximo a floração, tem-se valores próximos a 0,8. Já no fim do ciclo os valores começam a diminuir (Figura 1) (CRUSIO et al., 2013).

Figura 1 – Valores de NDVI ao longo dos estádios de desenvolvimento da soja



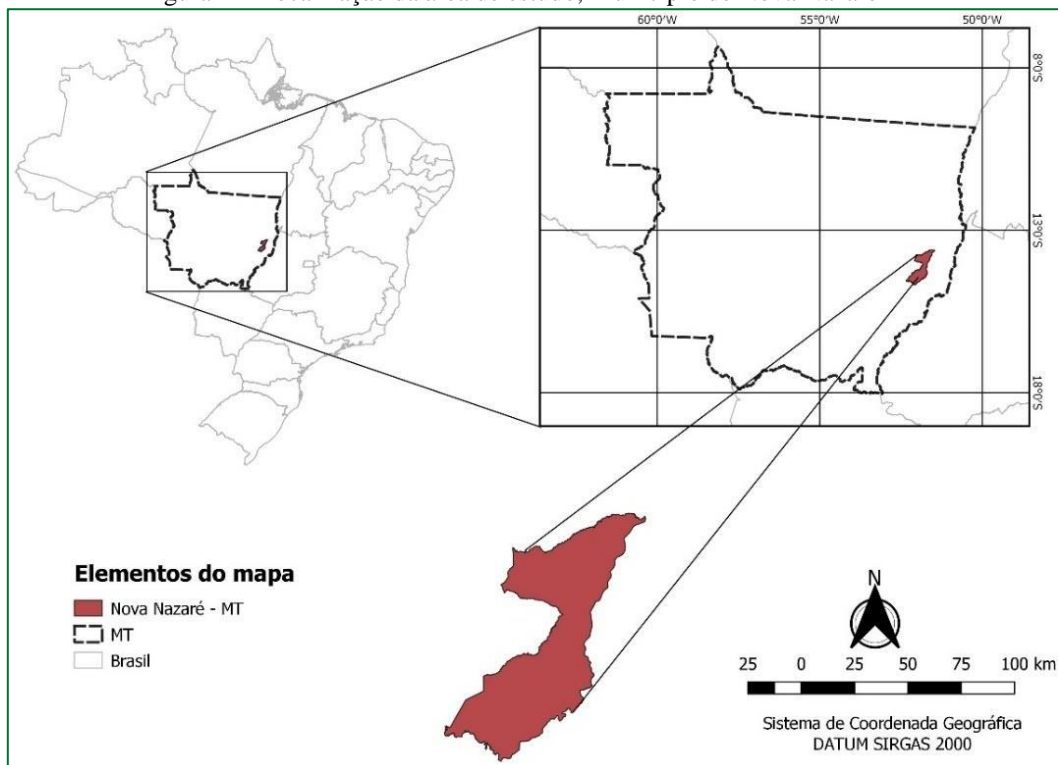
Fonte: Crusiol et al. (2013).

### 3.1 IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A pesquisa apresentada neste trabalho se baseia em estudo de caso realizado no nordeste mato-grossense, localizado no município de Nova Nazaré, microrregião de Canarana (Figura 2). O município apresenta área territorial 4.034,539 km<sup>2</sup>, e sua população estimada é de 4.013 pessoas, a densidade demográfica é de 0,75 hab/km<sup>2</sup> (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2021).

Tendo como centro da área estudada as coordenadas 13°46'57,85"S e 51°42'4,73"O, altitude de aproximadamente 268 metros e precipitação anual média de 2000 mm, onde nos meses de dezembro a fevereiro ocorre maiores intensidades e temperatura média anual 24°C, variando anualmente entre 40°C e 4°C. Foram instaladas 5 áreas, durante o ano agrícola 2017/18, perfazendo uma área total de 706,81ha com a cultura da soja que estavam no estágio de desenvolvimento entre R5.4 e R5.5.

Figura 2 – Localização da área de estudo, Município de Nova Nazaré-MT



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.2 VANT E CÂMERA

No levantamento aerofotogramétrico foi utilizado um VANT multirotor de 6 hélices (Figura 3), juntamente com controladora pixhawk modelo X800 da empresa Xfly Tecnologias.

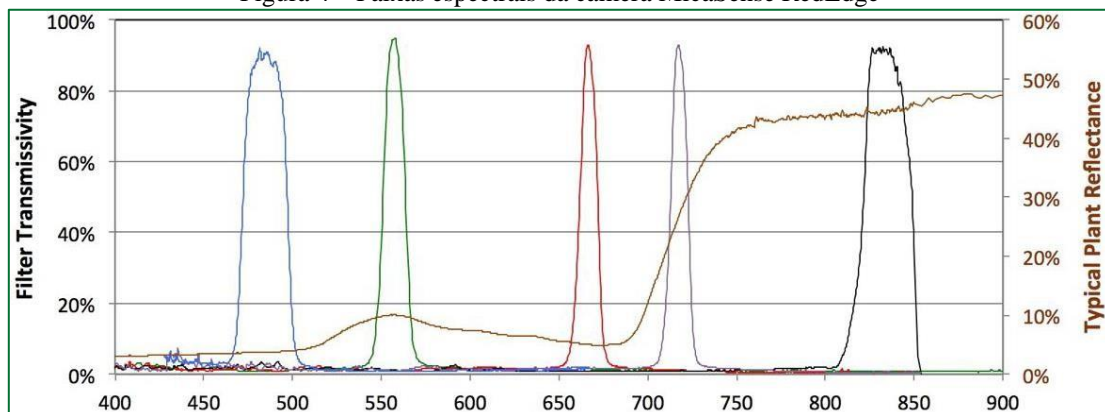
Figura 3 – VANT multirotor de 6 hélices



Fonte: Neves (2018).

A câmera utilizada para obtenção das fotografias do presente trabalho foi a MicaSense RedEdge. Esta câmera é adaptável para VANT, possui peso de aproximadamente 150 gramas e sua dimensão é 9,4 cm x 6,3 cm x 4,6 cm. O tamanho do seu pixel é de 8,2  $\mu$ m e faz captação simultânea de cinco bandas espectrais, sendo azul, verde, vermelha, infravermelho próximo (NIR) e RedEdge, que possuem como comprimentos de onda central de 475 nm, 560 nm, 668 nm, 840 nm e 717 nm, respectivamente, conforme consta na Figura 4. O uso deste sensor tem aplicabilidade na agricultura, uma vez que é possível caracterizar a vegetação e utilizar os dados para classificação de uso e ocupação da área.

Figura 4 – Faixas espectrais da câmera MicaSense RedEdge



Fonte: MicaSense (2017).

### 3.3 PLANO DE VOO

Para o planejamento e acompanhamento de voo utilizou o programa Mission Planner. Adicionou os polígonos referentes as áreas de interesse, utilizando sobreposição lateral de 65% e sobreposição longitudinal de 75% e altitude de voo de 350 m. O tamanho do Ground Sample Distance (GSD) planejado foi de 23,86 cm.

Foram programados 5 voos e realizados no dia 15/02/2018. O primeiro voo teve duração de 26 minutos, o segundo 26 minutos, o terceiro 13 minutos, o quarto 14 minutos e o quinto 26 minutos. Todos os voos tiveram duração aproximada de 3 horas.

### 3.4 CONSTRUÇÃO DO ORTOMOSAICO

O software fotogramétrico digital utilizado no processo de geração dos ortomosaicos foi o Agisoft Metashape Professional, versão 1.6.3. Tal software, de origem russa, tem sido utilizado amplamente na fotogrametria terrestre, pois tem aplicabilidade em SIG's, mensuração de objetos sobre a superfície terrestre, além de proporcionar geração de imagens georreferenciadas de alta resolução e modelo digital de elevação (DEM). Este programa utiliza os dados obtidos pelo GPS agregado com tecnologia de nuvem de pontos, a fim de oferecer resultados com maior precisão.

Serão construídos ao todo 5 ortomosaicos distintos, sendo o procedimento utilizado igual para todos. Para a geração do primeiro ortomosaico foram utilizadas 955 fotografias, obtidas pela câmera Multiespectral MicaSense RedEdge, sucessivamente os outros foram compostos por 1.010, 390, 460 e 1.065 fotografias.

#### 3.4.1 Inclusão das imagens ao projeto

Em “Fluxo de Trabalho” o Agisoft Metashape Professional oferece as opções de adicionar as imagens (Figura 5) de modo a selecionar somente as desejadas ou adicionar a pasta que contém todas as imagens (neste modo não há a possibilidade de selecionar as imagens desejadas, portanto todas as imagens contidas na pasta são adicionadas). Para este trabalho foi escolhido a segunda opção, pois as fotos estavam devidamente organizadas em cada pasta de acordo com cada talhão.

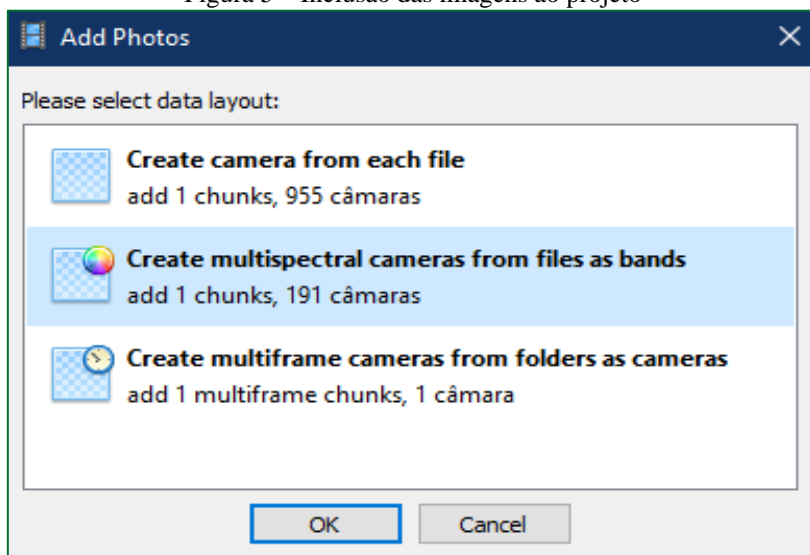
Após a adição das imagens é preciso escolher qual modo de agrupamento a ser trabalhado, foram oferecidas as seguintes opções:

- crie câmera de cada arquivo;
- crie câmeras multiespectrais a partir de arquivos como bandas;
- crie câmeras multiframe a partir de pastas como câmeras;



Escolheu-se a segunda opção de criar agrupamento de câmeras multiespectrala partir dos arquivos de cada banda, uma vez que o objetivo é criar um ortomosaico que contenha todas as 5 bandas espectrais oferecidas pela câmera MicaSense RedEdge.

Figura 5 – Inclusão das imagens ao projeto

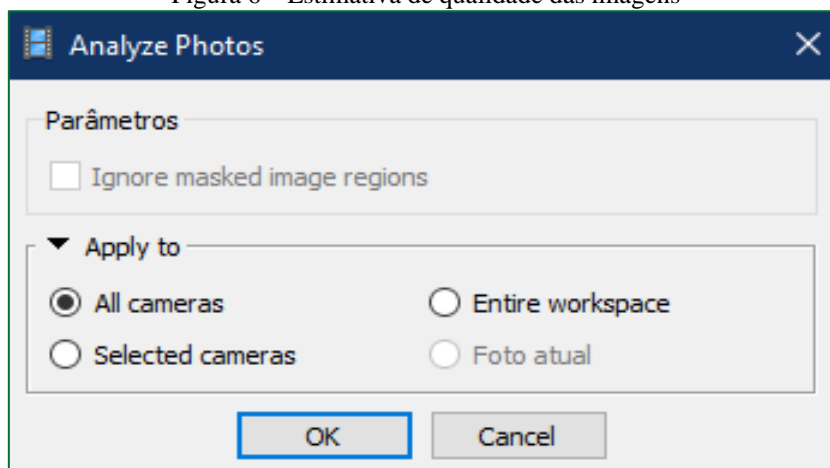


Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.2 Estimativa da qualidade das imagens

Um processo inicial importante é a avaliação da qualidade das fotografias importadas. O software utilizado neste trabalho tem a operação “estimar qualidade de imagens” (Figura 6), onde o fator encontrado pelo software é que valores abaixo de 0,5 são imagens que perderam informações pelo arrastamento de imagens, podendo ser causado pelos fatores como velocidade do VANT, velocidade do obturador e desfocagem da câmera. É recomendado a exclusão destas imagens caso não comprometa a sobreposição.

