



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Instituto de Geografia



ANNA CAROLINA BARCELOS

**O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) EM
MONITORAMENTOS DE CAMPO: Aplicabilidades e Viabilidades**

UBERLÂNDIA

2017

ANNA CAROLINA BARCELOS

**O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) EM
MONITORAMENTOS DE CAMPO: Aplicabilidades e Viabilidades**

Monografia apresentada ao Instituto de
Geografia da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos
Rodrigues

UBERLÂNDIA
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ANNA CAROLINA BARCELOS

**O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) EM
MONITORAMENTOS DE CAMPO: Aplicabilidades e Viabilidades**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues (Orientador)

Prof. Dr. Jorge Luis Silva Brito

M.^a Thallita Isabela Silva Martins Nazar

Data: ____/____ de ____

Resultado: _____

Aos meus pais, Cristiane e Clayton Barcelos
pelo total apoio e dedicação

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por minha vida, e por sempre iluminar meus passos, sendo para mim o maior mestre que alguém pode ter.

Aos meus pais, pelo apoio, incentivo e amor incondicional, vocês me ensinam a cada dia ser uma pessoa melhor.

Ao meu orientador Silvio Carlos Rodrigues, pela orientação, conversas, ensinamentos e suporte para que este trabalho fosse possível.

Agradeço também ao Jean Roger Bombonato Danelon, pelos três anos de total apoio, companheirismo, dedicação, paciência e amizade.

Aos meus amigos, Cássia, Letícia, Isabele, Pablo, Larissa, Paula, Jefferson, Diego, Renato, pelos momentos de conversas, pelas risadas, “brigas” na hora de fazer trabalho não é mesmo Pablo?, pelos conselhos que nunca faltaram nas horas mais difíceis, em especial a Yasmmin por ser tão parceira, por estender a mão quando tudo começou, me ensinando e compartilhando seus conhecimentos, sua amizade foi e sempre será essencial na minha vida.

Aos amigos do laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos. Agradeço por todas as contribuições, conversas, risadas, conselhos, saibam que cada um de vocês contribui para que este laboratório seja especial como ele é.

A Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Geografia, em especial aos professores que fizeram parte e contribuíram para a minha formação, aos funcionários da secretária, Mizmar, que não mediu esforços para ajudar quando possível, ao Henrique que sempre estava disponível para ajudar, tirar dúvidas, vocês são exemplos.

Ao CNPQ pelos projetos aprovados, que contribuíram imensamente para o meu crescimento acadêmico.

I have not failed. I've just found 10.000 ways that won't work.
(Thomas A. Edison)

RESUMO

O uso das geotecnologias no Brasil é recorrente em várias áreas do conhecimento científico, tornando-se indispensáveis em pesquisas geográficas. No sensoriamento remoto realizado por VANT (Veículos Aéreos Não Tripulados), apresentam-se inúmeras vantagens, como exemplo, o tamanho reduzido da aeronave. Os veículos aéreos não tripulados são utilizados em diversas aplicações como, no cadastro de propriedades rurais, documentação arqueológica, agricultura de precisão, sistemas de segurança, em pesquisas geomorfológicas de detalhe, no monitoramento de áreas degradadas, entre outras, dessa forma encontram-se distintas categorias de VANT que podem ser utilizados em estudos ambientais. Nesta perspectiva, a utilização de VANTs em estudos ambientais é de grande valia, pois contribui em tempo real na precisão e reconhecimento de áreas de variadas extensões, oferecendo suporte aos pesquisadores, com o auxílio de imagens aéreas de alta resolução, propiciando o mapeamento mais adequado das áreas de estudo e o desenvolvimento das pesquisas nesse âmbito. Ao longo dos anos observa-se que o uso do sensoriamento remoto em estudos ambientais traz resultados expressivos enquanto promovedor de informações, dessa maneira, o presente estudo teve como objetivo, atestar a viabilidade do uso de VANT para monitoramentos de campo e sua aplicabilidade em softwares de processamento de imagens, como resultados, a produção de ortomosaicos, aplicação de índice de vegetação (MPRI) e produção dos modelos de MDEs e MDTs.

Palavras – Chave: VANT; Sensoriamento Remoto; Monitoramento de Campo; Processamento de imagem.

ABSTRACT

The use of geotechnologies in Brazil is recurrent in several areas of scientific knowledge, becoming indispensable in geographic research. In remote sensing performed by UAV (Unmanned Aerial Vehicles), there are numerous advantages, such as the reduced size of the aircraft. Unmanned aerial vehicles are used in a variety of applications, such as in the register of rural properties, archaeological documentation, precision agriculture, security systems, in detailed geomorphological surveys, monitoring of degraded areas and others, thus, different categories of UAV can be used in environmental studies. In this perspective, the use of VANTs in environmental studies is of great value, since it contributes in real time in the precision and recognition of areas in different extensions, offering support to the researchers, with the aid of aerial images of high resolution, providing the mapping of the study areas and to the development of the researches in that scope. Over the years it has been observed that the use of remote sensing in environmental studies brings significant results as an information promoter, thus the objective of this study was to verify the feasibility of the use of VANT for field monitoring and its applicability in image processing software, obtaining as results ortomosaic production, application of vegetation index (MPRI) and production of MDEs and MDTs.

