

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Use of remotely piloted aircraft systems in precision agriculture

Fernanda Lampert Batista Facco
Universidade de Cruz Alta, UNICRUZ
fe.batista97@gmail.com

Antoninho João Pegoraro
Professor Doutor do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.
ajpegoraro.com.br

RESUMO: Este artigo é produto das atividades do estágio obrigatório para a formação do Tecnólogo em Geoprocessamento do Colégio Politécnico da UFSM, foi desenvolvido na empresa Auster Tecnologia, no município de Santa Maria, e teve como objetivo o desenvolvimento, no âmbito de planejamento, execução e pós-processamentos das imagens aéreas com o software *Agisoft PhotoScan*, capturadas com sensores multiespectrais embarcados no Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) AT120. Foi possível realizar planejamentos de voos, executar voos com SARPs, construir modelos digitais de superfície, gerar ortoimagens, elaborar curvas de nível, gerar índices de vegetação e realizar a detecção de falhas de plantio. Utilizaram-se como metodologias o Sensoriamento Remoto e a Fotogrametria. Pode-se concluir que a realização deste foi fundamental para o autoconhecimento como profissional da área de Tecnologia em Geoprocessamento, pois através deste se identificou e se adquiriu conhecimentos fundamentais para a atuação como tecnólogo.

Palavras-chave: SARP. Geoprocessamento. Fotogrametria.

ABSTRACT: This article is a product of the mandatory internship activities for the formation of the Technologist in Geoprocessing of the UFSM Polytechnic College, was developed at Auster Tecnologia, in the municipality of Santa Maria, and had the objective of developing, within the scope of planning, execution and post-processing of aerial images with Agisoft PhotoScan software, captured with multispectral sensors embedded in the Remotely Piloted Aircraft Systems (SARP) AT120. It was possible to carry out flight plans, perform flights with SARPs, build digital surface models, generate orthoimages, draw contours, generate vegetation indices and detect planting failures. Remote Sensing and Photogrammetry were used as methodologies. It can be concluded that the realization of this was fundamental for self-knowledge as a professional in the area of Technology in Geoprocessing, because through it was identified and acquired fundamental knowledge to act as a technologist.

Keywords: SARP. Geoprocessing. Photogrammetry.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento de atividades relacionadas à fotogrametria e processamento de imagens através do planejamento, realização, processamento e análise de levantamentos realizados com sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (SARPs) que embarcam câmeras e sensores multiespectrais. Já como objetivos específicos, tem-se: (1) Desenvolver planejamentos com o *software MissionPlann* voltados aos SARPs; (2) Gerar com o *software PhotoScan* ortomosaicos, índices de vegetação e curvas de nível; e (3) Descrever as rotinas que a empresa utiliza no *software PhotoScan*.

Conforme informações disponibilizadas no site da empresa Auster Tecnologia (Adaptado do site: <https://www.austertecnologia.com/>, acesso em novembro de 2017), destaca-se que sua idealização ocorreu no ano de 2015 por um grupo de acadêmicos de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, especializados em projeto aeronáutico. Foi a partir da primeira edição do programa de pré-incubação da Agência de Inovação e Transferência de Tecnologia da UFSM (AGITTEC), em novembro de 2015, que começou sua estruturação como empresa.

Em 2016, a ideia foi aprovada no processo de incubação pela Pulsar, Incubadora da UFSM e, desta forma, ganhou acesso ao espaço físico da sua sede localizada no campus da Universidade, operando no desenvolvimento, fabricação e operação de aeronaves remotamente pilotadas para aplicações em diversos segmentos, atuando nas áreas de agricultura, geoprocessamento e soluções customizadas para outros ramos do mercado. A partir desses fatos, a empresa vem trabalhando no desenvolvimento e no aprimoramento dos seus produtos, realizando diversas pesquisas na área da agricultura.

A Auster Tecnologia concedeu o estágio na área de geoprocessamento durante o período de 07 julho de 2017 a 27 de novembro de 2017. Durante a realização do mesmo, cumpriu-se a carga horária de 4 horas diárias, totalizando 20 horas semanais, completando um total de 404 horas. O estágio foi desenvolvido no âmbito do planejamento, execução e pós-processamento das imagens capturadas com sensores multiespectrais embarcados em SARPs desenvolvidas na empresa.

REVISÃO DE LITERATURA

Geoprocessamento

A partir de relatos encontrados na literatura como, por exemplo, no livro Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação elaborado por Moreira (2011), é possível afirmar que o Geoprocessamento foi introduzido no Brasil no início dos anos de 1980. Desta forma:

[...] O termo Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia, denotada por Geoprocessamento, tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transporte, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional (ASSAD, 1998, p. 3).

O geoprocessamento pode ser entendido como um sistema abrangente que engloba diversas tecnologias de tratamento, manipulação e armazenamento de dados geográficos, através de programas computacionais. Este conceito é definido segundo Rosa e Brito (1996) como um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, podendo ser aplicado a profissionais que trabalham com processamento digital de imagens, cartografia digital e SIG.

Na visão de Teodoro (2012), o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais relacionadas à coleta, armazenamento, processamento e gerenciamento das informações espaciais ou georreferenciadas, para serem

utilizadas em sistemas específicos em cada aplicação que, de alguma forma, utiliza-se do espaço físico geográfico. Alinhado a esta perspectiva se encontram Xavier da Silva e Zaidan (2004), que afirmam que o geoprocessamento consiste em um conjunto de técnicas computacionais que operam sobre bases de dados georreferenciados para transformá-los em informação relevante.

Este também pode ser entendido como um conjunto de técnicas que opera através de modelos matemáticos e estatísticos, com o intuito de representar informações espaciais. De acordo com Rodrigues (1988), é tido como a tecnologia de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento de sistemas que as utilizam. Já conforme Matias (2006), o geoprocessamento é um conjunto de tecnologias baseadas em ambiente computacional com finalidade de promover o tratamento da informação espacial, baseada em cartografia digital, sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e sistemas de posicionamento global por satélite.

Sendo assim, entende-se o geoprocessamento como um conjunto de técnicas e tecnologias que compreende várias ferramentas e ciências. Rocha (2000) define geoprocessamento como uma tecnologia transdisciplinar a qual, através da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados e utiliza como principal ferramenta o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Entre as disciplinas que integram o geoprocessamento se destacam: Cartografia; Fotointerpretação; Fotogrametria; Sensoriamento Remoto; Sistema de Informação Geográfica; Desenho Auxiliado por Computador; Processamento Digital de imagens; Topografia; e Geodésia.

As atividades que envolvem o geoprocessamento, com base em Moreira (2011), são executadas por sistemas específicos dependendo da aplicação, por meio de técnicas matemáticas e computacionais que alimentam banco de dados obtidos de um objeto ou fenômeno, permitindo obter informações a respeito destes. Dar-se-á ênfase a algumas das disciplinas citadas anteriormente, pois envolvem assuntos que subsidiam as atividades realizadas durante o estágio e devem ser mencionadas conforme a demanda do relatório.

Agricultura de Precisão

Segundo Roza et al. (2000), a agricultura de precisão é uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte de informações exatas, precisas e se completa com decisões exatas. A agricultura de precisão (AP) é uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro, levando em conta o fato de que cada pedaço da fazenda tem propriedades diferentes. No atual cenário a solução utilizada

[...] é a de focar grandes áreas e entendê-las como homogêneas, levando ao conceito da necessidade média para a aplicação dos insumos, o que faz com que, por exemplo, a mesma formulação e/ou quantidade do fertilizante seja utilizada para toda a área, atendendo apenas as necessidades médias e não considerando, desta forma, as necessidades específicas de cada parte do campo. O mesmo acontece para os demais insumos, causando como

resultado uma lavoura com produtividade não uniforme [...] CAPELLI, 1999 apud ANTUNES, 2006, p. 20).