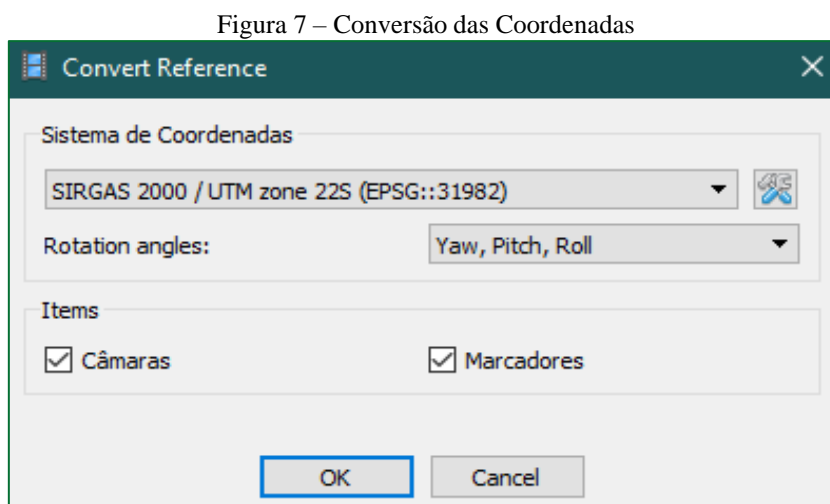
Figura 6 – Estimativa de qualidade das imagens



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.3 Conversão das coordenadas

Outro passo que deve ser efetuado antes da configuração é a conversão das coordenadas para bases cartográficas (Figura 7). Inicialmente o sistema de coordenadas era WGS 84 (EPSG:4326) sendo preciso fazer a conversão através da ferramenta “Converter Referência” para o sistema de coordenadas SIRGAS 2000/UTM zone 22S (EPSG:31982).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.4 Preferências de configurações

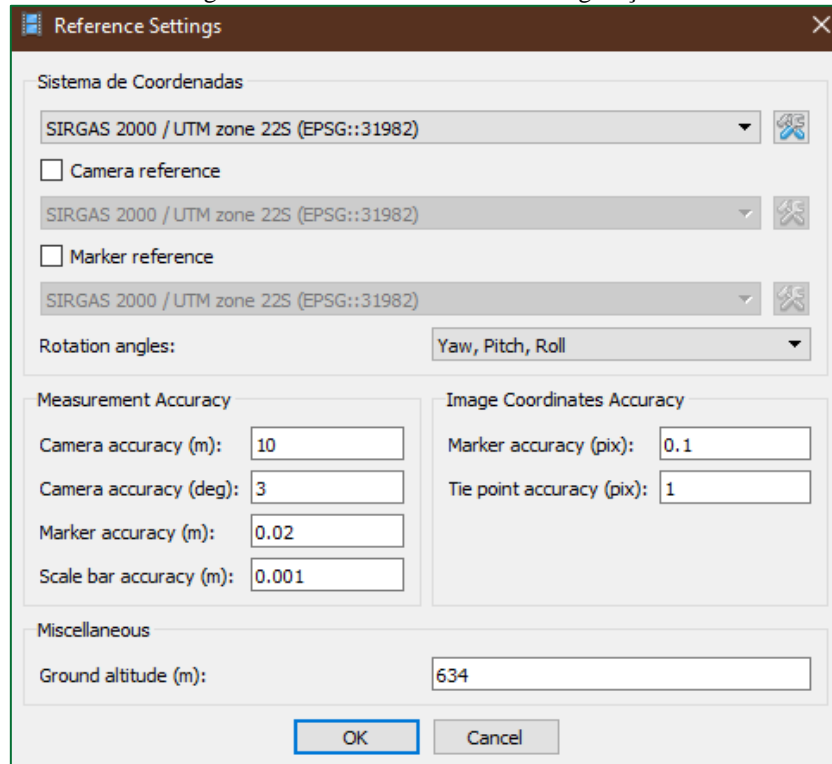
Na ferramenta “Preferencias de Configurações” é importante conferir se o sistema de coordenadas está correto (Figura 8). Os ângulos de rotação foram utilizados tipo “Yaw, Pitch, Roll”.

Na mensuração da acurácia foram adotados os seguintes valores:

Acurácia da câmera: utilizou-se gps de navegação, por tanto a precisão utilizada foi de 10 metros e 3 graus do ângulo de rotação.

Não foram utilizados pontos de apoios, portanto não é necessário demonstrar os valores na caixa referente a acurácia dos marcadores.

Figura 8 – Aba Preferencias de Configurações



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.5 Calibração da câmera

Na ferramenta “Calibração da Câmera” o tipo de câmera utilizada para aquisição das imagens foi de quadros “Frame” (Figura 9).

Quanto ao tamanho do pixel (mm) foi de 0,00375 x 0,00375. Estes valores caso não forem preenchidos automaticamente podem ser encontrados pela relação do tamanho físico do sensor pelo tamanho da resolução da imagem.

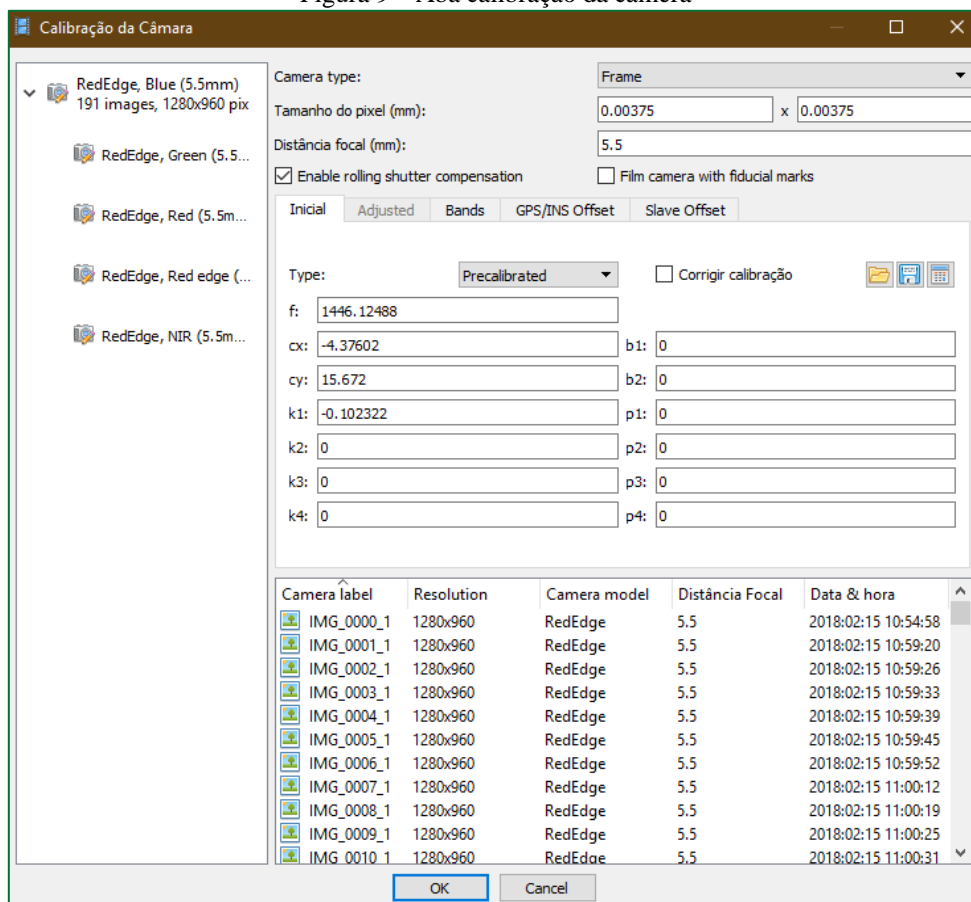
As especificações fornecidas pelo fabricante da câmera utilizada neste trabalho são: Imager Size: 4.8 mm x 3.6 mm; Imager Resolution: 1280 x 960 pixels

$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{4,8 \text{ mm}}{1280} = 0,00375 \text{ mm}$$

$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{3,6 \text{ mm}}{960} = 0,00375 \text{ mm}$$

E, a distância focal da câmera foi de 5,5 mm.

Figura 9 – Aba calibração da câmera



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.6 Alinhamento das fotos

O item “Precisão” está relacionado à precisão da busca de pontos homólogos, onde o software busca pixel a pixel os pontos homólogos das imagens que se sobrepõem, processo também conhecido como piramidação de imagens. O software possibilita usar níveis diferentes, sendo desde muito baixa à muito elevada (Figura 10).

Nível muito baixo: Reamostra o tamanho do pixel num fator de escala de 16x com relação ao original (nível elevado), ou seja, aumenta o tamanho do pixel e diminui a quantidade de pixel da imagem, ocorrendo perda de resolução da imagem.

- **Nível baixo:** Semelhante ao anterior, porém na escala de 8x.
- **Nível médio:** Semelhante aos anteriores, porém ocorre na escala de 4x.
- **Nível elevado:** nível da pirâmide original da imagem, ou seja, trabalha com o mesmo tamanho do pixel e do GSD.
- **Nível muito elevado:** Amplia a escala da foto em 2x, ou seja, reduz o tamanho do pixel trabalhando com o subpixel da imagem.

Para o presente trabalho utilizou-se o Nível Elevado, levando em consideração custo-benefício de tempo de operação da máquina.

Pré-seleção genérica: esta caixa deve ser utilizada quando não há informações do Log de voo. Com esta opção o software faz dois alinhamentos gerando primeiramente um sistema de coordenada 3D e posteriormente utiliza estas informações para alinhá-lo no nível de precisão escolhido, esta opção não significa que gera sistema de coordenadas georreferenciadas, mas apenas um espaço 3D.

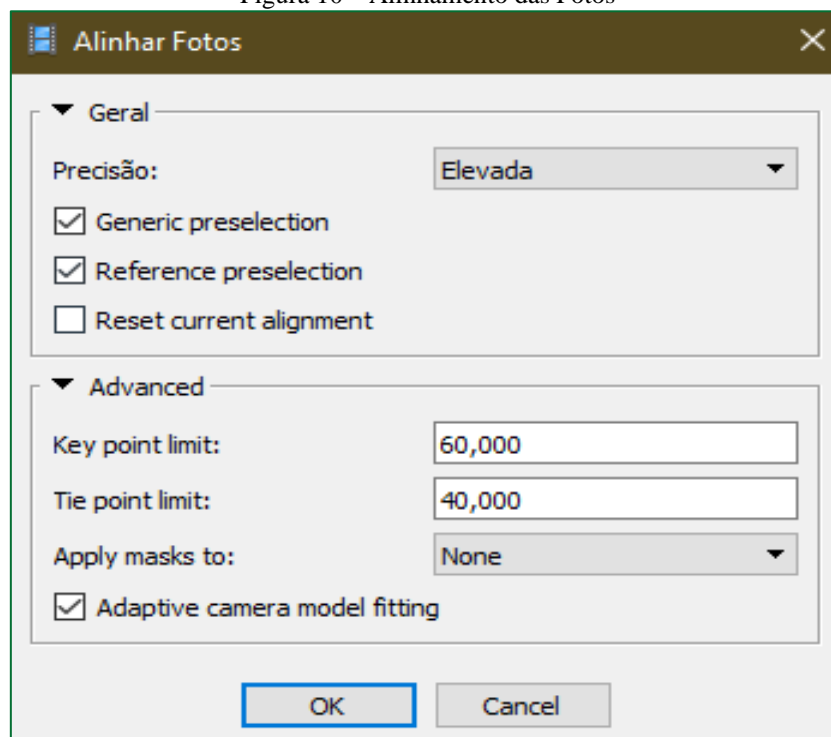
Pré-seleção com referência: esta opção deve ser selecionada quando se tem as coordenadas do Log de voo, com isso o software utiliza as coordenadas do Log para determinar as posições de terreno.

Key Point: são os pixels nas imagens que possuem sobreposição em comum os quais o software consegue fazer correlação. Para o presente trabalho utilizou-se o valor inicial de 60.000.

Tie Point: Pontos fotogramétricos. São os pontos que materializam o sistema de coordenadas de terrenos. Para o presente trabalho utilizou-se valor inicial de 40.000 (Figura 11).

Filtro adaptativo pelo modelo da câmera: O software identifica o modelo e cria um filtro para diminuir os ruídos (pontos criados em lugares errados) na nuvem de pontos.

Figura 10 – Alinhamento das Fotos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 11 – Parâmetros de alinhamento

Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	60,000
Tie point limit	40,000
Filter points by mask	Sim
Mask tie points	Não
Adaptive camera model fitting	Sim

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.7 Eliminação de ruídos

Esta ferramenta é importante para retirar os pontos que foram obtidos de forma errada, consequentemente não possuem uma boa acurácia boa. O software oferece a ferramenta “Seleção Gradual” que seleciona automaticamente os pontos (Figura 12). Esta etapa requer muita atenção visual para não selecionar muitos pontos e excluir deixando a área sem pontos fotogramétricos que por consequência afetará a produção de outros produtos cartográficos.

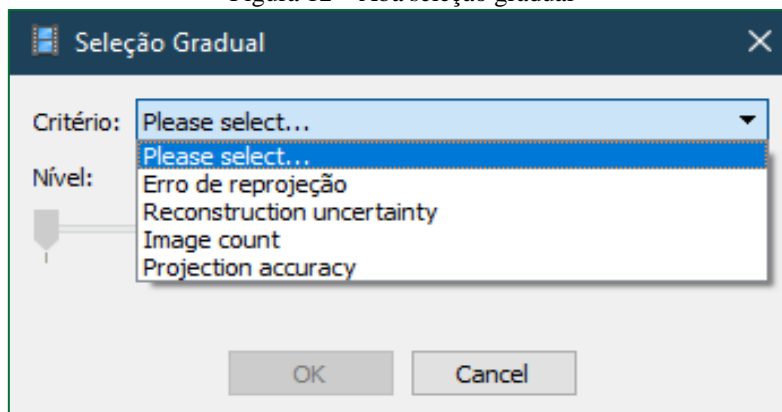
Foram utilizados 3 tipos de critérios:

O primeiro é “Erro de reprojeção”, o nível varia de 0,0 a 0,5. A seleção para esta opção foi de 10% do total de pontos criados, isso deu um valor de 0,359 do nível. Após esta seleção automática fez-se a exclusão destes pontos.

O segundo critério é “reprojeção incerta”, o nível máximo e mínimo varia de um projeto para outro. Assim, como o item anterior, também foi utilizado o nível de selecionar 10% dos pontos total, para este projeto correspondeu ao valor de 23.

O terceiro critério é “Acurácia de projeção”, o nível escolhido foi de 10% dos pontos totais, assim como nos itens anteriores.

Figura 12 – Aba seleção gradual



Fonte: Elaboração do próprio autor.

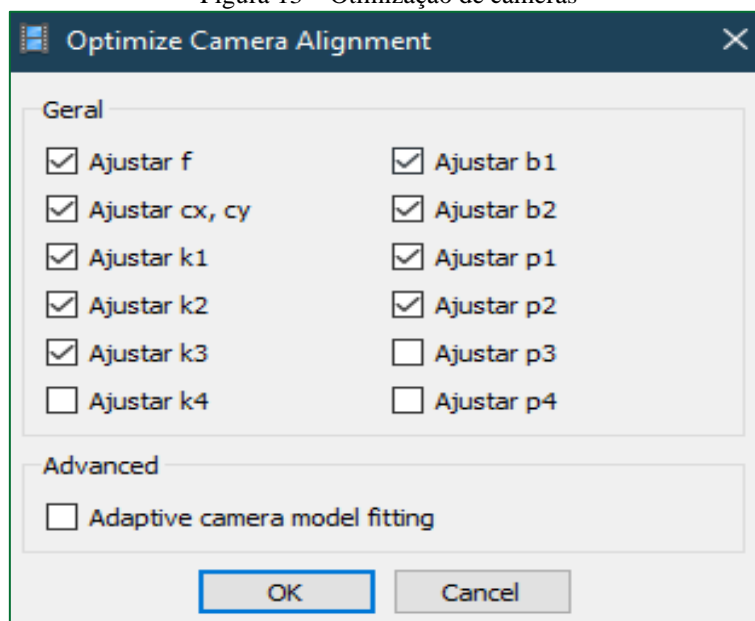
### 3.4.8 Otimização de câmeras

Na ferramenta “Otimizar Câmeras” o software faz o reconhecimento dos parâmetros que precisam serem corrigidos para diminuir os efeitos de distorções e faz a correção através de transformação de sistemas automaticamente (Figura 13). Inicialmente o sistema é tratado como imagem (unidade em pixel) e através de modelos matemáticos ocorre a transformação para sistema fotogramétrico (unidade em metros) onde é feita as correções em que o software aplica os parâmetros de calibração da câmera, posteriormente ocorre a transformação para sistema de terreno.