Key-words: UAV; Remote sensing; Field monitoring; Image processing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GERAL	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1. SENSORIAMENTO REMOTO	15
3.1.1. Conceitos básicos de Sensoriamento Remoto	15
3.1.2. Sensoriamento Remoto no monitoramento da vegetação	17
3.1.3. Sensoriamento remoto e os modelos digitais de superfície	18
3.2. CONCEITOS, CLASSES E REGULAMENTAÇÃO DE VANTS NO BRASIL	20
3.2.1. Definição e origem dos VANTS	20
3.2.2. O primeiro VANT brasileiro	21
3.2.3. Classificação de VANTS	22
3.3. Regulamentação no Brasil	24
3.4. Aplicações e Utilização de VANT	27
4. METODOLOGIA	29
4.1. ÁREA DE INTERESSE	29
4.2. Estudo prévio da área de interesse	32
4.3. Planejamento de voo	32
4.3.1. Aquisição de dados e imagens através do VANT	33
4.4. Processamento das fotografias	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1. GERAÇÃO DOS ORTOMOSAICOS	37
5.1.1. Processamento de dados	37

5.1.2. Alinhamento das fotografias	38
5.1.3. Construção da nuvem de pontos	40
5.1.4. Classificação de nuvens de pontos densa	40
5.1.5. Construção da malha poligonal 3D	42
5.1.6. Construção do Ortomosaico	46
5.1.7. Cálculo do Índice de Vegetação	48
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração dos distintos níveis de escala do Sensoriamento Remoto.	16
Figura 2: Diferença entre Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital do Terreno. 19	
Figura 3: (1) Passarola de Pe. Bartolomeu Gusmão.	21
Figura 4: (2) Esboço de Leonardo DaVinci de uma máquina voadora.....	21
Figura 5: Primeiro VANT brasileiro CBT BQM-1BR.	21
Figura 6: Exemplos de tipos de VANT de acordo com sua classificação.	24
Figura 7: Operações Beyond Visual Line-Of-Sight (BVLOS), Visual Line-Of-Sight (VLOS) e Extended Visual Line-Of-Sight (EVLOS).....	26
Figura 8: Mapa de localização da área de interesse.	31
Figura 9: Fluxograma das etapas de processamento das imagens no software Agisoft PhotoScan Professional.	34
Figura 10: Comparação entre foto capturada por VANT e Imagem fornecida pela malha de satélites da Digitalglobe via Google Earth.	36
Figura 11: Inserindo as imagens no software Agisoft PhotoScan	38
Figura 12: Procedimento para calibração automática da câmera.	39
Figura 13: Procedimento de alinhamento automático das imagens.....	39
Figura 14: Nuvens de pontos gerada pelo software.	40
Figura 15: Classificação do terreno no software.	42
Figura 16: Nuvem de pontos densa gerada pelo software.....	43
Figura 17: Criação da grade irregular TIN no software.	43
Figura 18: Modelo Digital de Superfície gerado pelo PhotoScan.	44
Figura 19: Modelo Digital do Terreno gerado pelo PhotoScan.	45
Figura 20: Ortomosaico gerado pelo software Agisoft.	47
Figura 21: Índice de vegetação MPRI.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de tipos de VANT.	23
Quadro 2: Classificação de VANT de acordo com regras da Agência Nacional de Aviação Civil.	25
Quadro 3: Empresas que mais se destacam no mercado nacional.	27
Quadro 4: Softwares existentes no mercado para processamento de imagens de VANT.	28
Quadro 5: Plano de voo no programa Pix4Dcapture.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do VANT DJI Phantom 3 Standard.	33
Tabela 2: Aerolevantamentos durante o ano de 2017, a 50 metros de altitude.	35

SIGLAS E ABREVIACÕES

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil;

BVLOS – *Beyond Visual Line-Of-Sight*;

CBT – Companhia Brasileira de Tratores;

EVLOS – *Extended Visual Line-Of-Sight*;

MDS – Modelo Digital de Superfície;

MDT – Modelo Digital do Terreno;

MPRI – *Modified Photochemical Reflectance Index*;

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado;

VLOS – *Visual Line-Of-Sight*.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o uso das geotecnologias é recorrente em diversas áreas do conhecimento científico, tornando-se indispensáveis em pesquisas geográficas, além disso, é de grande importância no monitoramento ambiental. Ligadas as geotecnologias está a espacialização de informações e dados da superfície terrestre, atividade conhecida como geoprocessamento, que envolve o agrupamento de tecnologias associadas à coleta de dados, processamento e tratamento da informação espacial, análise e oferta de informações com referência geográfica (ROSA, 2005; SOUZA, 2017).

As geotecnologias são um conjunto de ferramentas e técnicas, como exemplo, no Sensoriamento Remoto (SR); no Sistema de Informações Geográficas (SIG ou GIS); no Processamento Digital de Imagens (PDI); na Cartografia Digital; no uso de GNSS (*Global Navigation Satellite System*); Levantamentos Topográficos; Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e ou *Drones*.

O sensoriamento remoto está sendo investido no monitoramento de coberturas vegetais, direcionado especialmente para o comportamento espectral e ou fisiológico da cobertura vegetal. Diversas áreas do conhecimento como exemplo, agronomia, geociências, biologia, silvicultura entre outras, que possuem seu foco e objeto de estudo na observação e análise da vegetação, estão utilizando e aperfeiçoando os moldes de aplicação desses recursos (MELESSE et al., 2007; WENG, 2010; ABREU, 2014).

No sensoriamento remoto realizado por VANT e/ou DRONES, existem inúmeras vantagens, dentre as quais, não oferece risco de óbito de tripulantes, pelo tamanho reduzido da aeronave se tornando de difícil visualização nos sistemas de vigilância do espaço aéreo. O termo *drone* é mais usual nos Estados Unidos, e está sendo aplicado para referir a veículos aéreos não tripulados que incluem normalmente a aplicação mais ativa com robótica e que apresentem maior independência em seu funcionamento. A década de 1970 ficou conhecida como sendo o início da área moderna dos VANTs, especificamente nos Estados Unidos e Israel, com projetos mais acessíveis e pequenos (JENSEN, 2009; LONGHITANO, 2010).