Em meio a este panorama, o geoprocessamento torna-se fundamental para a agricultura, pois envolve a utilização de SARP alinhados a sua aplicabilidade na área, tornando possível a especialização, a mensuração, a análise, a investigação, o monitoramento, entre outros, de fenômenos que ocasionam - ou não - a presença de desuniformidade em áreas de produção agrícola. Ou seja, as técnicas de geoprocessamento permitem a detecção de problemas nutricionais e fitossanitários e a geração de soluções otimizadas que proporcionam uma visão diferenciada, através da utilização de técnicas que permitem detectar diferenças na reflectância da energia eletromagnética de alvos presentes na superfície topográfica terrestre.

A identificação e o estudo dessas diferenças de reflectância da REM, no âmbito da agricultura, permitem a execução de, por exemplo, estudos temporais nas lavouras, rastreamento da variabilidade da saúde e do desenvolvimento da plantaçao, a identificação de regiões com deficiência nutricional ou anomalias na cobertura vegetal, a espacialização e mensuração de manchas no solo provocadas por nematóides ou demais pragas, servindo de subsídio para análises, planejamentos e tomadas de decisões assertivas.

Fotogrametria

Como mencionado por Andrade (1998), o processo de registro, interpretação e mensuração, com o viés na obtenção de informações confiáveis através de imagens, é definido como a ciência e tecnologia da Fotogrametria. Já Wolf (1983 apud ROCHA, 2000, p. 91) entende esta como a arte, ciência e tecnologia que, através de fotografias, permite a obtenção de informações confiáveis de objetos físicos e do meio ambiente por medidas e interpretação das imagens.

Dentre os conceitos narrados por Rocha (2000), se destaca o de Fotografia Interpretativa (FI), que se define como uma das áreas do conhecimento que trata do reconhecimento e identificação de objetos. Desta forma:

[...] A fotogrametria sofreu um grande impacto com a possibilidade de obtenção de imagens multiespectrais (cobrindo diversas bandas do espectro), em geral, através de sensores digitais (como câmeras digitais e varredores), acarretando em uma total reestruturação do pessoal e aparatos empregados para processá-los (...). Paralelamente a esta resolução, novas plataformas passaram a portar tais tipos de sensores (...), havendo, notoriamente, a introdução de sensores orbitais (satélites e veículos espaciais). Esta "nova" ciência, então em ascensão, passou a ser chamada de sensoriamento remoto [...] (BRITO, 2002, p. 1.3).

O Sensoriamento Remoto, mencionado com maior profundidade no tópico 2.4, é definido por Rocha (2000) como um ramo da FI aplicado para o reconhecimento de objetos sem contato físico, sendo que o autor caracteriza também a Fotointerpretação como uma área da FI. De acordo com Wolf (1974, apud LOCH, 2008, p. 11), a ação de examinar e identificar objetos em fotografias e determinar seu significado é definido

pela Sociedade Americana de Fotogrametria como Fotointerpretação. Desta forma, Loch (2008) elucida alguns aspectos que influenciam no reconhecimento, sendo estes:

- Forma: permite identificar objetos conforme sua geometria. Geralmente, obras feitas pelo homem possuem traços e formas constituídas por linhas retas e polígonos conhecidos.
- Sombra: depende do sensor em questão e da posição do objeto, sendo consequência da forma.
- Tamanho: o tamanho do objeto depende da escala da imagem.
- Tonalidade: representa as combinações e as cores do objeto, podendo variar conforme o contraste da imagem.
- Densidade: segundo Loch (2008), é “a quantidade de unidades de um objeto que aparece em unidade de área”.
- Declividade: se refere à posição do objeto quando relacionado com o ângulo que forma como o horizonte.
- Textura: de acordo com Loch (2008), é “determinada pela reunião de unidades muito pequenas que são reconhecidas individualmente”. Salienta-se que esta depende da escala da imagem.
- Posição: se refere ao local onde a fotografia foi obtida.
- Adjacências: conforme Loch (2008), “consiste na identificação de um objeto através da necessidade de este estar próximo a outros bem visíveis e de fácil interpretação”.

Através da análise de Fotointerpretação, é possível realizar algumas inferências sobre a vegetação e a agricultura. Nesta área, Loch (2008) cita alguns tópicos para estudo através desta ciência. Dentre eles se destacam os solos agrícolas, capacidade de uso da terra, divisão de propriedades rurais, características de vegetais plantados pelo homem, interpretação de culturas ou reflorestamentos e interpretação visual da vegetação.

Sensoriamento Remoto

Segundo Florenzano (2011), o termo sensoriamento refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. Já o termo remoto tem como significado estar distante, ou seja, sem contato físico entre o sensor e a superfície terrestre.

Este conceito é definido por Lillesand e Kiefer (1994) como a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto. Atualmente, encontram-se no mercado diversos sensores capazes de capturar diferentes comprimentos de onda, além de plataformas eficientes e sofisticadas que embarcam estes sensores.

Conforme Florenzano (2011), evidencia-se que o sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

Segundo Panzori et al. (2012), no Brasil a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação teve início na década de 1940. Seguindo esta linha, ele descreve os processos decorrentes da reflexão da radiação eletromagnética (REM), conforme a constituição dos diferentes tecidos que compõem as folhas, destaca as seguintes estruturas: Face ventral: na qual se encontram estruturas como pelos e camadas de cera (cutícula); Epiderme: composta geralmente por células alongadas, como as que formam os estômatos; Mesófilo Paliçádico: organizado por células ricas em clorofila, ou seja, organelas dentro das quais se encontram os pigmentos fotossintetizantes; Face dorsal: na qual se situa o mesófilo esponjoso; Epiderme: apresenta uma nova camada de cera e estruturas de pelos.

Conforme o raciocínio de Panzoli et al. (2012), se demonstra importante salientar estas estruturas, pois são relevantes para compreender que a folha pode ser considerada um meio pelo qual a REM trafega. Sendo assim, ele explica que, dependendo do comprimento de onda da radiação, alguns componentes desse meio, bem como fatores relacionados à fisiologia da planta, vão exercer influência nas interações entre a energia eletromagnética e a vegetação.

Destaca-se que existem três fenômenos que descrevem a interação em questão. São eles:

- **Reflectância:** este conceito é definido por Jesen et al. (2011) como o processo no qual a radiação “resvala” em um objeto como, por exemplo, o solo exposto.
- **Transmitância:** Panzoli et al. (2012) explicam este termo elucidando que, dependendo das características estruturais, um feixe de radiação pode atravessar completamente a folha.
- **Absorção:** conceituado por Jesen et al. (2011) como o processo pelo qual a energia radiante é absorvida e convertida em outra forma de energia.

A partir disso, se explica a reflexão da energia eletromagnética em relação a vegetação nas regiões do espectro eletromagnético referentes ao visível ($0,4\mu\text{m} - 0,72\mu\text{m}$) e infravermelho próximo ($0,72\mu\text{m} - 1,1\mu\text{m}$).

- **Visível (V):** Conforme Panzoli et al. (2012), na região do visível, os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância. A interação da energia ocorre por meio da absorção e espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e transformada em calor ou fluorescência, como também convertida fotoquimicamente em energia armazenada na forma de componentes orgânicos por meio da fotossíntese. Os pigmentos predominantes absorvem radiação na região do azul, mas somente a clorofila absorve a região do vermelho.

- **Infravermelho Próximo (IVP):** Segundo Panzoli et al. (2012), ocorre nesta região a absorção pequena da radiação e considerável espalhamento interno da radiação na folha. Além disso, a absorção de água é relativamente baixa e a reflexão quase constante. Em seu livro, ele cita o trabalho de Gates et al. (1965), que concluiu

que o 'diálogo' entre a REM em relação à reflectância espectral das folhas no IVP é resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo.

Em relação a este tema, Gausmann et. al. (1969) explica que a reflectância difusa do infravermelho próximo (0,7 – 1,2 μm) é devida ao espalhamento interno causado pelas interfaces das paredes celulares. Jensen et Al. (1949) cita que as principais razões pelas quais os dosséis de plantas saudáveis refletem tanto no infravermelho próximo são as seguintes: a) a folha já reflete 40 a 60% da energia do infravermelho próximo incidente devido ao mesófilo esponjoso; b) os restantes 45 e 50% da energia penetram (ou seja, são transmitidos) na folha e podem ser refletidos uma vez mais pelas folhas abaixo. Ele denomina esse fenômeno como reflectância foliar aditiva. Observando o comportamento das ondas eletromagnéticas na região do espectro visível e do infravermelho próximo, pode-se inferir sobre as condições fitossanitárias de determinadas culturas.