Os parâmetros para correção encontrados foram:

- $f$ : distancia focal.
- $c_x, c_y$ : intersecção do plano do sensor com eixo ótico das lentes.
- $k_1, k_2, k_3$  e  $k_4$ : referente aos parâmetros de distorções radial simétrica, causados pela curvatura da lente.
- $b_1$  e  $b_2$ : parâmetro de não correlação.
- $p_1, p_2, p_3$  e  $p_4$ : parâmetros de distorções descentrada, causada pelo não alinhamento dos eixos óticos da lente.

Figura 13 – Otimização de câmeras



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.9 Nuvem de pontos densificados

Esta etapa é importante para a geração de outros produtos como Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT) e posteriormente Ortofotomosaico. Cada um destes modelos digitais de elevação gera ortofotomosaicos diferentes, mas tem sua determinação nesta etapa.

Os produtos gerados podem ser Ortofotomosaico Real, o qual tem vista ortogonal dos objetos acima do terreno é gerado através do MDS e demanda maior tempo de processamento, pois necessita de uma nuvem de pontos densificada mais detalhada. E, Ortofotomosaico Convencional, o qual tem vista perspectiva do terreno sem os objetos é gerado através do MDT e é mais simplificado e necessita de uma nuvem de pontos densificados com menos detalhes.

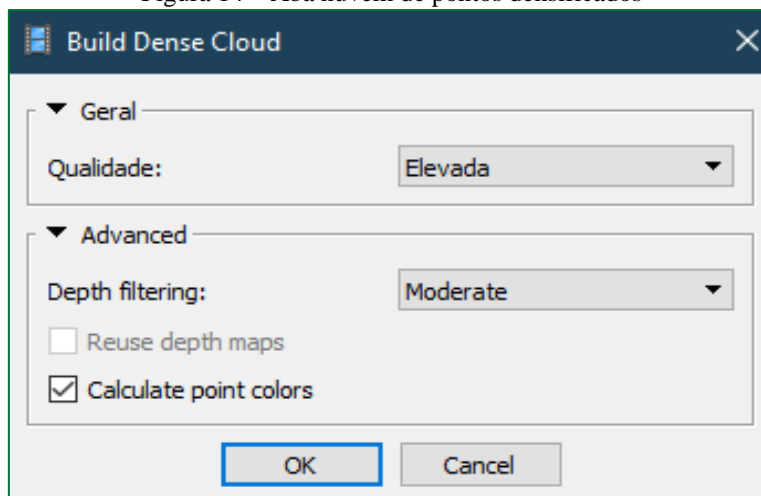
A caixa de ferramenta “Nuvem de Pontos Densificada” oferece 5 tipos de qualidades que estão relacionados à quantidade de pontos por metro quadrado (Figura 14). Onde, para geração de MDS é recomendada utilização da qualidade Ultraelevada ou Elevada. Qualidades inferiores são recomendadas para geração de MDT.

Para a finalidade do presente trabalho utilizamos a qualidade Elevada.

Outra opção oferecida é o “Filtro de Profundidade”, o qual é utilizado para posicionar os pontos em relação a altimetria.

Para uma boa representação altimétrica utilizamos o nível “Moderado”, que é mais recomendado.

Figura 14 – Aba nuvem de pontos densificados



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.10 Modelo digital de superfície

Esta etapa é importante para a geração de representação raster.

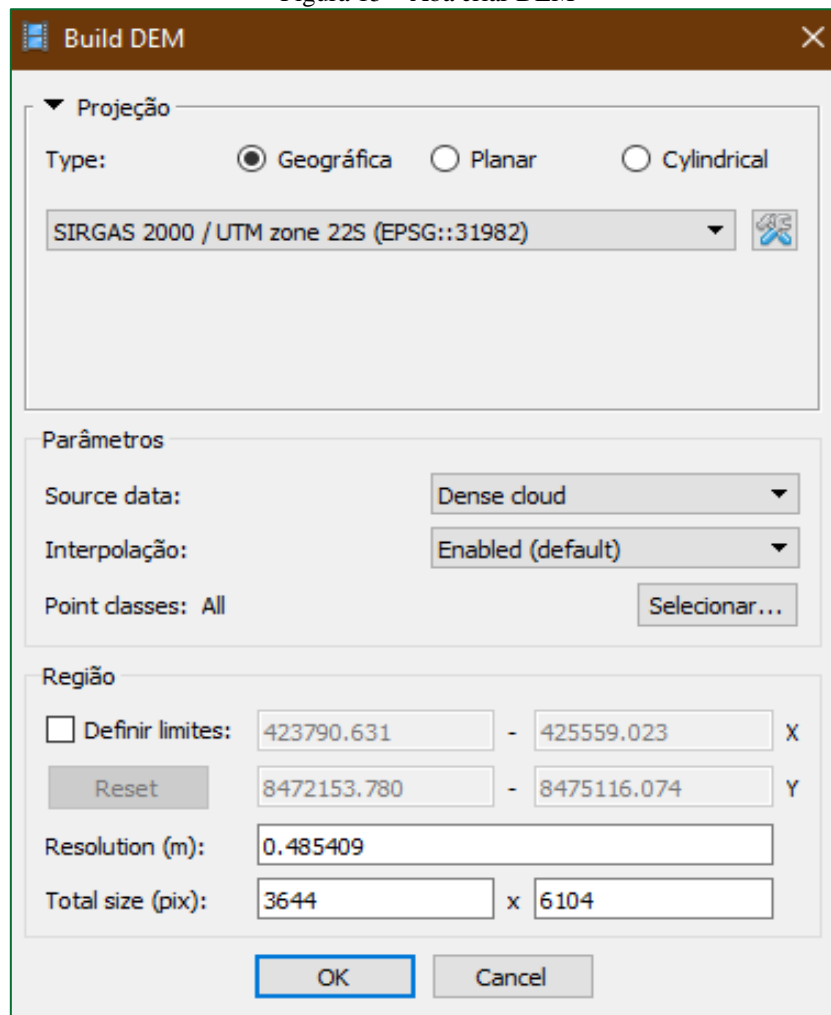
A ferramenta “Modelo Digital de Elevação (DEM)” oferece na janela de configuração a opção de escolha do sistema de coordenadas, o qual deve ser igual ao escolhido no início do projeto, neste caso SIRGAS 2000/UTM zone 22S (EPSG:31982).

Outra opção é “parâmetros” pode-se escolher o tipo de fonte de dados (Figura 15). Para este trabalho foi escolhido como fonte de dados ‘Nuvem de Pontos Densificados’ que oferece maior riqueza de detalhes, conseqüentemente produto de maior qualidade.



Em “Interpolação” foi escolhido a opção ativada.

Figura 15 – Aba criar DEM



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.11 Geração de ortofotomosaico

O software projeta a imagem (pixel) no Modelo Digital de Superfície para fazero processo de ortorretificação que possui escala unitária onde é possível fazer medições de distancias, áreas, ângulos e outros.

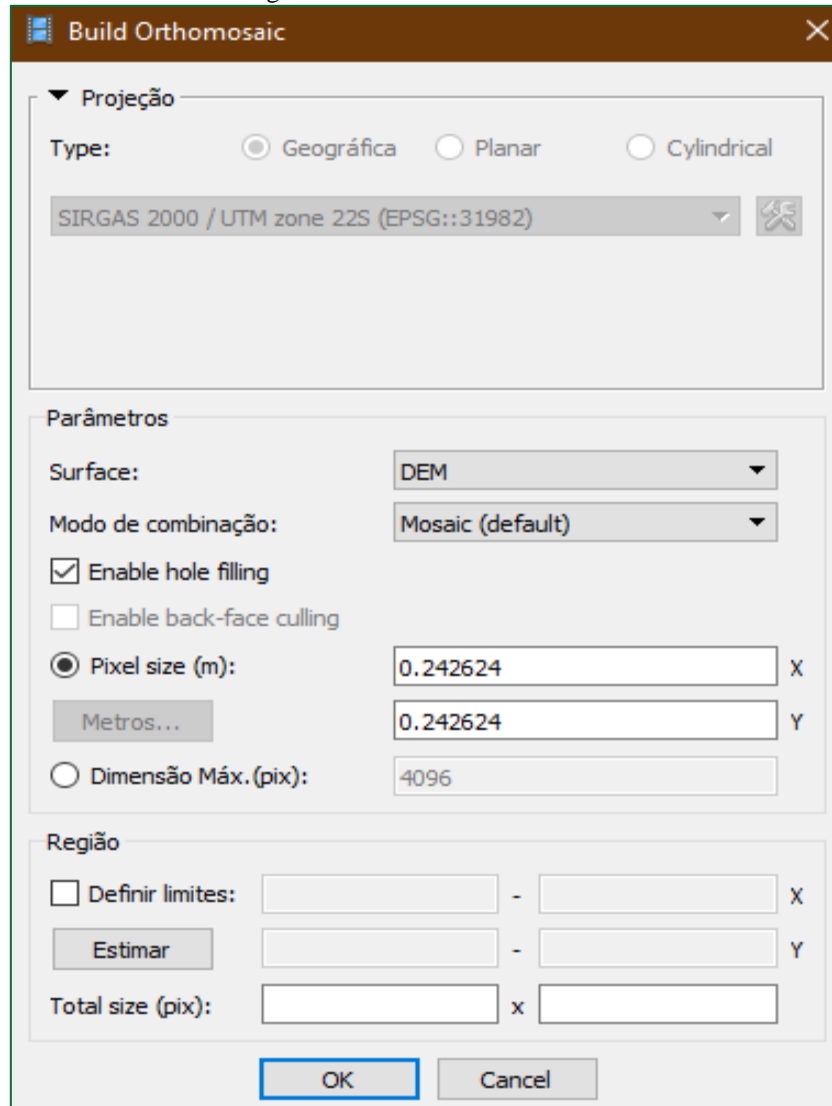
A função de projeção é automaticamente selecionada igual à que foi gerada a MDS, não sendo possível fazer mudanças (Figura 16).

Em Parâmetros a escolha da fonte de superfície foi a MDS.Em modo de combinação foi escolhido a opção Mosaico.

A caixa Correção de Cores, o qual tem função de fazer correções da variação de iluminação, não foi ativada.

A caixa Tampar Buracos foi ativada.

Figura 16 – Aba criar ortomosaico



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.12 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Para a geração do índice de vegetação por diferença normalizada o software oferece a opção de geração automática, porém não é oferecida o suporte para classificação, sendo necessário utilização de outro software.

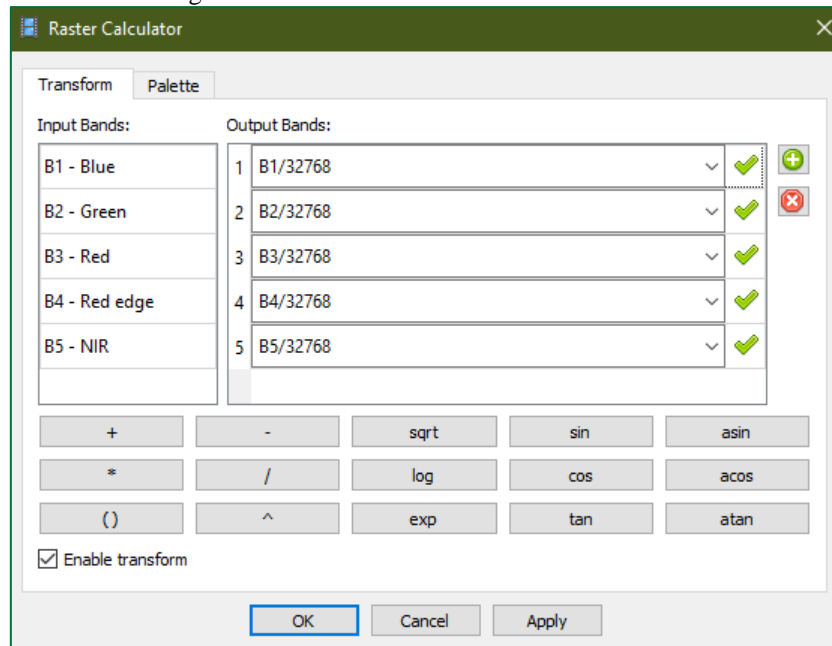
Vale salientar que é muito importante nesta etapa fazer o processamento de calibração de refletância, o qual faz os ajustes para que os valores do raster do NDVI, ao ser exportado, fiquem entre -1 e 1.

Cada pixel possui valores proporcionais à porcentagem (%) de refletância, ou seja, os pixels da imagem que tenham refletância de 100%, corresponderá ao nível de cinza 32768 (MICASENSE, 2017).

Portanto, para obter os valores de refletância normalizada (-1 a 1) é preciso inserir fórmula que dividir cada faixa de comprimento de onda pelo fator de normalização 32768, isto pode ser feito em Ferramentas - Set Raster Transform – Tranform (Figura 17).