Os veículos aéreos não tripulados são utilizados em diversas aplicações como, no cadastro de propriedades, documentação arqueológica, agricultura de precisão, sistemas de segurança, em pesquisas geomorfológicas de detalhe, no monitoramento de áreas degradadas, dentre outras, dessa forma encontram-se distintas categorias de

VANT que podem ser aplicados em estudos ambientais. Nesta perspectiva, a utilização de VANTs em estudos ambientais é de grande valia, pois contribui em tempo real na precisão e reconhecimento de áreas de variadas extensões, oferecendo suporte aos pesquisadores, com auxílio de imagens áreas de alta resolução, propiciando o mapeamento das áreas de estudo e o desenvolvimento das pesquisas nesse âmbito (EISENBEISS, 2009; NAVARRO et al., 2015).

Ao longo dos anos se observa que o uso do sensoriamento remoto em estudos ambientais vem trazendo resultados expressivos na qualidade de promovedor de informações. A obtenção de dados de sensoriamento remoto em nível aéreo está ganhando força devido a recente popularização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), também conhecidos como Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) ou traduzido para o português, Sistema de Aeronaves Pilotadas Remotamente. O uso desses equipamentos e plataformas estão se tornando de grande valor para pesquisas em geral (JORGE e INAMASU, 2014; LINHARES, 2016).

Neste contexto, objetiva-se com esta pesquisa demonstrar as potencialidades de utilizar-se do equipamento VANT em monitoramentos de campo e sua viabilidade e aplicabilidade em software de processamento de imagens. Para tanto, serão especificadas as leis que estabelecem o uso do equipamento a nível nacional, os softwares disponíveis no mercado, as campanhas de campo e os produtos gerados através da metodologia escolhida.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Atestar a viabilidade do uso de VANT para monitoramento de campo e aplicabilidade em software de processamento de imagens. Visando utilizar imagens capturadas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) na análise de métodos disponíveis, avaliando-se a eficácia na utilização do equipamento para este fim.

2.2. Objetivos específicos

- a) Verificar a qualidade das fotografias aéreas obtidas através de VANT;
- b) Demonstrar a aplicação de métodos viáveis a partir da utilização do VANT DJI Phantom 3 Standart, como na produção do ortomosaico, aplicação do índice de vegetação MPRI e produção do MDE e MDT apartir do software Agisoft Photoscan, de forma qualitativa;
- c) Relatar as dificuldades encontradas através da condição financeira e técnica da pesquisa, apontando pontos positivos e negativos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. SENSORIAMENTO REMOTO

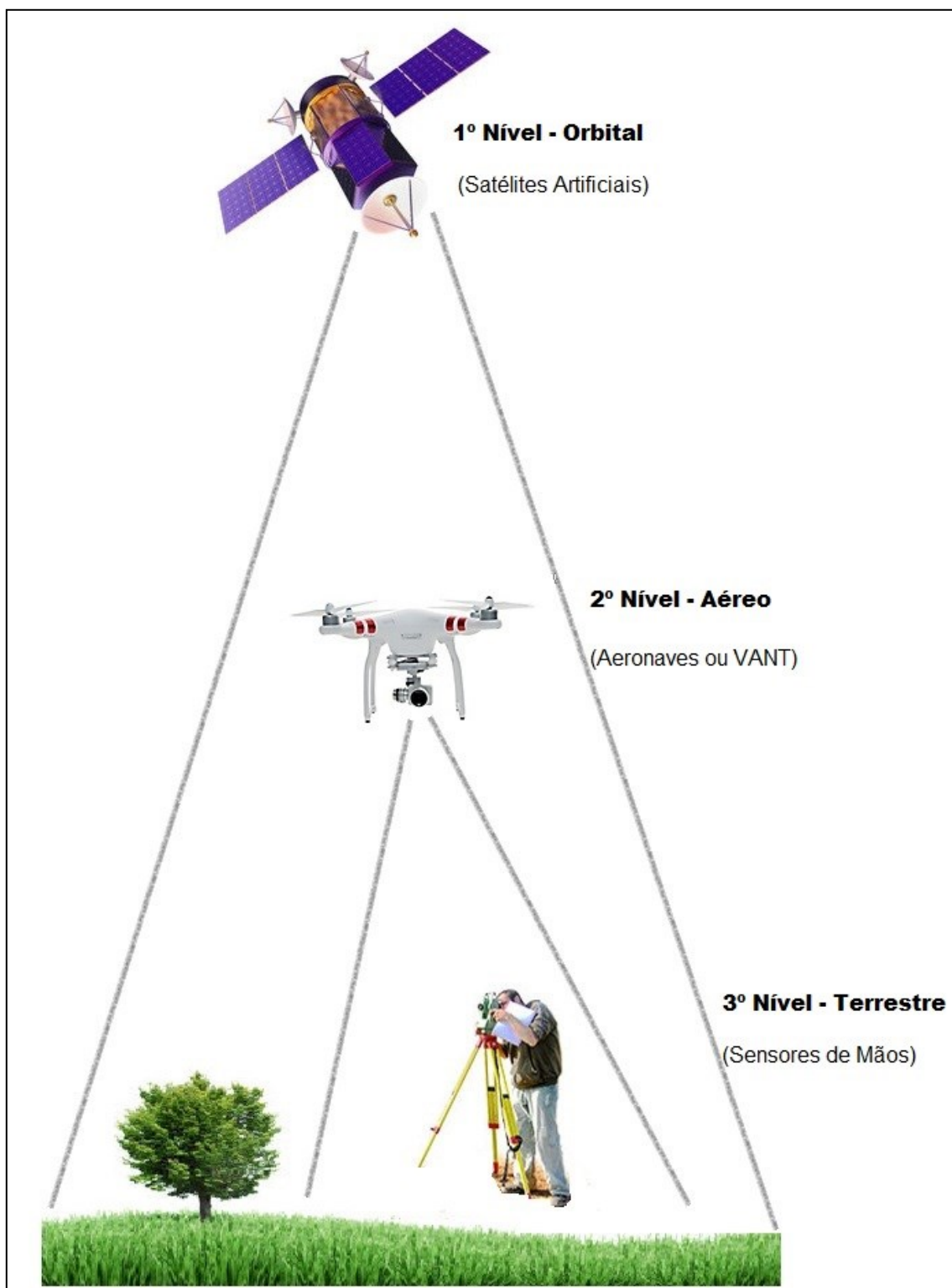
3.1.1. Conceitos básicos de Sensoriamento Remoto