As folhas mortas refletem a luz solar em níveis semelhantes nas regiões do visível (comprimento de onda entre 0,4 e 0,7 μm) e do infravermelho próximo (comprimento de onda entre 0,7 e 1,1 μm). O dossel com plantas estressadas possui reflectância próxima na região correspondente ao infravermelho próximo (NIR) e do visível. Já a vegetação saudável reflete em níveis muito altos nas bandas de infravermelho próximo.

Em meio a este cenário, destaca-se o uso de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas, como plataformas que embarcam sensores multiespectrais. Diversos trabalhos são encontrados na literatura, como, por exemplo, o de Felipetto (2015), que estudou o desempenho de um VANT na determinação de índices de vegetação na cultura de Crambe. Os sensores multiespectrais são capazes de capturar as regiões do visível e do infravermelho próximo, permitindo que esta tecnologia, quando aliada às técnicas de sensoriamento remoto, contribua com a geração de produtos tecnológicos e inovadores em áreas de estudo como, por exemplo, a agricultura.

Este tipo de análise permite a detecção de problemas fitossanitários anteriormente à percepção a olho nu. Para promover tal detecção, utilizam-se técnicas de sensoriamento remoto que geram índices de vegetação (IV). A partir da geração dos IV, é possível executar estudos temporais das lavouras, rastreando a variabilidade fitossanitária, indicando regiões com deficiência nutricional e contribuindo com a identificação de anomalias na cobertura vegetal que podem ser causadas por plantas daninhas, nematoides ou outras pragas, por exemplo.

Sendo assim, a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto alinhada com as tecnologias que permitem captação de diversos comprimentos de ondas referentes à reflectância da vegetação, geram-se produtos fundamentais para o auxílio e modernização da agricultura de precisão. Tais produtos levam a novas percepções sobre antigos problemas enfrentados por agrônomos, engenheiros ambientais, produtores rurais, entre outros, tornando viável a solução equilibrada e com intensidade de aplicação diferenciada, pois esta considera o déficit encontrado em parcelas da vegetação.

MATERIAIS E METODOLOGIA

Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (SARP)

Para escolher quais dos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas são mais apropriadas para o desempenho de uma atividade, deve-se considerar diversos aspectos sobre a mesma, como autonomia de voo, capacidade de mapeamentos, carga útil máxima, resistência e segurança, entre outros.

A autonomia de voo é fundamental para a realização de um levantamento, pois determina o tempo em que o SARP vai se mantêm operando. Dentre os equipamentos encontrados no mercado, a autonomia varia de aproximadamente 10 a 120 minutos por voo. A capacidade de mapeamento refere-se à área que o SARP é capaz de cobrir durante um levantamento, ou seja, na execução de um único voo. A carga útil máxima suportada remete ao peso que pode ser embarcado no sistema. Esta informação é importante, pois determina a quantidade máxima de sensores ou objetos que o SARP é capaz de embarcar nas operações. A resistência refere-se aos materiais utilizados na fabricação, pois estes influenciam na resistência e na durabilidade do produto. A segurança é fundamental ao operar tais aeronaves e suas normas são regulamentadas pela Agência nacional de Aviação Civil (ANAC).

A empresa Auster Tecnologia possui duas séries de aeronaves, a série AT190 e a AT120. Ambas as séries estão disponíveis no mercado nas versões Agritec e Standard e possuem as seguintes áreas de aplicações:

- Agricultura de precisão: acompanhamento de cultivo, obtenção de índices e detecção de falhas; vigilância e monitoramento;
- Infraestrutura: inspeção de obras, linhas de transmissão, óleo e gás;
- Topografia: medição de áreas, curvas de nível e modelos digitais de superfície e terreno;
- Mineração: medição de áreas, cálculo de pilhas e volumes;
- Florestal e ambiental: acompanhamento de áreas de preservação de fauna e flora, delimitação de áreas para reflorestamento, mapeamento de bacias hidrográficas;

A série AT190 segue as seguintes especificações técnicas (Informações obtidas com base no site: <https://www.austertecnologia.com/>) (Quadro 1):

Quadro 1. Apresentação da série AT190

Requisito	Standard	Agritec
Autonomia de voo	120 minutos	90 minutos
Capacidade de mapeamento	3200 ha	3200 ha
Carga útil máxima	2100g	800g
Resistencia	Fabricado com fibra de vidro e Kevlar	Fabricado com fibra de vidro e Kevlar
Segurança	Dentro das normas da ANAC, possui paraquedas.	Dentro das normas da ANAC, possui paraquedas.
GNSS	RTK	M8N
Bateria reserva	Sim	Sim
Decolagem	Catapulta ou pista curta	Arremesso manual

Fonte: Auster Tecnologia

A série AT120 segue as seguintes especificações técnicas (Adaptado das especificações técnicas do site: <https://www.austertecnologia.com/>) (Quadro 2):

Quadro 2. Apresentação da série AT190

Requisito	Standard	Agritec
Autonomia de voo	90 minutos	90 minutos
Capacidade de mapeamento	1500 ha/voo	1500 ha/voo
Carga útil máxima		1,2 kg
Resistencia	Fabricado com fibra de vidro e Kevlar	Fabricado com fibra de vidro e Kevlar
Segurança	Dentro das normas da ANAC, possui paraquedas.	Dentro das normas da ANAC, possui paraquedas.
GNSS	RTK	M8N
Bateria reserva	Sim	Sim
Decolagem	Elástico	Elástico

Fonte: Auster Tecnologia

Com base neste panorama, trabalhou-se com a série AT120 (Figura 1) durante as atividades realizadas no estágio. Utilizou-se essa aeronave devido às suas características técnicas e ao alinhamento da capacidade de mapeamento com tamanho das áreas levantadas.



Figura 1. Aeronave Remotamente Pilotada AT120, fabricada pela empresa Auster Tecnologia. Fonte: Autores, 2019.

Câmera Multiespectral

Conforme Liu (2006), os sensores imageadores produzem imagens por meio dos sensores fotográficos, sensores de eletro ótica e radar de visada lateral.

A Aeronave remotamente pilotada AT120 é compatível com diversos Payloads. Dentre eles destacam-se:

- Parrot Sequoia - Multiespectral 4 bandas;
- MicaSense Red Edge – Multiespectral 5 bandas;
- Canon SX610 HS – RGB.

Durante a realização do estágio, utilizou-se a câmera multiespectral Parrot Sequoia (Figura 2). Esta câmera foi desenvolvida e fabricada pela parceria entre duas grandes empresas, a Parrot e a MicaSense, Inc., que possuem larga e renomada experiência nas áreas de coleta de dados e fabricação de SARPs.

A sequoia é uma câmera multiespectral otimizada para uso em SARP. Seus sensores capturam dados em quatro bandas distintas do espectro eletromagnético, duas no visível *Green* e *Red* (verde e vermelho) e duas no invisível *Red Edge* e *Near-Infrared* (borda do vermelho e infravermelho próximo), além da composição RGB. Esta possui características únicas e conta com sistema inercial (IMU) e GPS integrados em um módulo separado, o sensor de irradiância, a ser embarcado na aeronave.

Por isso, este aparelho pode funcionar independentemente dos sistemas inerciais e de posicionamento da aeronave, capturando imagens e dados de posicionamento a cada imagem captada. Sendo assim, todas as imagens receberão GeoTag automaticamente e também captura automática através de intervalômetro.

Além disso, este equipamento possui um módulo de configuração através do console de gerenciamento, utilizando cabo USB ou Wi-Fi, conforme ilustrada nas conexões da Figura 3.



Figura 2. Câmera Multiespectral Parrot Sequoia. **Fonte:** Autores, 2019.