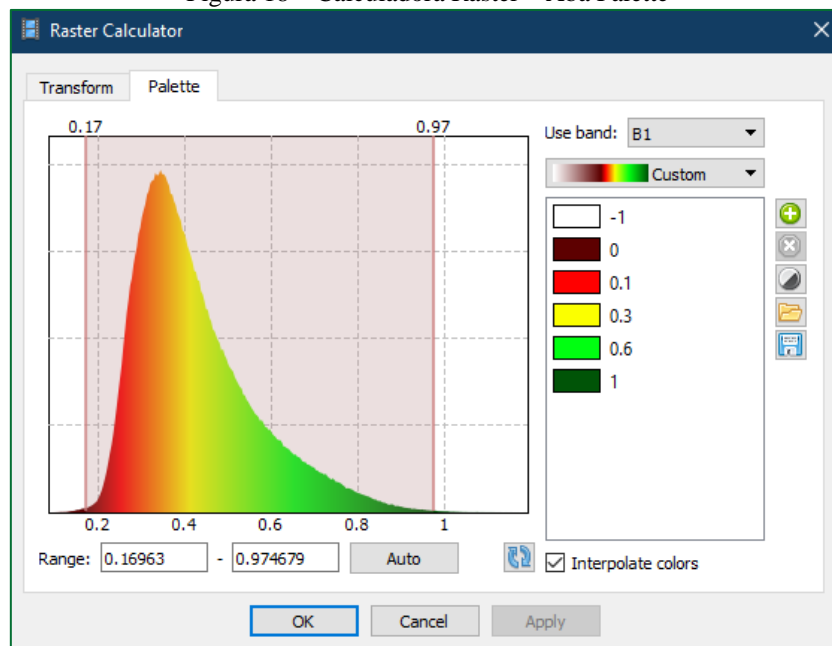
Na aba Palette, fez-se a atualização dos valores e posteriormente clicou-se em auto (ferramenta que o próprio software enquadra os valores). A caixa Interpolate Colors foi acionada (Figura 18).

Figura 17 – Calculadora Raster – Aba Transform



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 18 – Calculadora Raster – Aba Palette



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.4.13 Exportação do raster

Para exportar o raster há duas opções. Uma é clicar com o botão direito sobre o ortomosaico ir em Exportar Ortomosaico-Exportar TIFF, a segunda é ir em Ficheiro-Exportar Ortomosaico-Exportar TIFF.

Na janela que se abre analisa se o sistema de coordenada está de acordo como que foi escolhido no projeto (Figura 19).

Em Transformação Raster há 3 opções, sendo:

- **Nenhuma** – o arquivo exportado carregará os mesmos valores originais de cada banda, ou seja, as fórmulas de transformação do raster não serão incluídas.
- **Valor do Índice** – o arquivo exportado conterá em cada banda os valores definidos pelas fórmulas.
- **Cor do Índice** – o arquivo exportado carregará consigo as cores idênticas da paleta gerada, mas os valores das fórmulas não são exportados juntos.

Levando em consideração a operação do item anterior a este e a finalidade do raster, foi escolhida a opção Valor do Índice.

E, posteriormente, foi feita a exportação do ortomosaico.

Figura 19 – Exportação do Ortomosaico

The screenshot shows the 'Export Orthomosaic' dialog box with the following settings:

- Sistema de Coordenadas:** SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
- Raster:**
  - Pixel size (m): 0.242624 X
  - Metros...: 0.242624 Y
  - Dimensão Máx. (pix): 4096
  - Dividir em blocos (pix): 1024 x 1024
  - Raster transform: Index value
  - Cor de fundo: White
- Região:**
  - Definir limites: 423851.772 - 425433.196 X
  - Reset: 8472214.437 - 8475000.245 Y
  - Total size (pix): 6518 x 11482
  - Escrever ficheiro KML
  - Escrever ficheiro World
  - Write tile scheme
- Compression:**
  - Image description: [Empty field]
  - TIFF compression: LZW
  - JPEG quality: 90
  - Write BigTIFF file
  - Write alpha channel
  - Generate TIFF overviews

Buttons: Exportar..., Cancelar

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.5 QGIS

Para a etapa de gerar NDVI e classificação utilizou-se o software QGIS versão 3.8.1, com GRASS 7.6.1, e o complemento plugin “dzetsaka”. O QGIS é um SIG livre que possibilita visualizar, criar, editar e analisar dados georreferenciados, além de criar mapas a partir de camadas raster para variados usos.

#### 3.5.1 Geração do NDVI

Após a adição do arquivo raster, outra etapa importante é a geração do NDVI. Para a construção de tal utiliza-se a Calculadora Raster, localizada no menu: Raster-Calculadora Raster.

Em Calculadora de Expressão Raster (Figura 20) foi inserida a fórmula para geração do NDVI, sendo as bandas 3 e 5 correspondentes a faixa espectral do Vermelho e NIR, respectivamente. Portanto, a fórmula utilizada foi representada por:

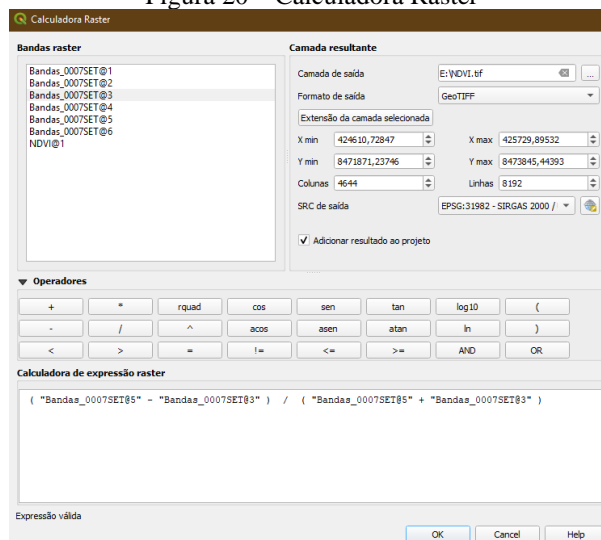
$$NDVI = \frac{(banda5 - banda3)}{(banda5 + banda3)}$$

Na caixa Camada de Saída foi escolhido o destino do arquivo a ser gerado, assim como o nome dado a ele.

Em Formato de Saída, dentre os diversos formatos oferecidos pelo software, foi escolhido GeoTIFF.

Na caixa Extensão de Camada Seleccionada, visto que o software já preenche automaticamente os valores, não foram feitas nenhuma alteração. Assim como o Sistema de Coordenada geográficas.

Figura 20 – Calculadora Raster



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.5.2 Classificação supervisionada

Após as operações acima fez-se o processo de classificação supervisionada de imagem, para esta ação foi utilizado o plugin “dzetsaka”.

#### 3.5.2.1 Criação de shapefile

Em menu Camada-Criar Nova Camada-Nova Camada Shapefile (Figura 21). Primeiramente deu-se o nome ao arquivo sendo denominado Camada\_Classes.shp.

Em seguida, escolheu-se Polígono em Tipo de Geometria.

O Sistema de Coordenadas escolhido foi igual ao do ortomosaico, SIRGAS2000/UTM zone 22S (EPSG:31982).

O próximo passo foi a criação de um Novo Campo, além do id que o software já gera automaticamente, o qual foi denominado Classes.

E por último, foi escolhido o destino onde foi salvo o arquivo.

Figura 21 – Criação camada shapefile

Nome do arquivo: Camada\_Classes.shp

Codificação de arquivo: UTF-8

Tipo de geometria: Polígono

Dimensões adicionais: Nenhum

SRC do projeto (EPSG:31982 - SIRGAS 2000 / UTM zone 22S)

**Novo Campo**

Nome: [ ]

Tipo: abc Dados de texto

Comprimento: 80 Precisão: [ ]

Adicionar campos à lista

**Lista de Campos**

Nome	Tipo	Comprimento	Precisão
id	Integer	10	
Classes	String	80	

Remover Campo

OK Cancel Help

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.5.2.2 Configuração do Plugin dzetsaka

Com a ferramenta dzetsaka aberto, selecionou-se o arquivo raster criado no item 1.5.2 (NDVI.tif) na caixa de camadas, e o arquivo criado no item anterior a este, Camada\_Classes.shp na caixa referente a Shapefile.

Em seguida, selecionou a coluna da tabela de tributos a ser utilizada para a classificação, neste caso foi denominado Classes.

Por último, definiu-se o local onde foi salvo o arquivo raster classificado.

### 3.5.2.3 Classes

Nesta etapa é importante, primeiramente, definir as classes que serão amostradas.

A Tabela 4 traz os níveis de classificação utilizados no presente trabalho. Tais níveis foram tomados segundo os autores Mfuka, Zhang e Byamukama (2019) e Daset al. (2013) que demonstram a saúde da soja.

Tabela 4 - Níveis de classificação da área

ID	CLASSES	VALORES
1	Solo Exposto	$\leq 0$
2	Soja Debilitada	0,1 a 0,45
3	Soja Saudável	$> 0,45$

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.5.2.4 Renderização da banda

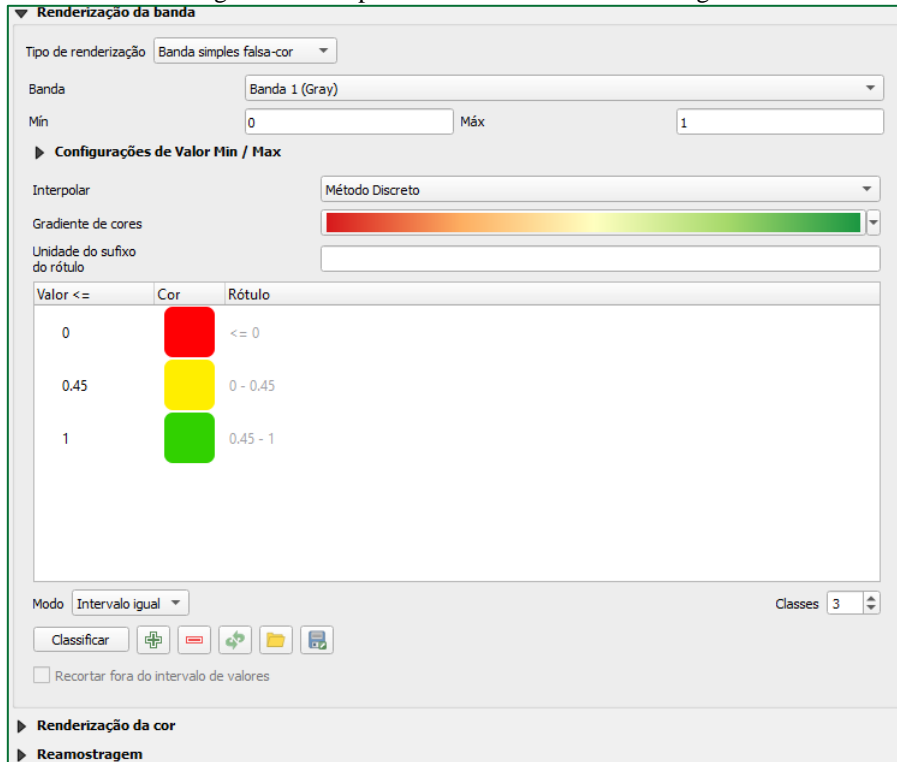
Na caixa Tipo de Renderização selecionou-se Banda Simples Falsa-Cor (Figura 22).

Em Configurações de Valor Min / Max foi escolhido a opção de utilização dos valores mínimo e máximo. Já em Extensão Estatística escolheu-se Raster Inteiro e em Precisão Real (mais lento). Na caixa Interpolação a opção Método Discreto foi escolhido.

Foi criado 3 classes e uma palheta de cores com 3 colorações distintas, sendo os valores -1 a 0, 0,1 a 0,45 e 0,46 a 1,0.

As outras configurações não houve necessidade de serem alteradas, portanto foram deixadas conforme o software informou e aplicou-se estas configurações.

Figura 22 – Propriedades da camada – Simbologia



Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.5.2.5 Classificação

Para que o processo de classificação supervisionada seja feito adequadamente e com precisão, o software precisa reconhecer cada classe. Para isso, necessita de pequenas amostras homogêneas de cada área a ser classificadas.

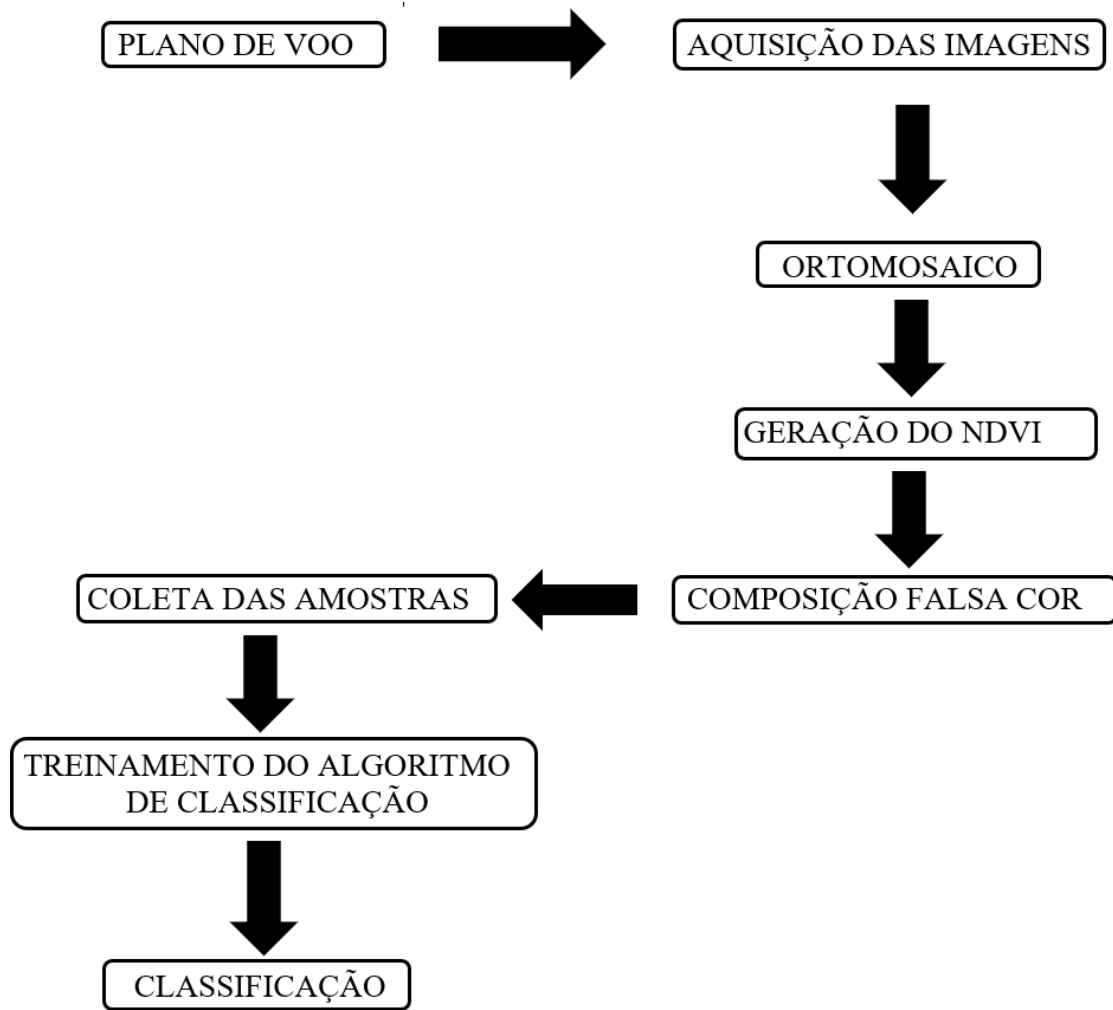
Tais amostras foram feitas através da ferramenta Alternar Edições e Adicionar Polígono, onde foram traçados 10 polígonos para cada uma das classes.