O conceito de Sensoriamento remoto, “Sensor” de sentir, logo é um equipamento apto para localização de sinais e “Remoto” de longe e distante, com isso sensorimanto remoto é a obtenção de dados acerca de fenômenos ou objetos da superfície terrestre, fazendo uso de sensores, não havendo contato diretamente entre eles. No livro de Charles Elachi intitulado “*Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*” (ELACHI, 1987) revela que sensoriamento remote nada mais é que “a aquisição de informações sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele” (BATISTA, 2003; NOVO, 2010).

Para Novo (2010) sensoriamento remoto pode ser definido como sendo o uso conjunto de sensores, equipamentos de transmissão posicionados juntamente com aeronaves, espaçonaves e em outras plataformas, com a finalidade de compreender fenômenos, eventos e processos que acontecem na superfície do planeta Terra, desde o registro e análise das influências entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Por meio do sensoriamento remoto é possível alcançar informações atuais, equiparando-se as pesquisas de campo, contudo, existe a viabilidade de exibir áreas com mais agilidade. O distanciamento do sensor em relação à superfície da Terra varia e portanto sua distância é classificada em três níveis de altitude (Figura 1), o primeiro nível é o orbital sendo os sensores a bordo de satélites artificiais, o segundo nível é o aéreo compondo-se dos sensores a bordo de aeronaves e ou dos veículos aéreos não tripulados (VANTs) / *drones* e o terceiro nível se destaca o campo e laboratório utilizando-se dos sensores implantados em estruturas terrestres (FLORENZANO, 2002; LONGHITANO, 2010).

Figura 1: Ilustração dos distintos níveis de escala do Sensoriamento Remoto.



Fonte: adaptada de Batista (2003).

É chamado de radiação eletromagnética (REM) “ a energia que se move na velocidade da luz, seja de forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, que não necessita de um meio material para se propagar” (ROSA, 2007, p.18). O Sol é considerado um corpo essencial para a emissão dessa energia, sendo utilizado para o sensoriamento remoto óptico. A radiação emitida pelo sol após incidir na superfície terrestre poderá ser absorvida, refletida ou transmitida. No momento em que essa radiação é refletida ou transmitida, a mesma poderá ser detectada imediatamente através dos sensores, normalmente quando absorvida essa energia poderá ser emitida novamente em distintos comprimentos de onda e posteriormente sendo detectadas pelos sensores. (BATISTA, 2003; NOVO, 2010).

3.1.2. Sensoriamento Remoto no monitoramento da vegetação

O sensoriamento Remoto possui grande aplicação no estudo da vegetação. Os sensores ópticos presentes em plataformas aéreas e orbitais, ou operados em solo, são eficientes em memorizar elementos importantes da ação de crescimento da vegetação. A premissa para tal efetividade está pelo fato de que a REM é uma das principais componentes do desenvolvimento fotossintético.

Os sensores ópticos se utilizam da REM (fração pertencente à luz) a fim de assimilar o indiretamente o desempenho dos alvos observados e subsidiar dados, ao mesmo tempo em que a planta, através do desenvolvimento fotossintético viabilizado pelos pigmentos, tal como a clorofila, utiliza da REM com intenção de fornecer a si mesma glicose e energia (PONZONI e SHIMABUKURO, 2010; STREIT et al., 2005).

Podem ser realizados estudos do comportamento espectral da vegetação em quatro níveis de coleta de dados: campo, laboratório, orbital e aéreo. O estudo da vegetação por intermédio do sensoriamento remoto tem como objetivo compreender o aspecto que uma determinada cobertura vegetal possui em algum produto de sensoriamento remoto, sendo consequência de um processo complexo que envolve diversos parâmetros e condições ambientais (BATISTA, 2003).

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010), na literatura vários índices de vegetação são propostos, os mesmos com o intuito de examinar as características espectrais da vegetação, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. A fundamentação desses índices efetua-se em razão do comportamento oposto da reflectância da vegetação nas regiões mencionadas.

Por meio dos conhecimentos espectrais adquiridos nas imagens, aplicam-se índices para simplificar a análise de dados das imagens adquiridas pelos sensores, apresentando o comportamento espectral da vegetação reduzindo o efeito do solo ou de outros objetos. Dentre os índices existentes destacam-se alguns como: o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference vegetation Index, NDVI); Índice de Vegetação Normalizada Verde (“Green” NDVI); Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI); e o Índice (GNIR) resultado da razão entre o Verde e o Infravermelho-próximo (NAVARRO et al., 2015).

Outro índice existente proposto por Yang et al. (2008), é o índice MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index), sendo da mesma forma baseado na diferença normalizada entre duas bandas, no entanto, o mesmo utiliza as bandas da região do verde e do vermelho, não dependendo de uma banda do infravermelho. Caso o desempenho da vegetação seja analisado ao longo do visível (R G B) é factível constatar que a relação existe entre as bandas da região do verde e do vermelho são semelhantes à relação existente entre as bandas do infravermelho e do vermelho.