Figura 3. Conexões da câmera Sequoia. **Fonte:** Autores, 2019.

Algumas de suas características (Algumas informações foram retiradas do site: <https://pix4d.com/sequoia-faq/>) apresentam-se nos tópicos abaixo:

- Peso: 107g (com cabo e sensor de irradiância);
- Dimensões: 5,9 x 4,1 x 2,9 cm;
- Obturador global nas quatro bandas discretas;
- GSD: 11 cm/pixel em 122m AGL;
- Taxa de captura: um disparo por segundo (todas as bandas), 10-bit RAW (1024 valores);

- Captação simultânea das quatro bandas espectrais;
- Alta taxa de captura, um disparo por segundo, permitindo velocidade de voo maior;
- Memória interna de 64GB;
- Design robusto, sem partes móveis;
- Tamanho do pixel: 3,75 μm ;
- Comprimento focal: 3,98 mm;
- Resolução: 1280 x 960;
- Largura da banda espectral: Verde: 530-570 nm; Vermelho: 640-680 nm; *Red Edge*: 730-740 nm; *Near Infrared*: 770-810 nm.

Esta câmera é utilizada em diversos trabalhos voltados à área agrônômica. Dentre eles, citam-se algumas das suas principais aplicações:

- Geração de índices de vegetação avançados;
- Detecção de doenças e pragas;
- Levantamento de falhas no cultivo;
- Estimativas de rendimento.

Softwares Utilizados

Durante a realização das atividades desenvolvidas no estágio supervisionado obrigatório, utilizaram-se os programas adotados pela empresa Auster Tecnologia. Dentre eles, destacam-se o uso do *Mission Planner* e do *Agisoft PhotoScan*.

O *Mission Planner* é um *software open-source* (código aberto) e gratuito, que foi desenvolvido para ser uma estação de controle em solo para aeronaves.

Em meio a este cenário, destacam-se algumas atividades que este *software* permite efetuar:

- a) Realizar planejamentos de voos: considera diversos aspectos importantes; dentre eles, destacam-se a delimitação das áreas de sobreposição, o número de faixas de voo, o tamanho do *Ground Sample Distance* (GSD) - em português, a distância da amostra do solo;
- b) Conectar o firmware (software) de piloto automático;
- c) Monitorar o *status* do veículo durante a operação;
- d) Gravar o log da telemetria;
- e) Operar o veículo em *First Person Vision* (FPV) - em português, em primeira pessoa;
- f) Sincronizar as imagens com o log de voo.

A empresa Auster Tecnologia adotou esta ferramenta para o planejamento de voo com as aeronaves das séries AT120 e AT190. A escolha deu-se devido a facilidade na operação do *Mission Planner* e por este ser um *software* gratuito.

Segundo seu site, a Agisoft (Informações adaptadas do site: <http://www.agisoft.com/>) foi fundada em 2006 como uma empresa de pesquisa inovadora com foco em tecnologia de visão computacional. Ganhou experiência em algoritmos de processamento de imagem, com técnicas de fotogrametria digital, definindo a direção para o desenvolvimento de ferramentas aplicadas. A Agisoft é a empresa desenvolvedora do *software PhotoScan*.

Este é um programa autônomo que realiza procedimentos fotogramétricos de imagens digitais e gera dados espaciais em terceira dimensão, em sua versão Standard. Além disso, com a versão Agisoft PhotoScan Pro é possível realizar a geração de ortofotos, georreferenciadas e modelos digitais do terreno.

Segundo o site Dronar, o fluxo de trabalho é automatizado, permitindo que uma pessoa não especialista na área consiga processar imagens aéreas em um computador de mesa.

Durante a realização do estágio, utilizaram-se as rotinas deste *software* para a geração dos seguintes produtos de geoprocessamento:

- Elaboração de Modelos Digitais de Superfície (MDS): leva em consideração a altitude dos objetos presentes na superfície topográfica terrestre;
- Geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT): caracteriza-se como uma representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Nessa categoria, podem-se armazenar: a) dados de altimetria para gerar mapas topográficos; b) dados de corte e aterro para projeto de estradas e barragem; c) variáveis geofísicas e geoquímicas; e d) isolinhas de declividade, grade retangular e triangular (TIN), isolinhas geradas a partir de grade etc. [...] (MOREIRA, 2011, p. 308).
- Confeccionar as Curvas de Nível (CV);
- Ortoimagens;
- Gerar os Índices de Vegetação (IV), definido e explicado no tópico 3.4;
- Detecção de falhas de plantio.

Cálculos de Índices de Vegetação

Com o objetivo de evidenciar o comportamento espectral da vegetação e outros alvos da superfície terrestre:

[...] os índices de vegetação foram criados, entre outros fins, para tentar diminuir o trabalho de análise de dados orbitais, através da maximização de informações espectrais da vegetação no menor número de bandas de operação dos sensores [...]. Os índices de vegetação têm sido empregados, com grande sucesso, nos estudos para caracterizar parâmetros biofísicos da vegetação, como: índices de área foliar (HOLBEN et al., 1980; ASRAR et al., 1984; HATFIELD et al., 1985; CLEVERS, 1989), fitomassa (TUCKER, 1979; GREEN, 1987; GALLO et al., 1985; PRINCE, 1991), radiação fotossinteticamente ativa absorvida (WIEGAND et al., 1974; ASRAR et al., 1984; HATFIELD et al., 1984; SELLER, 1985) e produtividade (ASRAR et al., 1985). [...] (MOREIRA, 2011, P. 183).

De acordo com diversos autores encontrados na literatura, Moreira (2011) cita duas principais vantagens do emprego dos IV. A primeira refere-se ao fato de que eles permitem reduzir a dimensão das informações multiespectrais, diminuindo o impacto das condições de iluminação e de visada. Já a segunda diz que estes índices produzem um valor altamente correlacionado aos parâmetros agrônômicos. Com base nestas informações, elucida-se que durante a realização das atividades desenvolvidas se mirou, em uma de suas fases, a utilização dos Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) proposto por Rouse et al. (1973).

Com enfoque neste índice:

[...] os valores de NDVI variam de -1 a +1. Os valores de NDVI negativos representam as nuvens e próximos ao zero, representam o solo nu ou sem vegetação. O valor de NDVI maior que zero representa a vegetação. O maior valor de NDVI representa maior grau de vegetação (verde) na superfície, e este pode ser entendido como a vegetação mais densa ou em pleno vigor de crescimento. [...] (LIU apud SILVA; HAMULAK; RIBEIRO, 2014).

Além disso, ele constata que uma das vantagens da utilização deste IV, em relação a outros, é que ele elimina parcialmente as interferências atmosféricas. A fórmula 1, matemática é definida por:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (1)$$

Onde IVP é a energia refletida na região do Infravermelho Próximo e V a energia refletida na região do vermelho do espectro eletromagnético.

Apresentação e Discussão das Atividades Desenvolvidas

O processo de aquisição de imagens é realizado conforme o plano de voo (Figura 5). Este é programado de acordo com a área do cliente que será mapeada. Esta etapa é fundamental nos serviços, pois garante a excelência dos mapeamentos. Para realizar esta etapa diversos fatores são considerados, dentre eles destacam-se:

- ‘*Ground Sample Distance*’ (GSD): discorre a respeito da representação do pixel no terreno, estando diretamente ligado com a resolução espacial da imagem. Ressalta-se que em GSDs maiores o nível de detalhamento das imagens é menor. Destaca-se também que o GSD está correlacionado com a altura de voo (H). Para as configurações que estão sendo apresentadas, obtém-se um GSD de 11,5 cm.

- Altura de voo: é a distância entre a lente da aeronave e do solo, sendo definida pela relação com o GSD e pelos limites impostos pela legislação brasileira. É importante salientar o vínculo da altura de voo, da distância focal e do GSD. Com uma distância focal definida, diminui-se a altura de voo e, conseqüentemente, o GSD irá diminuir, sendo, nesse caso, uma relação diretamente proporcional. De modo geral, para a obtenção do GSD citado acima, a empresa adota como altitude de voo 120m.