Após a criação de todos os polígonos referentes a cada classe, clicou em Perform the classification para que o software fizesse a classificação automática.

As etapas do trabalho realizado podem ser observadas na Figura 23 que traz a apresentação esquemática dos processos efetuados.



Figura 23 – Fluxograma



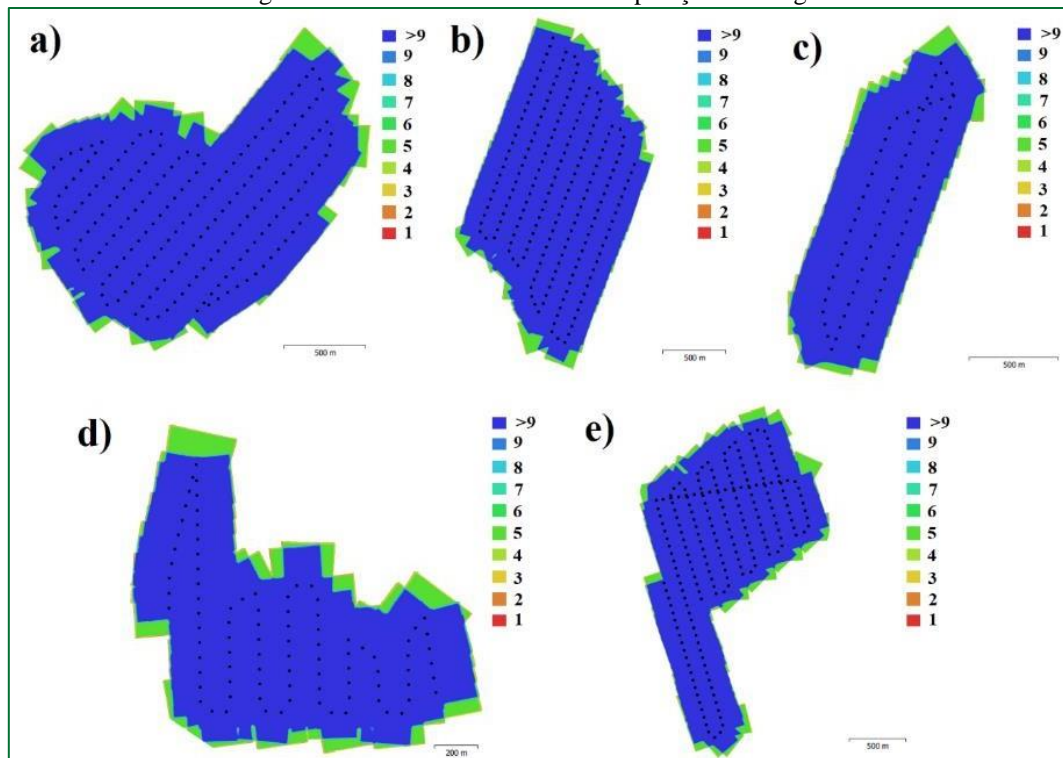
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Foram captadas o total de 3.880 fotografias e recobriu-se uma área de 706,81 hectares, com altura média dos voos de 350 m. As estimativas da qualidade das fotografias obtidas para este trabalho obtiveram valores maiores que 0,5, apresentando valor mínimo de 0,659708 e máximo de 1,28115.

#### 4.1 SOBREPOSIÇÃO

Através dos relatórios gerados pelo Agisoft Metashape Professional foram analisadas as sobreposições de imagens (Figura 24). Observou-se que as cinco áreas de interesse tiveram mais que 9 sobreposições de imagens, resultado esperado pela porcentagem de sobreposição. As bordaduras obtiveram menos sobreposições, tendo entre 5 e 6 sobreposições de imagens, que já é esperado, por isso é necessário fazer um cobrimento maior que a área de interesse.

Figura 24 – Locais de câmera e sobreposição de imagens



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.2 NUVEM DE PONTOS

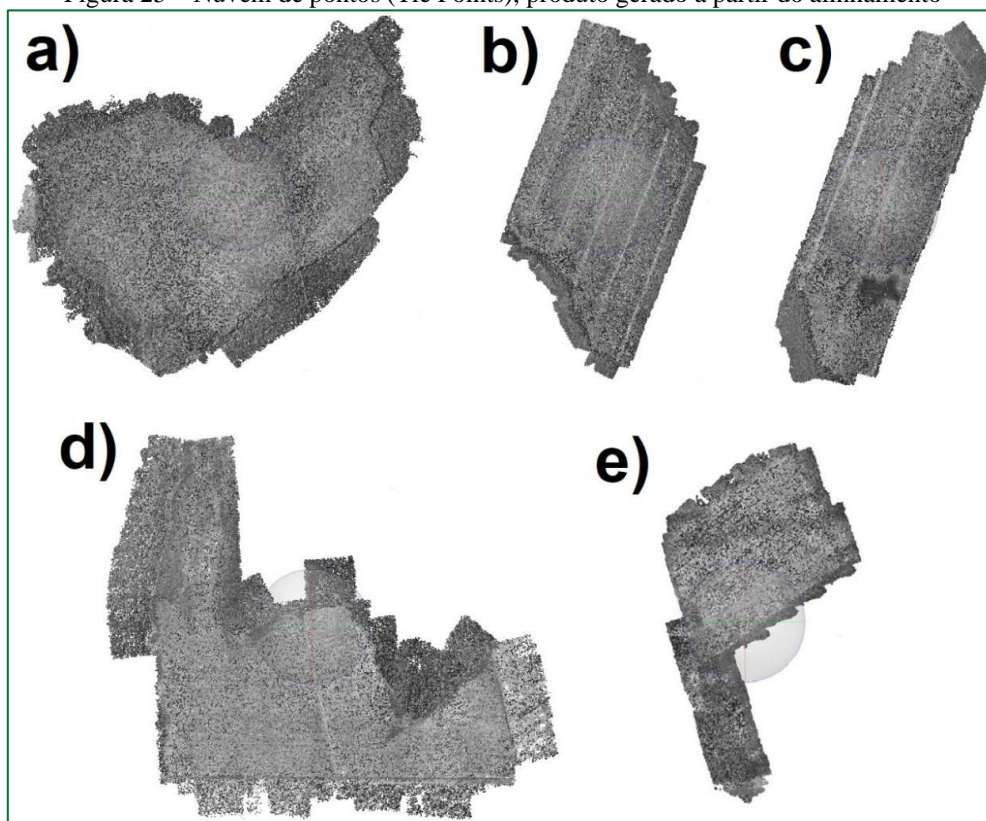
O primeiro produto gerado no processamento das imagens é o alinhamento das ortofotos, em seguida, o segundo produto é a nuvem de pontos densificados gerado a partir do alinhamento.

A qualidade nuvem de pontos é correlativo ao nível de sobreposição frontal e lateral entre as imagens. Para a composição do mosaico em áreas rurais os índices de sobreposição das fotos entre si são indicados 85% de sobreposição longitudinal e de 65% de sobreposição lateral (SILVA, L., 2019).

Os pontos de intersecções das imagens foram gerados de acordo com a configuração, neste trabalho o software procurou por 60.000 pontos homólogos (key points) e destes materializou-se 40.000 pontos (tie points), porém são valores iniciais para o alinhamento das fotos, o produto gerado sempre tem valores de pontos maiores.

Nesta etapa as imagens foram alinhadas e orientadas, observou-se que as sobreposições das imagens foram importantes para que o software reconhecesse os pontos em comum entre as fotografias. O algoritmo identificou os pontos homólogos automaticamente através dos critérios de busca, o qual foi escolhida precisão elevada, encontrando nos 5 processamentos valores altos (Tabela 5). Quanto maior a quantidade de pontos encontrados no processamento de imagens, menor será o erro do georreferenciamento do ortomosaico. Sendo assim, a partir do alinhamento das ortofotos obtidas no imageamento da área de estudo, gerou-se uma nuvem de pontos (Figura 25).

Figura 25 – Nuvem de pontos (Tie Points), produto gerado a partir do alinhamento



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O número de tie points depende da textura e resolução da imagem, dentre outros fatores, sendo que imagens com resoluções altas trará um resultado maior. Com isso, a quantidade de tie points é fundamental para qualidade dos próximos processos, ou seja, quanto mais tie points correspondentes a nuvem de pontos densificada terá mais detalhes e alta densidade por metro quadrado (BICEGO et al., 2006; WESTOBY et al., 2012).

Áreas que possuem contornos, arestas e formatos diversos facilitam a identificação nas imagens resultando em maior quantidade de tie points, por outro lado, áreas que possuem superfícies homogêneas, como áreas agricultáveis dificultam a identificação de tie points, podendo prejudicar a construção da nuvem de pontos densificada, MDS e Ortomosaico (SE; LOWE; LITTLE, 2001; ROMERO et al., 2015).

Tabela 5 - Quantidade de ponto gerados no processo de alinhamento das fotografias

Talhão	Fotografias	Quantidade de pontos (nuvem de pontos)
1	955	539.871
2	1.010	785.215
3	390	310.967
4	460	348.045
5	1.065	645.162

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O relatório de processamento do programa Agisoft Metashape Professional fornece os erros médios de localização da câmera (Tabela 6).

O relatório gerado demonstrou que o erro médio quadrático da projeção dos pontos nos talhões 1, 2, 3, 4 e 5 foram, respectivamente, 0,119457 m (0,451998 pixel); 0,149421 m (0,575024 pixel); 0,140181 m (0,546669 pixel); 0,132256 m (0,508698 pixel) e 0,134055 m (0,511854 pixel). Já o erro máximo foram, respectivamente 0,306126 m (6,61949 pixel); 0,451924 m (19,315 pixel); 0,4972 m (13,0482 pixel); 0,47493 m (15,3955 pixel) e 0,499188 m (15,9397 pixel).

Observou-se que o erro médio de localização da câmera mínimo foi no talhão 4, sendo 0,72 m no eixo X (Leste), já no eixo Y (Norte) obteve menor erro no talhão 1, sendo 1,41 m e no eixo Z (Altitude) o menor erro foi no talhão 4, sendo 1,74 m.

Ao observar os erros médios de localização da câmera máximo, o talhão 1 teve erro de 1,41 m no eixo X (Leste), no eixo Y (Norte) obteve maior erro no talhão 5, sendo 1,75 m e no eixo Z (Altitude) o maior erro foi no talhão 3, sendo 1,44 m.

Devido à falta de inserção dos pontos de apoio o erro de projeção foi em média estimado em 2,11 m nos eixos X, Y e Z, a falta de pontos de apoio traz uma menor acurácia dos produtos gerados pelo processamento. Apesar dos valores dos erros, estes estão dentro do esperado para o objetivo deste trabalho e não afetou a qualidade dos produtos gerados.

Conforme Sopchaki et. al. (2018), que realizaram 20 voos e observaram que na avaliação da qualidade planimétrica dos ortomosaicos gerados a partir de fotografias de VANT sem o uso de pontos de apoio na área estudada, o valor médio do erro foi de 3,9 m, enquadrando os produtos gerados como Classe A junto ao PEC- PCD. Em seus produtos gerados, o presente estudo demonstrou média menor, que foi em média 2,11 m, sendo aceitável para fins de identificação do nível de conservação da vegetação.

Tabela 6 - Erros médios de localização da câmera

Talhão	X erro (m)	Y erro (m)	Z erro (m)	XY erro (m)	Total erro (m)
1	1,41528	1,41182	1,01245	1,99906	2,24082
2	0,923567	1,64067	0,48059	1,88276	1,94313
3	0,84889	1,72132	1,43697	1,91926	2,39759
4	0,716596	1,69195	0,733747	1,83745	1,97854
5	0,839332	1,74763	0,417815	1,93873	1,98324

Eixo X = Leste; Eixo Y = Norte; Eixo Z = Altitude.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 4.3 NUVEM DE PONTOS DENSIFICADOS

Posteriormente ao alinhamento das imagens, outro produto gerado foi a nuvem de pontos densificados, neste processo houve a densificação da nuvem de pontos.

A nuvem de pontos densificados é o produto fonte para a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e do Modelo Digital de Elevação (MDE). Uma das finalidades deste trabalho é obtenção do ortofotomosaico real, o qual tem a vista ortogonal dos objetos acima do terreno e tamanho ajustado, para a geração do ortofotomosaico real é necessário o uso do MDS, exigindo uma nuvem de pontos com maior detalhamento, ou seja, mais densificada.

Para a geração do MDS e posteriormente ortofotomosaico real requer-se um alto nível de detalhes do terreno para evitar possíveis distorções na representação do objeto. Na qualidade ultra elevada o software utiliza o tamanho e quantidade de pixels originais da imagem, resultando no aumento de número de pontos por metro quadrado, porém por se tratar de um GSD maior que 3 cm foi escolhido a opção de qualidade elevada ao invés da ultra elevada, outro ponto para esta escolha é o tempo de processamento.

O software utiliza os Tie Points interpolando-os, diminuindo os espaços vazios e aumentando a quantidade de pontos para gerar uma nuvem densa, contendo maior densidade de informações sobre as áreas mapeadas.

Os valores da quantidade de pontos gerando na nuvem de pontos densificada demonstra o aumento da quantidade de pontos. Segundo Figueiredo et al. (2016) a densidade de pontos/m<sup>2</sup> varia principalmente em virtude da altitude de voo, sendo que quanto mais baixo mais densa e detalhada será a nuvem. Em seu trabalho obteve valores de 630,97 pontos/m<sup>2</sup> até 2.562,25 pontos/m<sup>2</sup>, porém em voos de 50 m e 30 m respectivamente.