3.1.3. Sensoriamento remoto e os modelos digitais de superfície

O desenvolvimento tecnológico é um fator indispensável quando relacionado à produção de atuais fontes de informações cartográficas, uma vez que as recentes coletas de dados topográficos advêm das técnicas manuseadas pelo Sensoriamento Remoto. Pode-se destacar dentre estas fontes o Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE) entre outros, estes representam uma opção de alto interesse para complementar a carência de mapas.

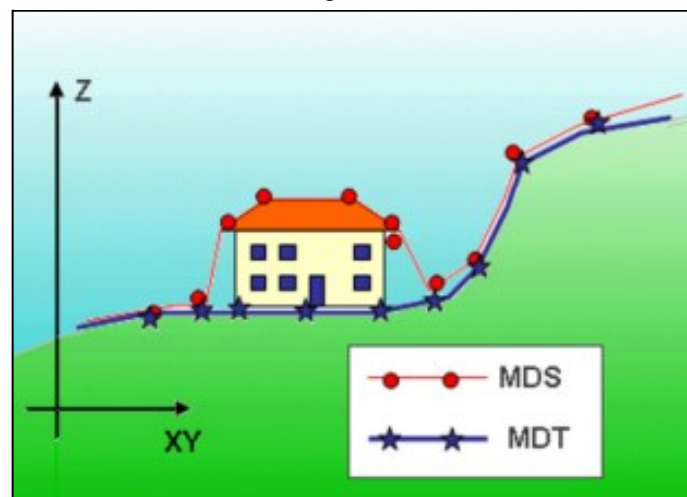
Encontra-se uma diversidade de terminologias para denominação de modelos digitais que representam uma parcela da superfície terrestre, seu uso e cobertura ou de sua topografia. São usuais os termos MDT (Modelo Digital de Terreno), MDE (Modelo Digital de Elevação), MDS (Modelo Digital de Superfície), MNE (Modelo Numérico de Elevação), MNT (Modelo Numérico do Terreno), ou suas variações em inglês sendo, DTM “Digital Terrain Model”, DEM “Digital Elevation Model”, DSM “Digital Surface Model”, como sinônimos, caracterizando um equívoco conceitual (BARROS, 2006).

As terminologias mencionadas correspondem à obtenção, processamento e uso de dados digitais para a construção de modelos que reproduzam, graficamente, o relevo e as demais particularidades do terreno. Doyle (1978) determinou os modelos como

sendo arranjos ordenados de números, que reproduzem a distribuição espacial das propriedades do terreno. Essa distribuição na maioria das vezes é representada pela latitude e longitude ou por um sistema de coordenadas retangulares. O aspecto do terreno pode representar tanto a variável altitude como qualquer outra que se apresenta distribuída no espaço.

Segundo Cruz et al (2011), os MDEs representam a superfície do terreno podendo ser acrescentado quaisquer objetos presentes sobre essa superfície e que induzam no valor da reflectância do pixel. Se nessa superfície existir construções e árvores, a superfície moldada refere-se ao topo delas. Em compensação, os MDTs equivalem a superfície real do terreno (Figura 2).

Figura 2: Diferença entre Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital do Terreno.



Fonte: DronEng, 2016.

De acordo com Barros (2006), os softwares representam os modelos digitais sob a forma de grades, podendo ser irregulares (TIN – Triangular Irregular Network) ou regulares (Grid). Geralmente estas grades são adquiridas a partir de alguma forma de interpolação, podendo ser a partir de amostras pontuais e/ ou lineares. A escolha deve ser feita em função da aplicação, pois cada tipo de grade apresenta vantagens e desvantagens. Quando para fins de processamento a grade regular é adotada, levando na utilização de um TIN e posteriormente convertido para Grid.

3.2. CONCEITOS, CLASSES E REGULAMENTAÇÃO DE VANTS NO BRASIL

3.2.1. Definição e origem dos VANTS

A definição mais adequada para VANTS tem sido atualizada regularmente concomitantemente com sua regulamentação em face dos órgãos oficiais reguladores. A Portaria Normativa nº 606 do Ministério da Defesa, de 11 de junho de 2004, caracteriza-o, através de seu Artigo 4º, como:

"Uma plataforma aérea de baixo custo operacional que pode ser operada por controle remoto ou executar perfis de voo de forma autônoma podendo ser utilizada para:

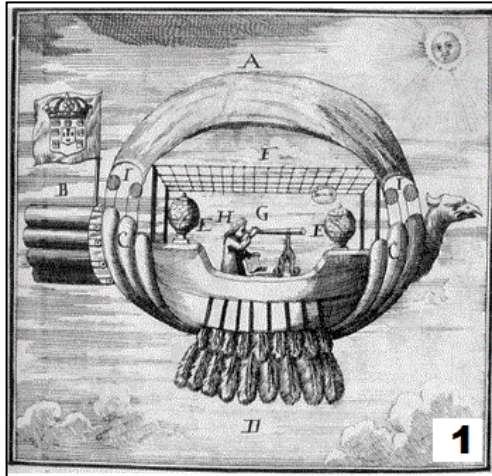
- a) transportar cargas úteis convencionais, como sensores diversos e equipamentos de comunicação;
- b) servir como alvo aéreo; e
- c) levar designador de alvo e cargas letais, sendo nesse caso empregado com fins bélicos."