- Sobreposição das imagens: está relacionada com a porcentagem com que uma fotografia se sobrepõe a outra, reconhecendo pontos em comum entre as duas ou mais imagens. Quanto maior o número de pontos reconhecíveis pelo *software* de

processamento de imagens, menor será o erro do georreferenciamento do mapa. Existem dois tipos de sobreposição: lateral e longitudinal. A sobreposição adotada para obter os parâmetros de GSD é longitudinal 77% e lateral 77%.

Levando em consideração os fatores citados acima, os planejamentos de voo realizados na empresa são programados no *software Mission Planner*, que possui a interface apresentada na Figura 4.

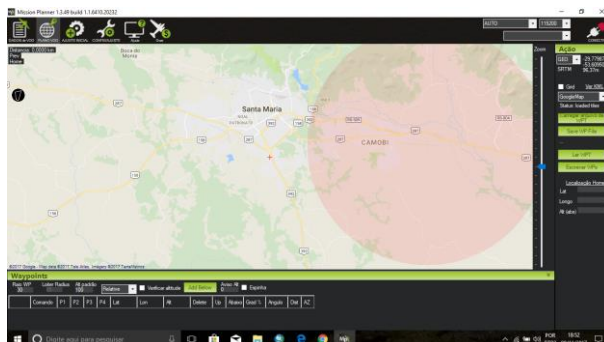


Figura 4. Interface do software Mission Planner. Fonte: Autores, 2019.

Após a definição do plano de voo que a aeronave irá executar, realiza-se o processo de configuração da câmera para a tomada de fotos. Para isso, utiliza-se a tomada por distância entres disparos, sendo que este intervalo é controlado com base nos dados do GPS da câmera. Geralmente, a empresa utiliza um intervalo longitudinal de 25 metros e lateral de 33 metros para a obtenção da sobreposição mencionada anteriormente. A conexão da câmera com o computador utilizada foi por meio da conexão por cabo USB, conforme representado na Figura 5, enquanto a interface do módulo de configuração da câmera apresenta-se na Figura 6.

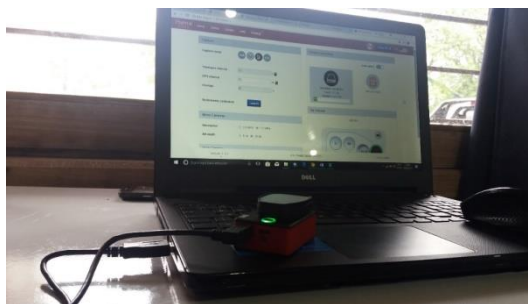


Figura 5. Conexão da câmera por meio do cabo USB com o computador. Fonte: Autores, 2019.

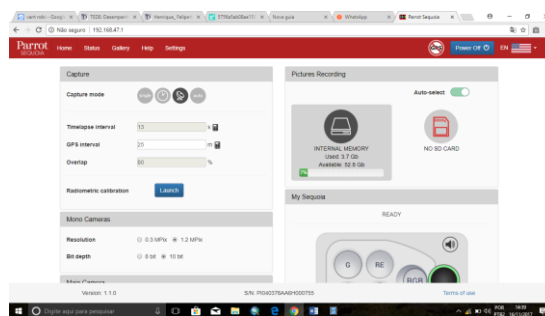


Figura 6. Interface, no computador, da Parrot Sequoia. **Fonte:** Auster tecnologia

Durante o período do estágio, foram realizados diversos voos, principalmente na região central do Rio Grande do Sul, majoritariamente nos municípios de Júlio de Castilhos, Itaara e Santa Maria.

Em campo, é necessário conectar a bateria da aeronave com a câmera Sequoia (Figura 7):



Figura 7. Conexão embarcada na aeronave entre a bateria e a câmera multiespectral.

Fonte: Autores, 2019.

A decolagem da aeronave, geralmente é realizada por tração de elástico, conforme a Figuras 8:



Figura 8. Aeronave posicionada para decolagem. **Fonte:** Auster Tecnologia

Após a decolagem, o SARP executa planejamento de voo e tomada de fotos conforme as configurações realizadas no planejamento de voo e na câmera. Após os procedimentos, o pouso é realizado por paraquedas.

Uma das vantagens do *PhotoScan* é a otimização do layout do programa que facilita sua utilização. Nesta etapa, é citado o instrumental contido na ferramenta “Fluxo de Trabalho”, que se apresenta na barra superior do software. Esta reúne todas as etapas do processamento até a geração dos ortomosaicos.

Para iniciar um projeto, inicialmente realiza-se a adição das fotos (Figura 9) que vão ser processadas utilizando a opção ‘Adicionar Fotos’. Em caso de processamento de imagens multiespectrais, as bandas monocromáticas devem ser processadas em conjuntos de imagens separados. Sendo assim, no final do processamento das

imagens haverá dois projetos, um para a construção dos índices de vegetação realizado, com base nas imagens monocromáticas, e outro para a geração da ortofoto com base nas imagens referentes à faixa do visível. Nesta etapa, do relatório será demonstrado o processamento com o conjunto de imagens RGB.

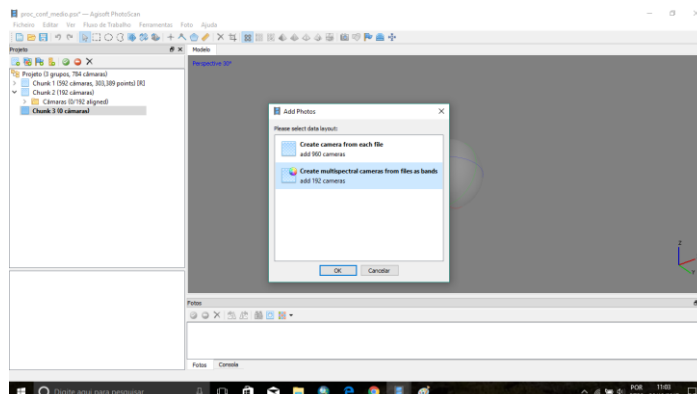


Figura 9. Painel de configuração para adicionar as fotos. **Fonte:** Autores, 2019.

Após a adição do conjunto aerofotogramétrico, realiza-se a primeira etapa para construção de um MDS. Na aba 'Fluxo de Trabalho' utiliza-se a ferramenta 'Alinhar Fotos', responsável por realizar o processo de foto triangulação, resultando em uma nuvem de amarração que tem como função materializar o sistema de coordenadas do terreno. Na Figura 10, apresenta-se o layout e as respectivas configurações utilizadas para a execução da ferramenta.

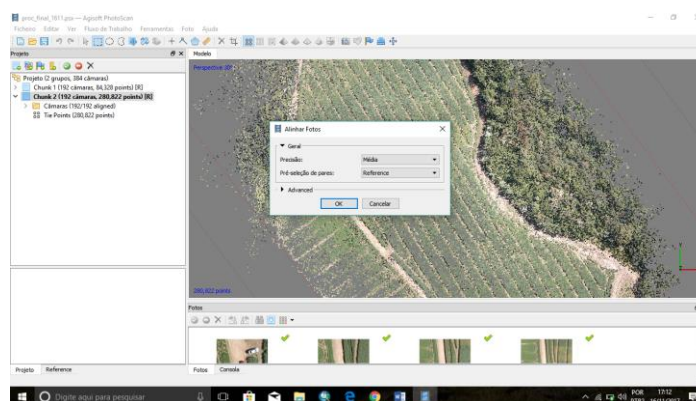


Figura 10. Configurações para realizar o alinhamento das fotos. **Fonte:** Autores, 2019.

Em seguida, aplica-se a função para construção de nuvem de pontos densificada, chamada de 'Build Dense Cloud' (Figura 11). Nesta etapa, o software realiza a densificação, ou seja, aumenta de forma quantitativa os pontos da nuvem e, conseqüentemente, irá diminuir os espaços vazios, gerando uma representação melhor da área levantada.