Pode-se notar através da Tabela 7 que o talhão 1 apesar de ter sido inserido menos fotos com relação ao talhão 2 e a quantidade de pontos da nuvem de pontos ser menor, o software gerou mais pontos no talhão 1, sendo a densidade de 4,38 pontos/m<sup>2</sup>, que no talhão 2 que obteve a densidade de 4,20 pontos/m<sup>2</sup> na nuvem de pontos densificados.

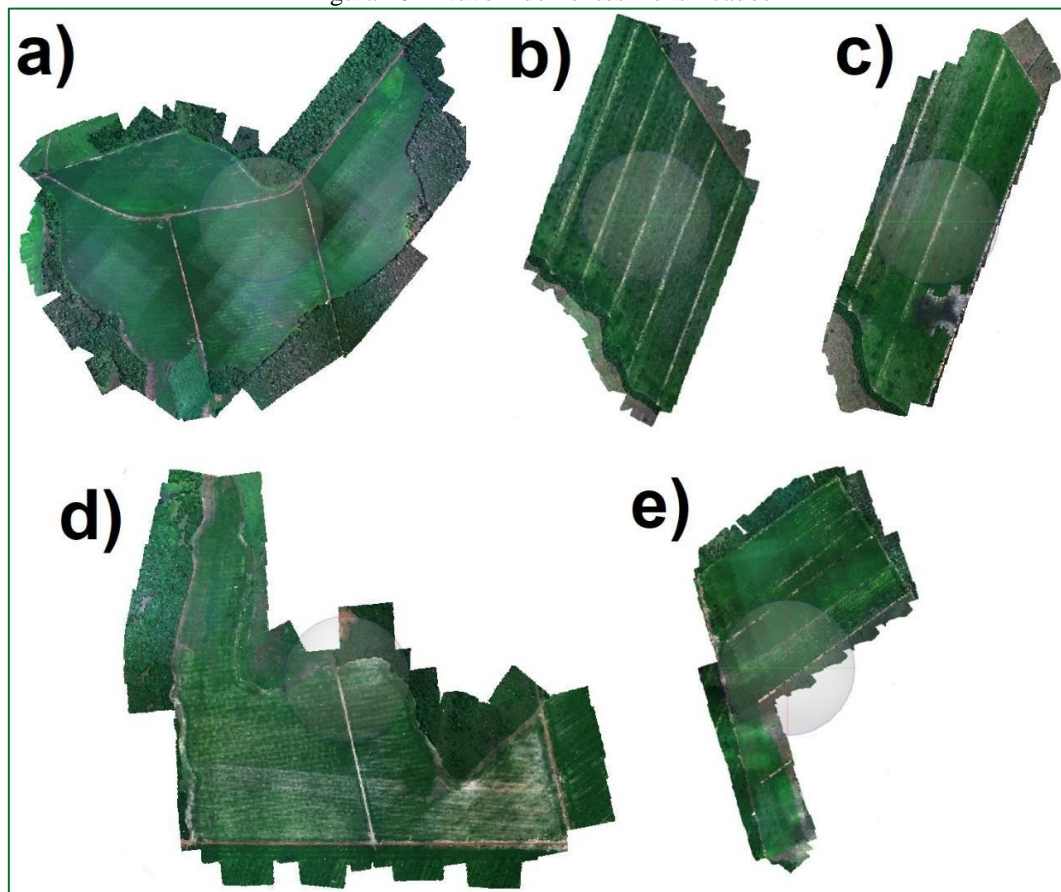
O talhão 1 foi o que obteve maior densidade, sendo 4,38 pontos/m<sup>2</sup>, já a menor densidade foi no talhão 4, sendo 4,00 pontos/m<sup>2</sup>. Apesar da densidade baixa, não houve falhas de preenchimento na construção da nuvem (Figura 26).

Tabela 7 - Quantidade de pontos gerados na nuvem de pontos densificadas edensidade

Talhão	Fotografias	Quantidade de pontos (nuvem de pontos)	Quantidade de pontos (nuvem de pontos densificados)	Pontos/m <sup>2</sup>
1	955	539.871	10.909.994	4,38
2	1.010	785.215	10.627.571	4,20
3	390	310.967	4.638.224	4,14
4	460	348.045	5.635.599	4,00
5	1.065	645.162	11.478.456	4,24

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 26 – Nuvem de Pontos Densificados



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.4 MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE - MDS

Após a criação da nuvem de pontos densificados foi possível obter o MDS que representa o terreno e o que está acima dele. Para isso, foram inseridos como dados de entrada a “nuvem de pontos densificados” e ativada a interpolação.

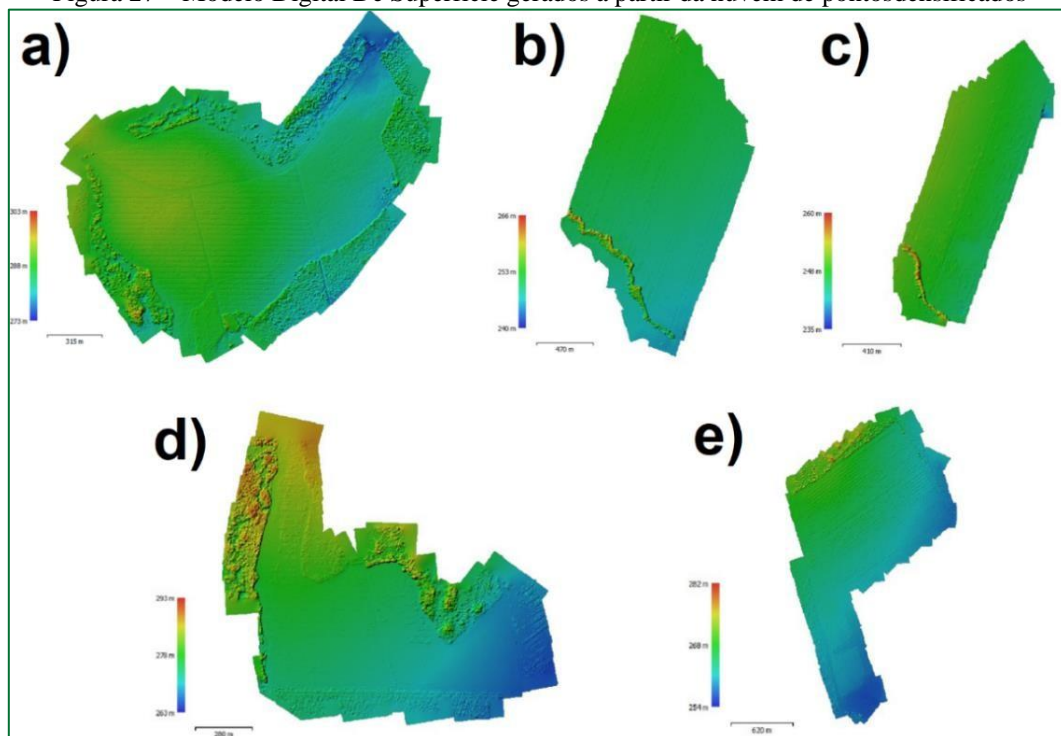
A Figura 27 traz os MDS originais, este produto é resultado do processamento fotogramétrico e possuem resolução de 47,9 cm/ pixel (Figura 27a); 48,5 cm/pixel (Figura 27b); 48,2 cm/ pixel (Figura 27c); 47,8 cm/ pixel (Figura 27d) e 48,1 cm/ pixel (Figura 27e).

Estas resoluções podem ser melhoradas de acordo com os objetivos de cada trabalho, alterando principalmente o planejamento do voo, pois a resolução espacial das fotografias aéreas é diretamente proporcional à altitude do voo.

Magalhães e Moura (2021) concluíram que o mapeamento com o uso de VANT pode ser comprometido devido às ocorrências de distorções nas formas e proporções reais dos objetos, refletindo na qualidade morfológica do MDS e, conseqüentemente, na ortoretificação das fotografias.

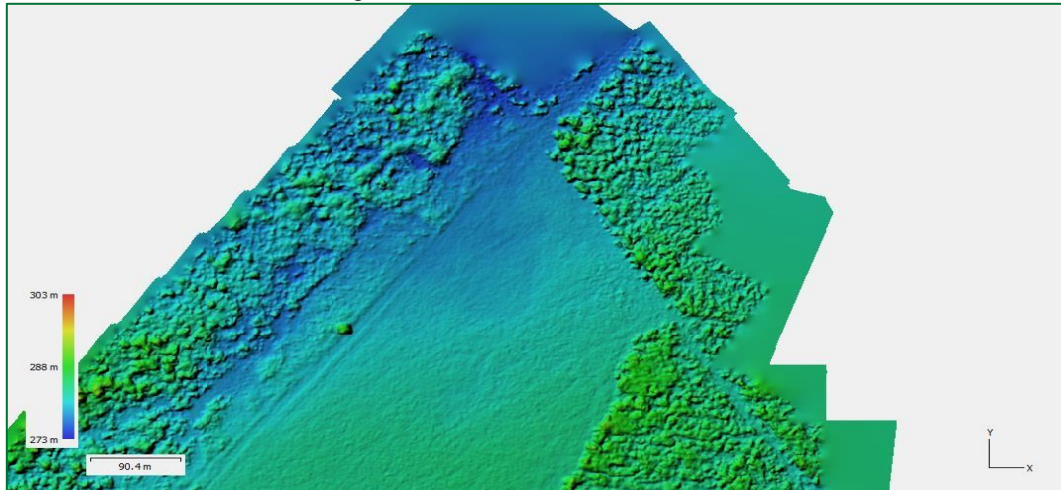
Os cinco MDS não apresentaram distorções, porém as bordas sofreram alguns borrões (Figura 28), isto pode ocorrer devido a pouca sobreposição de imagens nas bordas e falta dos pontos de apoio, mas por se tratar de bordadura não afetou o resultado da área de interesse.

Figura 27 – Modelo Digital De Superfície gerados a partir da nuvem de pontos densificados



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 28 – MDS com bordas borradas



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.5 ORTOMOSAICO

Foram construídos 5 ortomosaicos a partir dos 5 Modelos Digitais de Superfície, ou seja, ortomosaicos verdadeiros, que ortorretifica objetos e vegetação.

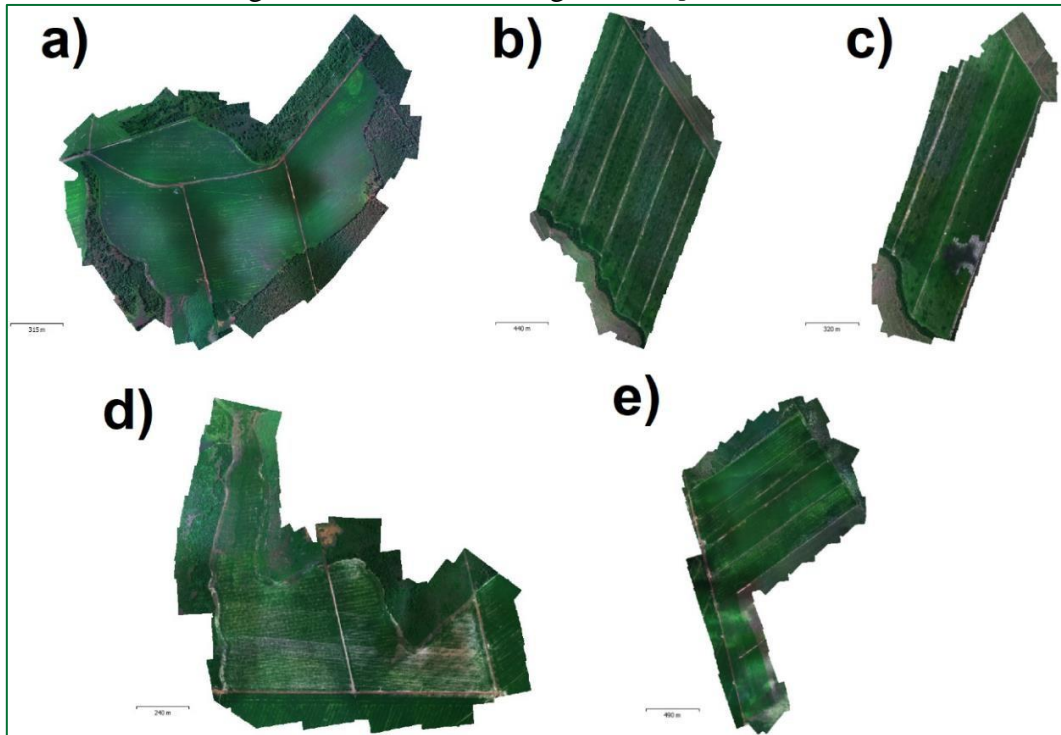
O tamanho de pixel médio foi de 24,1 centímetros e não usou pontos de apoio, utilizando-se apenas os dados do GPS de navegação embarcado no VANT.

A Figura 29 traz os ortomosaicos, estes produtos foram gerados a partir do modelo digital de superfície da área mapeada e possuem resolução de 24,0 cm/ pixel (Figura 29a); 24,3 cm/pixel (Figura 29b); 24,1 cm/ pixel (Figura 29c); 23,9 cm/ pixel (Figura 29d) e 24,1 cm/ pixel (Figura 29e), referente respectivamente aos talhões 1, 2, 3, 4 e 5.

Verificou-se que os cinco ortomosaicos criados não apresentaram distorções e nem erros de formação. Nesta etapa as bordaduras ainda não foram retiradas, sendo visíveis no ortomosaico, podendo observar que estão nítidas sem ocorrência de distorções (Figura 30). Também, já sendo possível observar na composição RGB (faixa do visível) manchas nas áreas cultivadas, demonstrando que a soja está apresentando algum problema, sendo interessante a utilização do NDVI para melhor interpretação.