No Brasil a forma mais usual de se referir a uma aeronave que não leva a bordo uma tripulação é definida como sendo, Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT);. A expressão vem do termo em inglês, *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), esse termo se tornou popular no início dos anos 1990 e foi adotado para substituir o termo *Remotely Piloted Vehicle* (RPV), usado durante e após a guerra no Vietnã (NEWCOME, 2004).

A intenção de desenvolver “máquinas voadoras” foi concebida por volta de 2.500 anos na Grécia e na China, de acordo com Dalamagkidis, Valavanis e Piegler (2012), até então segundo os autores, Pitágoras, Arquimedes e demais pensadores da época estudavam a probabilidade de usar mecanismos autônomos para uma variedade de aplicações.

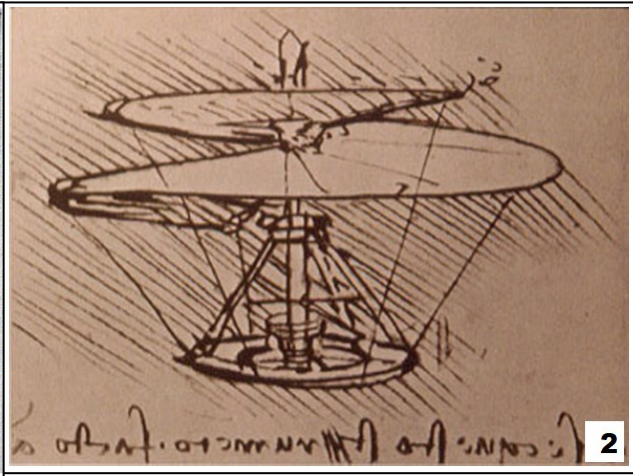
Segundo Dalamagkidis, Valavanis e Piegler (2012), na segunda metade do século XV, o polímata Leonardo da Vinci também arquitetou projetos para desenvolver mecanismos preparados para voar. Apesar disso, registros oficiais da história da aviação mostram que, o padre brasileiro Bartolomeu Lourenço de Gusmão no ano de 1709 realizou o primeiro voo de um mecanismo desenvolvido para esse objetivo, além disso, inventou o primeiro aeróstato operacional ou popularmente conhecido como “a passarola”, apresentando seu mecanismo diante da corte portuguesa, sendo então registrado o primeiro voo de um objeto não tripulado (VISONI e CANLLE, 2009).

Figura 3: (1) Passarola de Pe. Bartolomeu Gusmão.



Fonte: Visoni e Canlle (2009).

Figura 4: (2) Esboço de Leonardo DaVinci de uma máquina voadora.



Fonte: Dalamagkidis, Valavanis e Piegl (2012).

3.2.2. O primeiro VANT brasileiro

Segundo Alves Júnior (2015), o primeiro VANT brasileiro foi fabricado pela instinta CBT (Companhia Brasileira de Tratores), conhecido por CTB BQM-1BR (Figura 5). Desenvolvido no ano de 1982, movido por propulsão a jato, capaz de atingir uma velocidade de até 560 km/h, foi construído em uma estrutura metálica, pesando 92 kg, envergadura de 3,18 m, charuto de 3,89 m e diâmetro de 28 cm, podendo chegar a 6.500 m e autonomia de 45 minutos. Hoje o aeromodelo encontra-se exposto no museu “Asas de um sonho” sendo propriedade da empresa aérea TAM.

Figura 5: Primeiro VANT brasileiro CBT BQM-1BR.



Fonte: Andre Ferreira.

3.2.3. Classificação de VANTs

Os Veículos Aéreos Não Tripulados no princípio foram desenvolvidos para a utilização militar, sendo no decorrer das duas grandes guerras e da guerra fria que se deu o desenvolvimento significativo da tecnologia dos VANTs, com o apoio das frentes militares de vários países como, Alemanha, Estados Unidos, China, Inglaterra, Rússia e Japão (DALAMAGKIDIS, VALAVANIS e PIEGL, 2012; KEANE E CARR, 2013).

Atualmente são utilizados em inúmeras aplicações no mundo todo. São consideradas aeronaves pilotadas por meio do uso de controle remoto, GPS ou rádio frequência. Suas aplicações prolongam-se para o monitoramento ambiental e mapeamento de áreas específicas, de acordo com suas diversas características vantajosas, como exemplo, sua capacidade de mover-se em uma distância relevante com grande segurança em pouco tempo, reduzindo os custos e na obtenção de imagens em dias nublados (LEITE et al., 2012; BERALDO, 2014).

Hodiernamente, existem no mercado uma grande variedade de modelos de VANTs, com especificidades e distintas finalidades. Os VANTs são classificados de acordo com suas características técnicas, como exemplo, material utilizado em sua fabricação, peso, dimensão, aerodinâmica, execução de voo, duração do tempo de voo entre outras (ANGELOV, 2012).