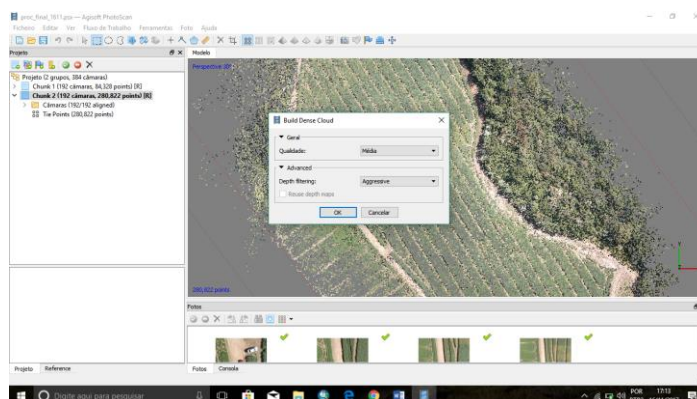


Figura 11. Configurações para realizar a construção da nuvem densa de pontos. **Fonte:** Autores, 2019.

Posteriormente, realiza-se a construção do modelo com a opção 'Build Tiled Model', representada na Figura 12. Como resultado, obtém-se modelos em três dimensões do terreno.

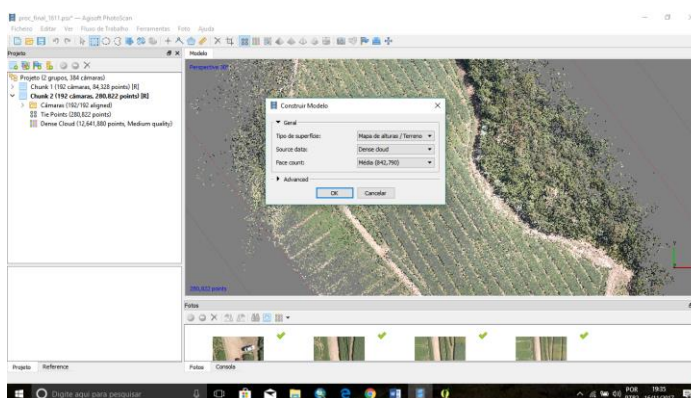


Figura 12. Configurações para realizar a construção do modelo. **Fonte:** Autores, 2019.

Para dar continuidade, realiza-se o processo de construção da textura na aba 'Construir Textura' como representado na Figura 13. O presente objetivo é melhorar visualmente o aspecto do modelo adicionando uma textura sobre o mesmo.

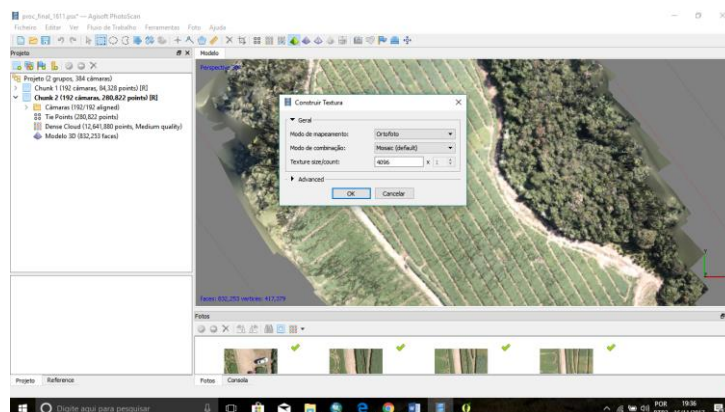


Figura 13. Configurações para realizar a construção da textura **Fonte:** Autores, 2019.

Em seguida, se realiza a construção do modelo digital de elevação (DEM) na aba 'Build DEM', conforme a Figura 14. Desta ferramenta, obtém-se uma imagem raster (2D) do modelo digital de superfície ou do modelo digital do terreno.

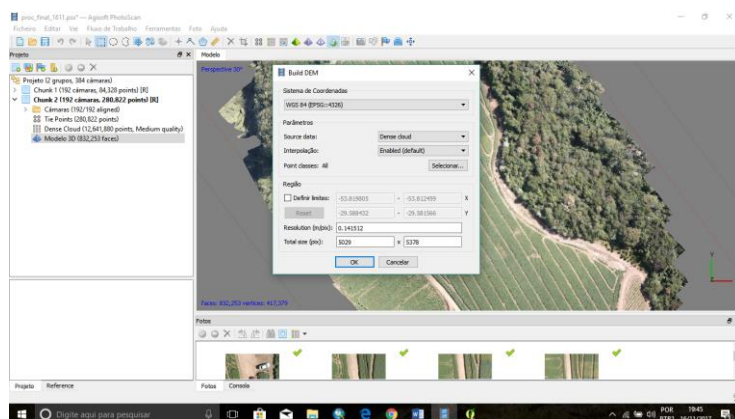


Figura 14. Configurações para realizar o modelo digital de elevação. Fonte: Autores, 2019.

Para finalizar o processo, sucede-se a geração do mosaico de fotos através da aba 'Build Orthomosaic', conforme a Figura 15. Sem apresentar deslocamentos em relação ao terreno e à inclinação da câmera, o processo realiza a ortorretificação das imagens. Com as correções necessárias, o software faz a mosaicagem das ortofotos.

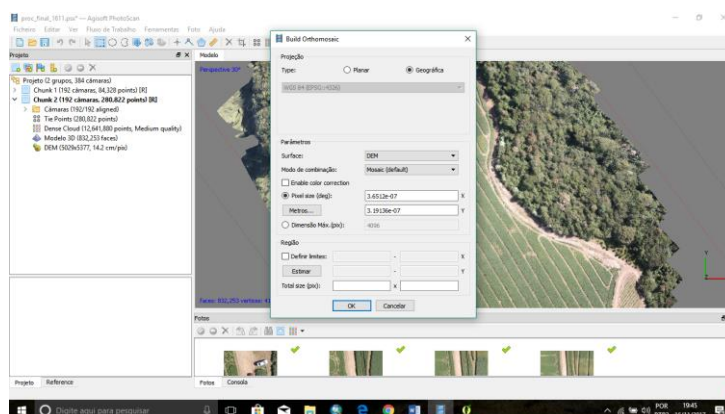


Figura 15. Construção de Ortomosaicos. Fonte: Autor.

Ao terminar o processo se obtém ortomosaicos da área (Figura 16), que são disponibilizados para o cliente em formato de arquivo digital.

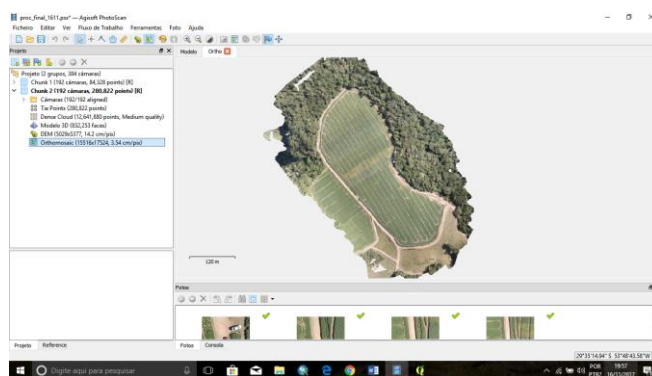


Figura 16. Resultado do processo de geração de ortomosaicos. Fonte: Autores, 2019.

No final do primeiro projeto (neste caso, utiliza o conjunto fotogramétrico referente às imagens RGB), deve-se repetir os passos definidos acima, utilizando os mesmos

parâmetros, mas com o conjunto de imagem monocromático para a realização dos cálculos de índices de vegetação.

A presente fase de realização de atividades encontra-se em teste na empresa. Portanto, as ferramentas apresentadas estão sendo assimiladas e analisadas. O processo que está sendo estudado e utiliza:

a) Primeiramente se utiliza a ferramenta 'Classy Dense Points', figura 17, localizada na aba 'Tools' na opção 'Dense Cloud'. Essa ferramenta é utilizada para definir grupos de pontos que são referentes aos objetos presentes na superfície terrestre.