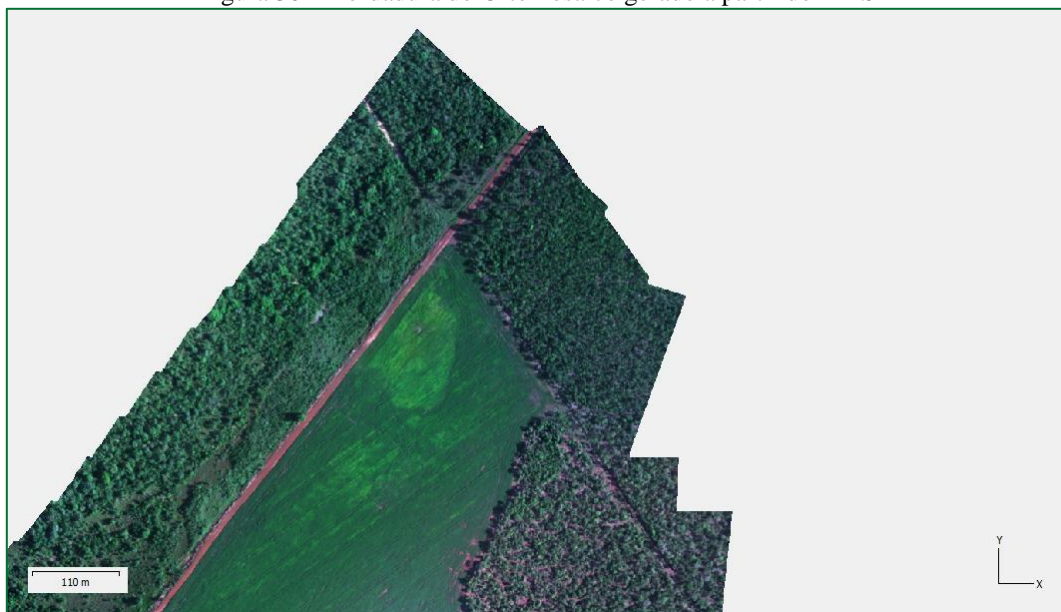


Figura 29 – Ortomosaico gerados a partir do MDS



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 30 – Bordadura do Ortomosaico gerado a partir do MDS



Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### 4.6 NDVI

A partir do ortomosaico de imagens, foi possível aplicar Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada a fim de identificar a condição da cultura, como a sanidade das plantas existentes na área de estudo.

Os cinco ortomosaicos foram exportados possuindo extensão .TIFF, e importados no software

QGIS, o qual foi utilizado para realização dos recortes das bordaduras, deixando somente as áreas de interesse, e para cálculos de NDVI. Foram elaborados mapas do NDVI para os cinco talhões de soja.

Os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada variam entre -1 e 1 conforme a refletância da vegetação, o qual é resultado de sua atividade fisiológica.

Foram divididos em 5 classes. Ao analisar a variação do NDVI nota-se valores abaixo de zero, indicando a presença de superfícies não vegetadas, as quais tem refletância maior na região do vermelho que no infravermelho próximo, como água. Ainda, níveis em torno de 0 a 0,1 demonstrando presença de solo exposto e/ou palhada. Para os níveis maiores que 0,1 denota-se a cultura semeada na área.

Os valores menores que zero receberam pigmentação azul, valores positivos próximos a zero tiveram pigmentação marrom, a pigmentação amarela foi relacionada a baixa vegetação, já a vegetação média pigmentou-se com verde claro e vegetação densa verde escuro.

A Figura 31 apresenta os resultados do processamento de imagem com aplicação do NDVI nos talhões 1, 2, 3, 4 e 5 que obtiveram, respectivamente, valores

entre -0,72 a 0,90; -0,29 a 0,96; -0,18 a 0,90; -0,42 a 0,92; -0,49 a 0,90. Os valores

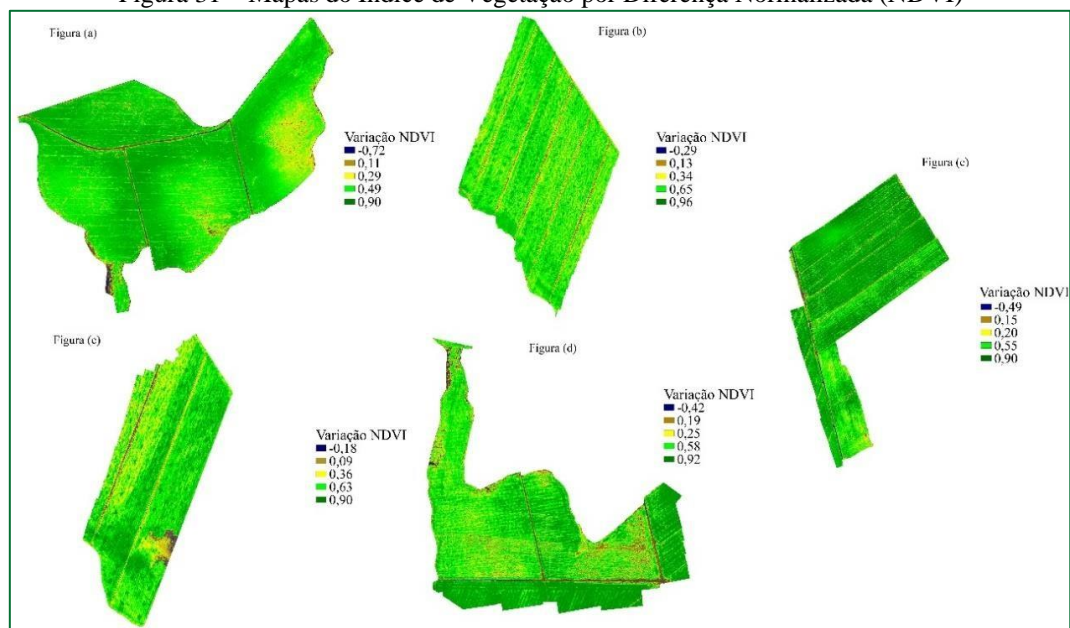
encontrados nos talhões estão de acordo com o esperado, conforme os trabalhos de Crusiol et al. (2013), França et al. (2021) e Araújo; Rocha e Lamparelli (2011).

Os valores máximos encontrados no estádio R5.4 – R5.5 foram iguais ou maiores que 0,90, resultados que condizem com o trabalho de Crusiol et al. (2013) que encontrou, no mesmo estádio, valores 0,88.

Valores entre 0,199 e 0,895 na cultura da soja durante seu vigor vegetativo, foram assistidos no trabalho desenvolvido no município de São Gabriel do Oeste - MS por França et al. (2021).

Araújo, Rocha e Lamparelli (2011) acompanhou três safras consecutivas da soja, com o propósito de observar a correlação do NDVI da cultura com a precipitação, obtendo valores entre 0,39 e 0,88 durante o ciclo.

Figura 31 – Mapas do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

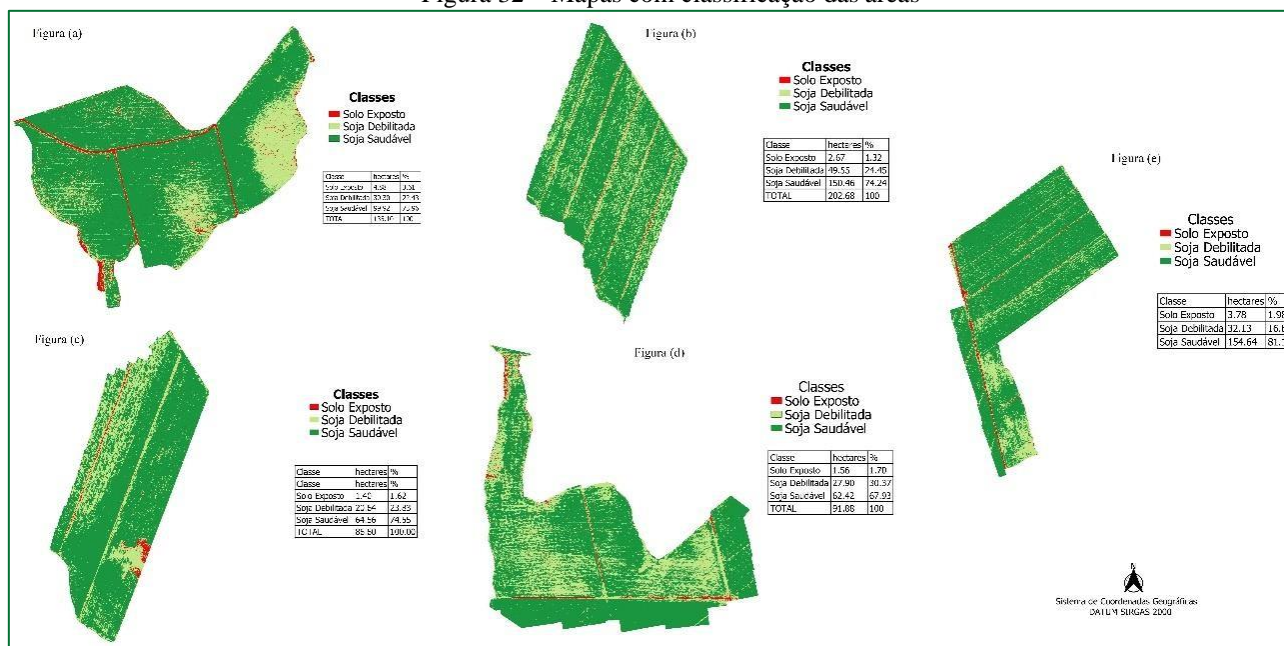
#### 4.7 CLASSIFICAÇÃO

Segundo os autores Mfuka, Zhang e Byamukama (2019) e Das et al. (2013) classificam a saúde da soja de acordo com NDVI em três categorias, sendo solo exposto valores iguais ou menores que zero; Soja apresentando alguma debilitação apresentam valores entre 0,1 a 0,45 e soja saudável tem valores maiores que 0,45.

Para análise mais detalhada da cultura, foram coletadas aleatoriamente 30 amostras homogêneas em cada raster, que representa um talhão, dentro destes parâmetros apresentados anteriormente a fim de gerar uma imagem vetorial capaz de ser quantificada.

A classificação gerou resultados satisfatórios conforme a Figura 32, no qual os pontos verdes foram classificados como plantas saudáveis, os pontos bege plantas debilitadas e os pontos vermelhos como solo exposto.

Figura 32 – Mapas com classificação das áreas



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Observou-se a que soma das áreas nos cinco talhões com solo exposto ou palhada obteve total de 14,29 hectares, representando 2,02% da área total estudada(Tabela 8). O NDVI teve valores menores que 0,1, uma parte dessa exposição do solo deve-se às estradas que passam pelos talhões, o que fez aumentar esta porcentagem. 22,71% da área total estudada, representando 160,52 hectares, foi diagnosticada com a cultura debilitada, ou seja, apresentam valores NDVI entre 0,1 a 0,45. A soja saudável que apresentou valores NDVI maiores que 0,45 foi estimada em 532 hectares, ou 75,27% da área total estudada.

Foi realizada aplicação de KCl (Cloreto de potássio) antes da semeadura da soja, no entanto, no seu desenvolvimento surgiu os sintomas de deficiência de Potássio, a soja estava no estágio R5.4 – R5.5, fase de finalização do enchimento de grãos, não era o momento mais indicado para realização do mapeamento, porém foi neste momento que a cultura apresentou aumento dos sintomas. Posteriormente análise da fertilidade do solo descobriu que esta debilidade se deu realmente por contada deficiência de potássio, afetando principalmente processos de respiração e fotossíntese, podendo ocasionar manchas cloróticas nas folhas, ficando evidente baixos valores do índice.

Tabela 8 – Quantificação do uso e ocupação do solo

Classe	Área1	Área2	Área3	Área4	Área5	Total	Total
	ha					%	
Solo exposto	4,88	2,67	1,40	1,56	3,78	14,29	2,02
Soja debilitada	30,30	49,55	20,64	27,90	32,13	160,52	22,71
Soja Saudável	99,92	150,46	64,56	62,42	154,64	532,00	75,27
Total	135,10	202,68	86,60	91,88	190,55	706,81	100

Fonte: Elaboração do próprio autor.

As fotos aéreas de alta resolução espacial procedente de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) possuem erros de projeção, a falta da inserção de pontos de apoiada área de interesse resultou em erros na realização da aerotriangulação, e geração de ortomosaicos e MDS, porém para finalidade de identificação do nível de conservação da vegetação não afeta o produto final.

Com voos realizados a 350 metros de altura e GSD previsto de 23,86 cm, o software Agisoft Metashape Professional mostrou-se eficiente para geração dos produtos finais, MDS e Ortomosaico, em área agricultável, bem como possibilita exportação dos produtos ortorretificados e georreferenciados em variados formatos para uso em outras plataformas SIG, como QGIS utilizado neste trabalho.

O uso do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para identificação de zonas com diferente potencial viabiliza o monitoramento, diagnóstico e planejamento da lavoura, tornando-se uma ferramenta eficaz de apoio ao gerenciamento agrícola.

O software QGIS e o complemento plugin “dzetsaka mostraram uma ferramenta gratuita adequada para mapear, classificar e quantificar cobertura do solo.