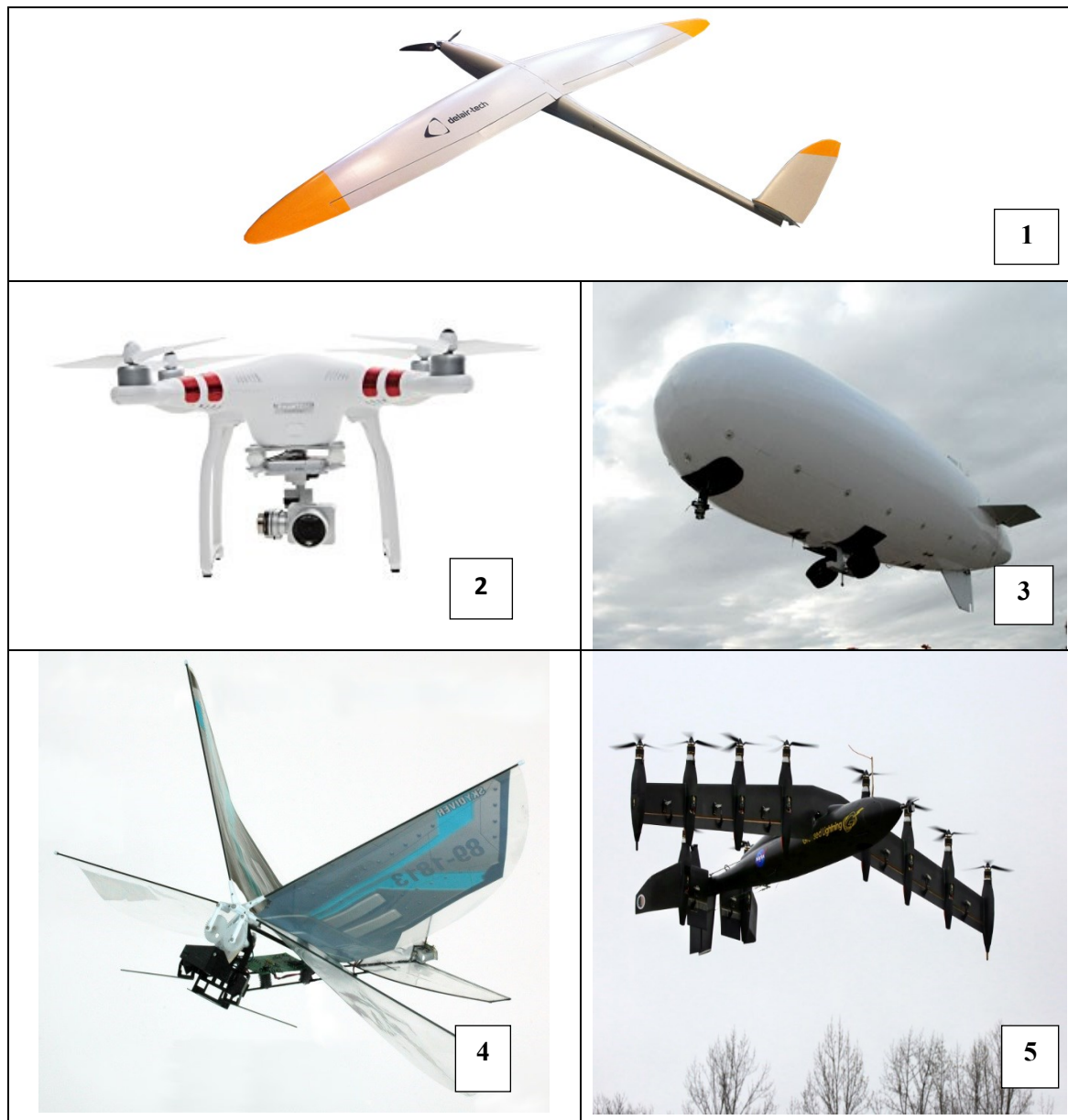
Diversos países possuem sua própria maneira de classificar os veículos aéreos não tripulados, algumas classificações possuem semelhanças entre si, variando com poucas especificações umas das outras. Desta maneira, segundo Alves júnior, os VANTs podem ser classificados em 5 categorias (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação de tipos de VANT.

Categoria	Descrição	Velocidade	Valor
Asa - fixa	Aviões não tripulados com asa fixa, que precisam de uma pista de decolagem e de pouso, ou de uma catapulta para lançamento.	Possui voos de longa duração e pode voar a alta velocidade de cruzeiro.	US\$ 50.000.
Asa-Rotativa	Aviões que possuem asas rotativas, decolagem e aterrissagem vertical e tem a habilidade de pairar no ar e de execuções de manobras.	Possui aspecto de um helicóptero convencional, motores de eixos variando em quatro, seis, oito ou denominados de multimotores e ou drones.	US\$ 499 à US\$ 1499.
Blimps (balões de ar)	Dirigíveis não tripulados são mais leves que o ar e possui longa duração de voo.	Voam a baixas velocidades e geralmente são grandes em tamanho.	US\$ 100.000 à US\$ 200.000.
Flapping-Wing (batedores de asas)	Aeronaves com asas flexíveis, suas asas são inspiradas em pássaros ou insetos alados.	Pode funcionar a uma velocidade de 2,5m/s.	Valor não informado.
Híbridos ou conversíveis	Podem decolar verticalmente e possui habilidade de inclinar os motores para desenvolverem um voo como os aviões.	Podem voar com velocidades de vento de até 6 beaufort (13m/s) e permanecer no ar por até uma hora.	Valor não informado.

Fonte: adaptada de Alves Junior, 2015.

Figura 6: Exemplos de tipos de VANT de acordo com sua classificação.



Fonte: (1) Vant Asa-Fixa, DT-18, desenvolvido pela empresa Delair- Tech. Fonte: Delair aerial intelligence (2017). (2) Vant Asa-Rotativa, Phantom 3 Standard desenvolvido pela empresa DJI. Fonte: DJI (2017). (3) Vant do modelo Blimp, AS10, desenvolvido pela empresa Airship do Brasil. Fonte: Airship (2017). (4) Vant Flapping-Wing, Bipedal Ornithopter for Locomotion Transitioning (BOLT), desenvolvido pela empresa UC Berkeley. Fonte: UC Berkeley (2017). (5) Exemplo de Vant Híbrido, GL-10 Greased Lightning, desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration). Fonte: NASA (2017).

3.3. Regulamentação no Brasil

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) aprovou no ano de 2017 o regulamento especial para utilização de aeronaves não tripuladas, popularmente chamadas de drones. As operações feitas pelas aeronaves não tripuladas (de uso

corportivo, recreativo, experimental ou comercial) a partir deste ano, devem seguir as novas regras.