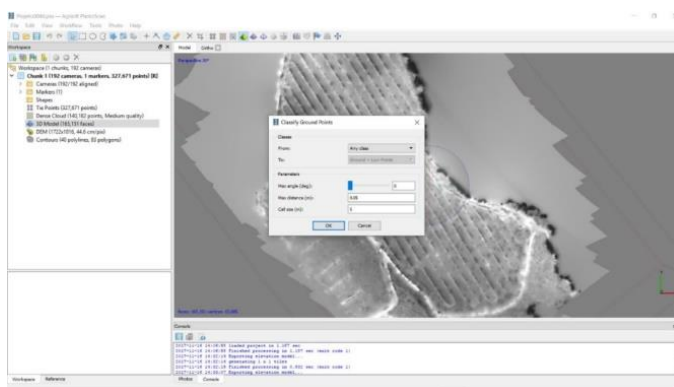


Figura 17. Configurações da aba Classy Dense Points. **Fonte:** Autores, 2019.

Como observado na imagem, esta opção requer a definição, pelo analista, dos seguintes parâmetros (Informações com subsídio no tutorial: [http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.1%20-Tutorial%20\(IL\)%20-%20Classification%20and%20DTM.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.1%20-Tutorial%20(IL)%20-%20Classification%20and%20DTM.pdf)): Ângulo máximo (graus): realiza o teste de pontos de solo conforme condições de limitação para um ângulo que devem ser verificadas ao realizar o mesmo. Sendo assim, adotam-se pontos de questão e conjuntos de limitações para um ângulo entre o modelo de terreno e a linha entre o ponto de questão; Distância máxima (m): realiza o teste de pontos de solo conforme condições de limitação para uma distância que deve ser verificada ao realizar o mesmo. Esse parâmetro determina o pressuposto para a variação máxima da elevação do solo; tamanho de célula (m): faz a determinação de células para divisão da nuvem de pontos. A definição do tamanho da célula deve ser feita considerando o tamanho da maior área contida na cena que não contém pontos de superfície da terra/pontos de solo.

O objetivo desta etapa consiste na detecção, diferenciação e classificação dos pontos que correspondem ao solo e dos que correspondem a estruturas de maior elevação presentes na superfície topográfica terrestre.

b) Em seguida colocar o script abaixo, disponibilizado pela empresa, no menu inferior 'Console' (figura 18). Essa etapa consiste em excluir da nuvem de pontos densa os pontos não referentes a pontos de solo classificados anteriormente.

`"PhotoScan.app.document.chunk.dense_cloud.removePoints([1,2])"`

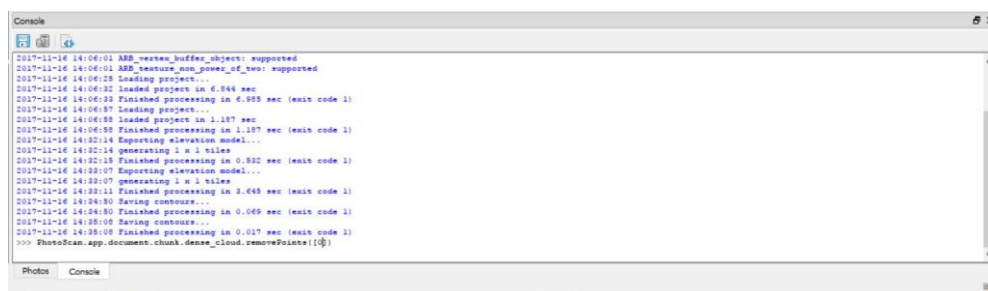


Figura 18. Inserção do script no console. **Fonte:** Autores, 2019.

c) Para finalizar a etapa de geração do MDT, realiza-se novamente o passo de ‘Build Mesh’ e ‘Build DEM’ explicado no tópico 4.3 - Construção de MDS.

Após gerar o modelo, é possível criar as curvas de nível clicando com o botão direito no MDT e utilizando o comando ‘Contours’. Ao terminar o processo, obtém-se uma imagem MDT e um vetor de curvas de nível (Figura 19), que são disponibilizados para o cliente em formato de arquivo digital.

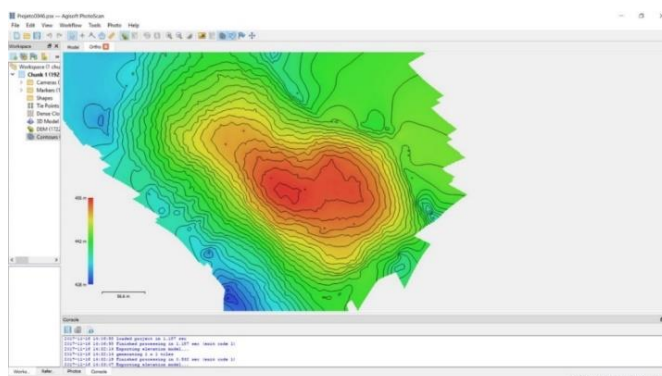


Figura 19. Produto final da construção do MDT e das curvas de nível. **Fonte:** Autores, 2019.

Estes arquivos podem ser exportados para utilização em outros *softwares* em extensão shapefile, no caso dos arquivos vetoriais, ou em extensão .tif, no caso de arquivos raster.

Após o processamento das ferramentas da aba “Fluxo de Trabalho”, tendo como dado de entrada as imagens monocromáticas, é possível aplicar diversos índices de vegetação através da aba ‘Raster Calculator’ (Figura 20) que se refere à aplicação da fórmula do Índice de Diferença Normalizada (NDVI).

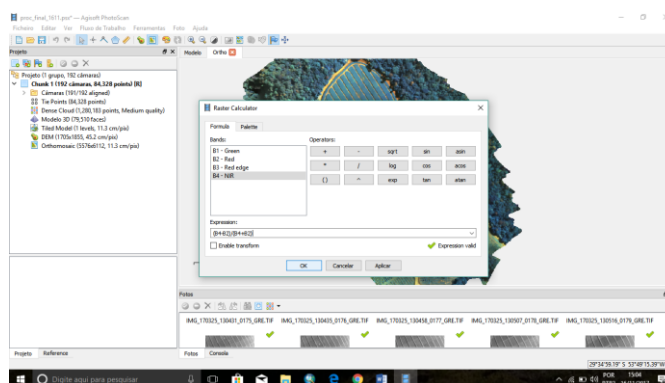


Figura 20. Inserção do cálculo de NDVI na calculadora raster. **Fonte:** Autores, 2019.

Após a aplicação da fórmula, realiza-se o processo de definição de cores conforme intervalos (Figura 21).

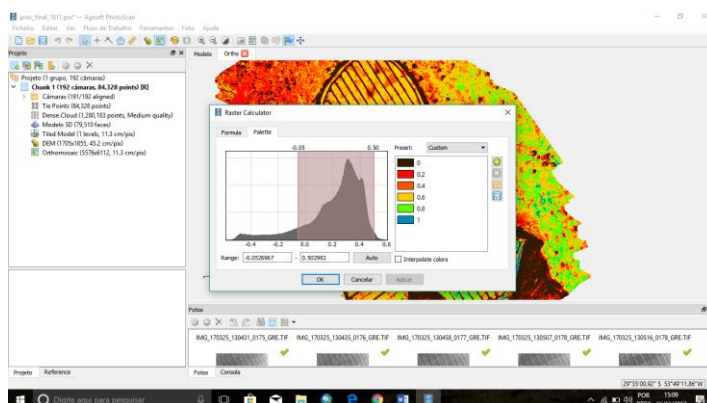


Figura 21. Definição das cores da imagem. **Fonte:** Autores, 2019.

Ao terminar o processo, obtém-se uma imagem com NDVI (figura 22), que é disponibilizada para o cliente em formato de arquivo digital.