- ABREU, K. M. P. de; COUTINHO, L. M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. *Revista Vértices*, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 173–198, 2014. DOI: 10.5935/1809-2667.20140012. Disponível em: <https://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/1809-2667.20140012>. Acesso em: 10 ago. 2022.
- ARAÚJO, G. K. D.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Relação entre NDVI da cultura da soja e dados de precipitação de estações meteorológicas e do modelo ECMWF, no estado do Paraná. In: *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, PR, Brasil, 30 d abril a 05 de maio 2011, INPE,p.0254.
- AYLOR, D. E., SCHMALE III, D. G., SHIELDS, E. J., NEWCOMB, M., NAPPO, C. J. “Tracking the potato late blight pathogen in the atmosphere using unmanned aerial vehicles and Lagrangian modeling”. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 151, p. 251-260, 2011. Disponível em: <https://experts.umn.edu/en/publications/tracking-the-potato-late-blight-pathogen-in-the-atmosphere-using>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- BICEGO, M.; LAGORIO, A.; GROSSO, E.; TISTARELLI, M. On the use of SIFT features for face authentication. In: *Conference On Computer Vision And Pattern Recognition Workshop*, 2006, New York. New York: IEEE Computer Society, 2006.p. 35-41.
- CALDERÓN, R.; NAVAS-CORTÉS, J. A.; LUCENA, C.; CATALINA, A.; ZARCO-TEJADA, P. J. 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. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.031>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. *Introduction to remote sensing*. 5th ed. The Guilford Press. Nova York, 2011.
- CHAVES, R. D.; BARTELS, G. K.; SILVEIRA, J. F.; TERRA, V. S. S.; COLLARES, G. L. Modelo digital de superfície a partir de imagens adquiridas num levantamento aéreo com vant. In: *XVII Encontro de Pós-Graduação UFPEL*, 2015, Pelotas. *Semana Integrada - XVII Enpos*, 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/295919194\\_MODELO\\_DIGITAL\\_DE\\_SUPERFICIE\\_A\\_PARTIR\\_DE\\_IMAGENS\\_ADQUIRIDAS\\_NUM\\_LEVANTAMENTO\\_AEREO\\_COM\\_VANT/link/56d0961808ae059e375d47e1/download](https://www.researchgate.net/publication/295919194_MODELO_DIGITAL_DE_SUPERFICIE_A_PARTIR_DE_IMAGENS_ADQUIRIDAS_NUM_LEVANTAMENTO_AEREO_COM_VANT/link/56d0961808ae059e375d47e1/download). Acesso em: 16 ago. 2022.
- CÓRCOLES, J. I.; ORTEGA, J. F.; HERNÁNDEZ, D.; MORENO, M. A. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. *Biosystems Engineering*, v. 115, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.02.002>. Acesso em: 23 set. 2022.
- CRUSIOL, L. G. T.; NEIVERTH, W.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; FERREIRA, L. C.; CARVALHO, J. F. C.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios de desenvolvimento da soja BRS 284 em condições de campo. In: *Jornada Acadêmica Da Embrapa Soja*, 8., 2013, Londrina. *Anais Embrapa Soja*, 2013. p. 87-91. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/88110/1/NDVI-de-estadios-de-desenvolvimento-da-soja-BRS-284-em-condicoes-de-campo.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

DAS, D. K.; PRADHAN, S.; SEHGAL, V. K.; SAHOO, R. N.; GUPTA, V. K.; SINGH, R. Spectral reflectance characteristics of healthy and yellow mosaic virus infected soybean (*Glycine max* L.) leaves in a semiarid environment. *Journal Of Agrometeorology*. v. 15, n. 1, p. 36-38. JUN, 2013. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/243458837\\_Spectral\\_reflectance\\_characteristics\\_of\\_healthy\\_and\\_yellow\\_mosaic\\_virus\\_infected\\_soybean\\_Glycine\\_max\\_L\\_leaves\\_in\\_a\\_semiarid\\_environment](https://www.researchgate.net/publication/243458837_Spectral_reflectance_characteristics_of_healthy_and_yellow_mosaic_virus_infected_soybean_Glycine_max_L_leaves_in_a_semiarid_environment). Acesso em: 10 set. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Embrapa Soja Exigências minerais e adubação*, 2013. Disponível em:

[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01\\_38\\_2710200\\_69132.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_38_2710200_69132.html). Acesso em: 20 ago. 2022.

ESQUEF, I. A.; ALBUQUERQUE, Márcio. P. de; ALBUQUERQUE, Marcelo. P. de. *Processamento Digital de Imagens*. Urca, Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2003. 12 p. Disponível em: <http://www.cbpf.br/cat/pdsi/pdf/cap3webfinal.pdf>. Acesso em: 02 set. 2022.

FERRI, C. P.; FORMAGGIO, A. R.; SCHIAVINATO, M. A. Narrow band spectral indexes for chlorophyll determination in soybean canopies [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Brazilian Journal Of Plant Physiology*: doi.org/10.1590/s1677-04202004000300002, v. 16, n. 3, p.131-136, dez. 2004. Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1677-04202004000300002&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1677-04202004000300002&script=sci_abstract). Acesso em: 05 ago. 2022.

FIGUEIREDO, E. O.; D'OLIVEIRA, M. V. N.; LOCKS, C. J.; PAPA, D. A. Estimativa do Volume de Madeira em Pátios de Estocagem de Toras por meio de Câmeras RGB Instaladas em Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP). *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Rio Branco: Embrapa Acre, 2016. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1066063/estimativa-do-volume-de-madeira-em-patios-de-estocagem-de-toras-por-meio-de-cameras-rgb-instaladas-em-eronaves-remotamente-pilotadas-arp>. Acesso em: 29 set. 2022.

FRANÇA, J. F. de, SOUZA, C. C., GARCIA, A. P., CARNEIRO JÚNIOR, J. B. A., CASTELÃO, R. A. Previsão da Produção de Soja Utilizando Imagens de Satélite e Lógica Fuzzy. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, v. 25, n. 2, p. 232-238. JUN, 2021. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgskroton.com.br/article/view/8218>. Acesso em: 21 ago. 2022.

FREITAS, M. I. C. DE; PANCHER, A. M. *Classificação de Imagens*. *Sistemas de Informação Geográfica*. São Paulo, Unesp, 2011.

FURLANETTO, R.; NANNI, M.; CRUSIOL, L.; OLIVEIRA JUNIOR, A. D. Índices de vegetação obtido por sensor hiperespectral terrestre na identificação da deficiência de potássio na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018, Goiânia. *Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais*. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1093762/indices-de-vegetacao-obtido-por-sensor-hiperespectral-terrestre-na-identificacao-da-deficiencia-de-potassio-na-cultura-da-soja>. Acesso em: 27 ago. 2022.

GALVÍNCIO, J. D. Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones. *Journal Of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 9, n. 6, p. 397-406, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs/article/download/245094/35273>. Acesso em: 11 set. 2022.

GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; LEE, W. S.; RASMUSSEN, J.; EHSANI, R. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*. v.91, 2013. Disponível em: [http://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/22\\_Garcia\\_13.pdf](http://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/22_Garcia_13.pdf). Acesso em: 20 set. 2022.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. *Science*, v.327, n. 5967, p. 828-831, 2010. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1183899>. Acesso em: 27 set. 2022.

GIRALDELI, A. L. Drones na agricultura: como eles te ajudam a lucrar mais. 2019. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/wp-content/uploads/2021/01/drones-na-agricultura-20210122125124.pdf>. Acesso em: 23 set. 2022.

GONÇALVES, G. A.; MITISHITA, E. A. (2016). O Uso da Distância de Hausdorff como Medida de Similaridade em Sistemas Automáticos de Atualização Cartográfica. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 22, n. 4, p. 719-735, DEZ 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bcg/a/Br6gKnxC3HYXRtmCKFSptYb>. Acesso em: 20 ago. 2022.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Processamento de Imagens Digitais*. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2010. 624 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Cidades e Estados*, Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mt/nova-nazare.html>. Acesso em: 25 ago. 2022.

LAJÚS, C. R.; MORETTO, M.; LOPES DA LUZ, G.; FILHO, P.; JUNGES, M.; CORREIO, G. T. Agricultura De Precisão Via Aeronave Remotamente Pilotada: Uma Alternativa Para O Homem Do Campo. *Revista de Computação Aplicada ao Agronegócio*, v. 1, n. 1, p. 1–23, 2018.

LEITE, A. C. de S.; SENA, F. T. N. de S.; SANTIAGO NETO, B. J. Técnicas de sensoriamento remoto na análise temporal para a gestão territorial do município de Timon - MA. In: simpósio brasileiro de ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação, 4., 2012, Recife. *Anais... Recife: SIMGEO; UFPE*, 2012. p. 126–136.

MAGALHÃES, D. M.; MOURA, A. C. M. Análise da Morfologia de Modelos Digitais de Superfície Gerados por VANT. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 3, p. 707–722, 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n3-51600. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/51600>. Acesso em: 11 set. 2022.

MALAVOLTA, E.; USHERWOOD, N.R. Adubos e adubação potássica. *Boletim Técnico*, 3. 5.ed. Piracicaba: Instituto da Potassa, 1984. 56p.

MALAVOLTA, E. *Elemento de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, SP: Ceres, 1980.



MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; WUTKE, E.B.; BRAGA, N.R.; MIRANDA, M. A.C. Potássio para a soja. *Informações Agronômicas*, n. 105, p. 1 -2, 2004.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens desensoriamento remoto. 2012. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em: 15 set. 2022.

MFUKA, C.; ZHANG, X.; BYAMUKAMA, E. Mapping and Quantifying White Mold in Soybean across South Dakota Using Landsat Images. *Journal of Geographic Information System*, 2019. 11, 331-346. Disponível em: [doi.org/10.4236/jgis.2019.113020](https://doi.org/10.4236/jgis.2019.113020). Acesso em: 17 out. 2022.

MICASENSE. MicaSense RedEdge Multispectral Camera - User Manual. p. 1-47, 2017. Disponível em: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/115003537673-RedEdge-M-User-Manual-PDF-Legacy>. Acesso em: 12 set. 2022.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. Agricultura de precisão. *Oficina de Textos*, 2015. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/precisao/livros/AGRICULTURA%20DE%20PRECISAO%20-%20OFICINA%20DE%20TEXTOS.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação. 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 307p.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. *A soja no Brasil*. 1 ed. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, p. 65-104, 1981.

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

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

PRIMICERIO, J. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture*, v. 13, n. 4, p. 517-523, jan, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228107408\\_A\\_flexible\\_unmanned\\_aerial\\_vehicle\\_for\\_precision\\_agriculture](https://www.researchgate.net/publication/228107408_A_flexible_unmanned_aerial_vehicle_for_precision_agriculture). Acesso em: 23 set. 2022.

QUEIROZ, J. E. R. De, GOMES, H. M. Introdução ao Processamento Digital de Imagens. *Revista de Informática Teórica e Aplicada - RITA*, v. 8, n. 1, 2001. Disponível em: <http://www.dsc.ufcg.edu.br/~hmg/disciplinas/graduacao/vc-2016.2/Rita-Tutorial-PDI.pdf>. Acesso em: 03 out. 2022.

ROMERO, V. R.; VILLAREAL, A. M.; LEÓN, J. L. T.; HERNÁNDEZ, A. H. Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución. *Revista Palmas*, Bogotá, v. 36, n. 3, p. 25-41, 2015. Disponível em: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11574/11566>. Acesso em: 13 set. 2022.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W., HARLAN, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. Remote Sensing Center, (No. NASA-CR-132982), 1974. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19750020419.pdf>. Acesso em: 05 set. 2022.

SANTOS JUNIOR., R. F.; SANTOS, J. M.; RUDORFF, B. F. T.; MARCHIORATO, I. A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. *Fitopatologia Brasileira*, v.27, n. 4, p.355-360, jul. 2002. Disponível em: [doi.org/10.1590/s0100-41582002000400004](https://doi.org/10.1590/s0100-41582002000400004). Acesso em: 15 out. 2022.

SE, S.; LOWE, D.; LITTLE, J. Vision-based mobile robot localization and mapping using scale-invariant features. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION*, 2001, Seoul. Anais... Piscataway, NJ: IEEE Robot and Automation Society, 2001. p. 2051-2058. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/932909>. Acesso em: 11 set. 2022.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. Cultura da soja – Parte I. Viçosa, MG: Impr. Univer., UFV, 1985. 96 p.

SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; GODOY, C. V.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M.; DIAS, W. P.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo de doenças. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M.

V. B. C. (Eds.). *Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 227-264. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

SIEBERT, S.; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, v. 41, p.1–14, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580514000193>. Acesso em: 14 ago. 2022.

SILVA, G. C. da. Detecção e contagem de plantas utilizando técnicas de inteligência artificial e machine learning. 2017. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/183462>. Acesso em: 10 set. 2022.

SILVA, L. de A. Levantamentos altimétricos realizados por meio aerofotogramétrico: um estudo multicaso. 2019. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Curso de Ciência e Tecnologia, Pau dos Ferros/RN, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5971/1/LeonardoAS\\_MONO.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/5971/1/LeonardoAS_MONO.pdf). Acesso em: 17 set. 2022.

SILVA, V. S.; SALAMI, G.; SILVA, M. I. O.; SILVA, E. A.; JUNIOR, J. J. M.; ALBA, E. Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. *Geology, Ecology, and Landscapes*, v. 4, n. 2, 159–169, abril 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>. Acesso em: 15 out. 2022.

SOPCHAKI, C. H.; PAZ, O. L. S.; GRAÇA, N. L. S. S.; SAMPAIO, T. V. M. Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. *Revista Ra'e Ga-O Espaço Geográfico* em:

Análise. v.43, p. 200-214. Curitiba, 2018. Disponível em:  
<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/56564>. Acesso em: 17 set.2022.

TAIZ L.; ZEIGER E.; Fisiologia vegetal. 5th Edition, Porto Alegre: Artmed, 2013,918 p.

TURNER, D.; LUCIEER, A.; WATSON, C. An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Remote Sensing*, v. 4, n. 12, p. 1392–1410, maio 2012. Disponível em:  
<https://www.mdpi.com/2072-4292/4/5/1392>. Acesso em: 28 set. 2022.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de. SILVA, J. E. da. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E., eds. *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 169-182.

XIANG, H.; TIAN, L. Method for automatic georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform. *Biosystems Engineering*, v. 108, n. 2, p. 104-113, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.11.003>. Acesso em: 08 out. 2022.

XUE, J.; SU, B. Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, v. 2017, p. 1–17, 2017. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1155/2017/1353691>. Acesso em: 15 ago. 2022.

WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F.; HAMBREY, M. J.;

REYNOLDS, J. M. ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, Amsterdam, n. 179, p. 300-314, Dec.2012. Disponível em: [doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021). Acesso em: 05 set. 2022.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. *Elements of photogrammetry: with applications in GIS*. 3ed. Boston: McGraw-Hill. 2000. 640 p.

ZANETTI, J.; GRIPP JUNIOR, J.; SANTOS, A. P. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 69/2, p. 263-277, 2017. Disponível em:  
<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44016>. Acesso em: 22 set. 2022.

ZARCO-TEJADA, P.J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J.A.J.; Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*, v. 117, p. 322–337, 2012. Disponível em: [http://quantalab.ias.csic.es/pdf/paper\\_RSE\\_micro-hyper\\_UAV\\_zarco\\_tejada.pdf](http://quantalab.ias.csic.es/pdf/paper_RSE_micro-hyper_UAV_zarco_tejada.pdf). Acesso em: 12 set. 2022.

ZHOU, F.; ZHONG, D. Kalman filter method for generating time-series synthetic Landsat images and their uncertainty from Landsat and MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, v. 239, p. 1-25, jan 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111628>. Acesso em: 02 out. 2022.

REALIZAÇÃO:

**SEVEN**  
publicações acadêmicas

ACESSE NOSSO CATÁLOGO!



[WWW.SEVENEVENTS.COM.BR](http://WWW.SEVENEVENTS.COM.BR)

CONECTANDO O **PESQUISADOR** E A **CIÊNCIA** EM UM SÓ CLIQUE.