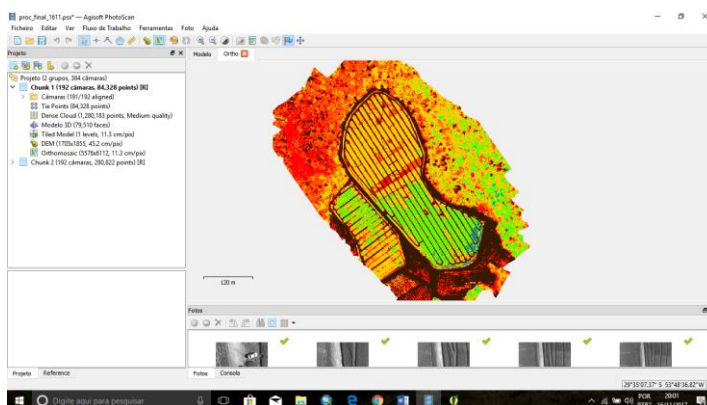


Figura 22. Imagem NDVI. **Fonte:** Autores, 2019.

A detecção de falhas de plantio foi feita de após o processamento e geração da imagem de NDVI. Com esta, realiza-se uma classificação sob o índice na ferramenta “Raster Calculator” na aba paleta, onde se divide o índice em 2 classes, sendo que até 0.2 se considera superfície não vegetal ou vegetal morto e acima deste valor vegetação viva (Figura 23).

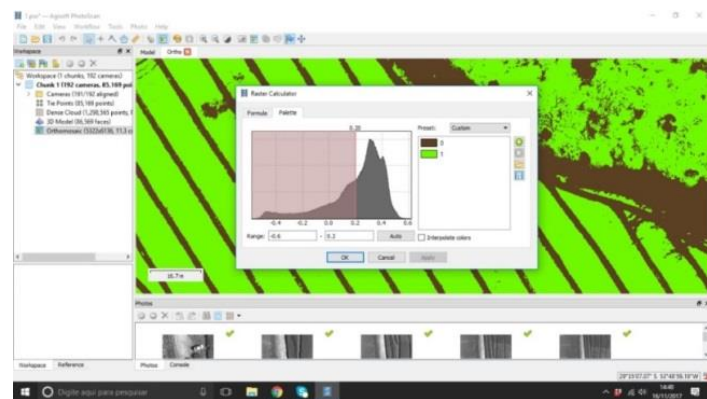


Figura 23. Classificação da imagem NDVI. **Fonte:** Autores, 2019.

Como resultado (Figura 24), obtém-se a imagem classificada representada abaixo. Desta forma, através do alinhamento da classificação da imagem NDVI e da utilização de técnicas de fotointerpretação e dos aspectos que influenciam no reconhecimento é possível detectar área de solo exposto, ou seja, sem cobertura vegetal.

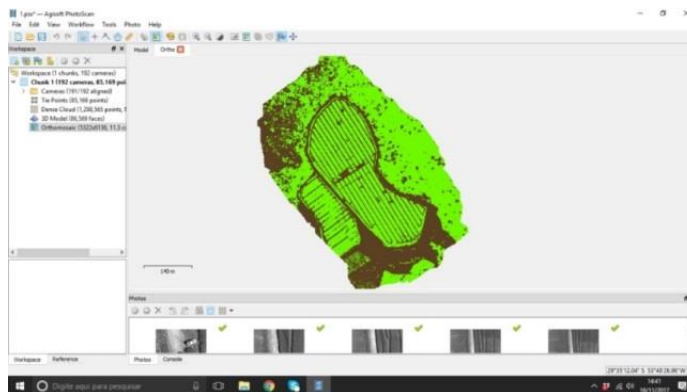


Figura 24. Produto final da classificação. **Fonte:** Autores, 2019.

Em seguida, a imagem raster foi exportada para o *software* livre QGis para a elaboração do *layout* de mapa (Figura 25). Observa-se que no mapa existem dados sem identificação e este não possui suas coordenadas por questões de sigilo do cliente da empresa.



Figura 25. Mapa de Detecção de Falhas de Plantio. **Fonte:** Autores, 2019.

CONCLUSÃO

Esse trabalho foi de suma importância para elaborar produtos fundamentais para a empresa, aplicando técnicas estudadas durante a formação acadêmica. Neste contexto, a realização do estágio supervisionado obrigatório neste ramo propiciou a correlação de métodos, referentes às áreas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, com advenços tecnológicos recentes e inovadores que se encontram em voga no atual mercado brasileiro.

Não somente a equipe da empresa oportunizou que a estagiária trabalhasse nos *softwares PhotoScan* e *Mission Planner*, assim como se disponibilizou a ensinar as

rotinas dos mesmos. Em meio a este cenário, é possível observar aspectos positivos em relação a utilização dos *softwares*.

No *PhotoScan*, as dificuldades para aprendizagem dos procedimentos do software foram poucas, pois durante a formação acadêmica, no ano de 2016, houve a oportunidade de atuar como bolsista no projeto 'Drone no Colégio Politécnico', orientado pelo professor Antoninho João Pegoraro. Durante este período, foram realizadas diversas pesquisas a respeito do funcionamento e aplicabilidade desse *software*, porém sem contato direto com o mesmo, pois o Colégio Politécnico da UFSM não possuía licença do produto neste ano.

Enquanto isso, no software *Mission Planner* encontrou-se uma maior dificuldade de aprendizagem. No entanto, nota-se que, para o entendimento deste, foram fundamentais os conceitos e as aulas da disciplina de Fotogrametria, pois transmitiram a metodologia que fundamenta os processos que foram realizados durante o estágio como, por exemplo, a realização de planos de voo. Além disso, destaca-se a importância das disciplinas de Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação para a análise e entendimento dos produtos que foram gerados. Este é um fator fundamental, pois o analista deve compreender a informação gerada para transmiti-la de forma adequada aos usuários do produto final.

REFERÊNCIAS

AGISOFT. Disponível em: <<http://www.agisoft.com/>>. Acesso em: 29 /se.2015.

ASSAD, E. D. *Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura de precisão*. 2. ed. Brasília: Embrapa – SPI / Embrapa – CPAC, 1998.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. *Parecer CNE/CP 009/2001: Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena*. Brasília, DF, 2001.

BRITO, J; COELHO, L. *Fotogrametria digital*. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2002.

CAPELLI, N.L. *Agricultura de precisão: novas tecnologias para o processo produtivo*. LIE/DMAQAG/ FEAGRI/UNICAMP, 1999. Disponível em: <<http://www.bases.cnptia.embrapa.br/cria/gip/gipap/capelli.doc>>. Acesso em 15 set.2016.

DRONAR. *Agisoft Photoscan: o que é? conheça o novo software*. Disponível em: <<https://dronar.com.br/agisoft-photoscan-o-que-e-conheca-o-novo-software/>>. Acesso em: 29 set.2017.

FELIPETTO, H. S. *Desempenho de um vant na determinação de índices de vegetação da cultura do crambe*. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

FLORENZANO, T. G. *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GAUSMAN, H.W.; ALLEN W.A.; CARDENAS R. Reflectance of cotton leaves and their structure. *Remote Sensing of Environment*, n. 1, p. 19-22, 1969.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. 3. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011.

LIU, W. T. H., *Aplicações de sensoriamento remoto*. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

LOCH, C. *A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. 5. ed. rev. atual. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2008.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. 4. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. *Introdução ao geoprocessamento: sistema de informação geográfica*. Uberlândia, 1996.

ROCHA, C. H. B. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Juiz de Fora, Edição do Autor, 2000.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. *Revista InfoGEO*, n 11 - jan/fev, 2000. Disponível em: <<http://www.infogeo.com.br/Revista/>>. Acesso em 15 set.2017;

ROUSE, J. W., R. H.; HAAS, J. A.; SCHELL, D. W. Deering Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*. NASA SP-351 I, 1973.

SILVA, J; HAMULAK, T. M; RIBEIRO, S. R. A. Comparação entre índices de vegetação em imagem Landsat 5 – TM. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – GEONORDESTE. *Anais...* Aracaju, Brasil, 18-21 nov. 2014.

TEODORO, P. E. *Geoprocessamento e sua importância para engenharia*. 2012. Disponível em: <<http://www.brasilengenharia.com/portal/palavra-do-leitor/1291-geoprocessamento-e-sua-importancia-na-engenharia>> . Acesso em: 17 dez.2016.

XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro, 2004.

Recebido em 06/03/2019
Aceito em 10/06/2019