De acordo com o novo regulamento da ANAC, as aeronaves não tripuladas são divididas em aeromodelos, drones usados para fins recreativos, e aeronaves remotamente pilotadas (RPA), drones empregados em operações corporativas, comerciais ou experimentais. Em conformidade com a regra geral, drones com mais de 250g estão aptos a voar apenas em áreas distantes de terceiros (no mínimo 30 metros horizontais), sendo de responsabilidade do piloto operador.

A classificação de VANTS de acordo com as normas da ANAC foram categorizadas em três classes, seguindo o seguinte critério, peso máximo de decolagem do equipamento, esta classificação é apresentada na tabela 2.

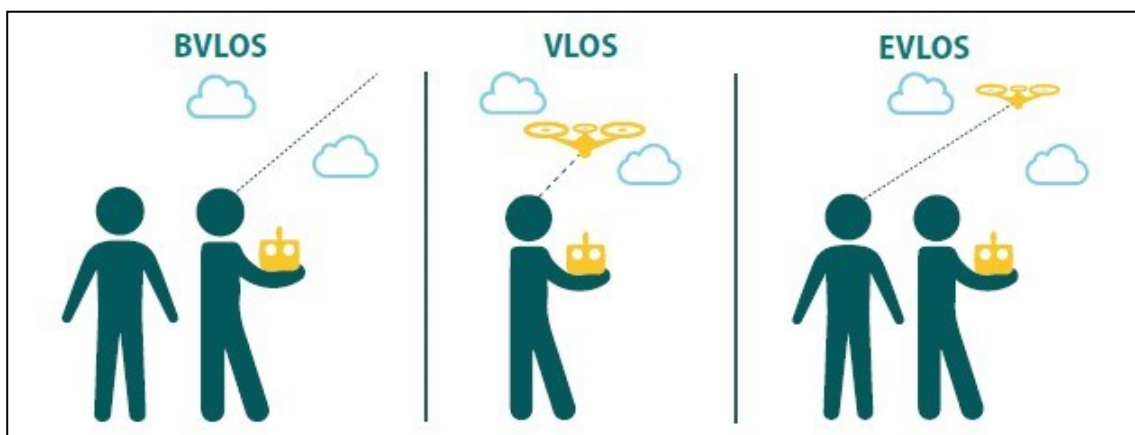
Quadro 2: Classificação de VANT de acordo com regras da Agência Nacional de Aviação Civil.

Classe	Peso Máximo de Decolagem	Exigências de Aeronavegabilidade
Classe 1	Acima de 150 kg	De acordo com a regulamentação, equipamentos desse porte devem ser submetidos a processo de certificação semelhante ao existente para as aeronaves tripuladas, esses drones devem ser registrados no Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 2	Acima de 25 kg e abaixo ou igual a 150 kg	Estabelece os requisitos técnicos que devem ser examinados pelos fabricantes e determinando que a autorização de projeto aconteça apenas uma vez. Esses drones devem ser registrados no (RAB) e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 3	Abaixo ou igual a 25 kg	RPA Classe 3 que operem acima da linha de visada (BVLOS) ou acima de 400 pés (120m) devem ser de um projeto autorizado pela ANAC e devem ser registradas e identificadas com suas marcas de nacionalidade e matrícula. Drones que operarem em até 400 pés (120 m) acima da linha do solo e em linha de visada visual (VLOS) não precisam ser de projeto autorizado, mas devem ser cadastradas na ANAC, através do sistema SISANT. Drones que pesarem até 250 g não precisam ser cadastrados ou registrados, independentemente de sua finalidade.

Fonte: Adaptada de ANAC, 2017.

Operações BVLOS, são consideradas operações onde o piloto não consegue manter o equipamento dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador em campo. Já as operações VLOS, são operações onde o piloto mantém o contato visual direto com o VANT, não havendo necessidade de auxílio de lentes ou outros equipamentos, além dessas duas operações existe também a operação denominada como EVLOS, sendo uma operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com o equipamento com auxílio de lentes ou de outros equipamentos, além disso, necessita de ajuda de um observador.

Figura 7: Operações *Beyond Visual Line-Of-Sight (BVLOS)*, *Visual Line-Of-Sight (VLOS)* e *Extended Visual Line-Of-Sight (EVLOS)*.



Fonte: ANAC, 2017.

Conforme a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017), para pilotar aeromodelos não existe limite de idade mínima, mas para pilotar aeronaves não tripuladas RPA, os observadores e pilotos remotos devem ter no mínimo 18 anos. Os voos com RPA e aeromodelo da Classe 3 não precisam ser registrados, já voos com as demais aeronaves tripuladas das Classes 1 e 2 devem ser registrados. Para pilotos de operações com aeronaves não tripuladas RPA das classes 1, 2 ou 3 que pretendam voar acima de 400 pés, é exigido linceça e habilitação emitidas pela ANAC, em contrapartida operadores de aeromodelos e de aeronaves RPA de até 250g e voando até 400 pés, são considerados licenciados, não havendo necessidade de possuir documento emitido pela ANAC.

3.4. Aplicações e Utilização de VANT

Hoje em dia os VANT são utilizados em diversas aplicações, desde a entrega de itens, como exemplo a entrega de pães no município de São Carlos, SP feita por uma padaria drive-thru através de VANT, monitoramento de impactos ambientais, mapeamento de sítios arqueológicos, controle de doenças e infestações de insetos, pulverização e outras aplicações na agricultura, gestão pública, controle de número de animais e sua migração, filmagem, aerofotogrametria, entre outras. (SIMPSON, 2003; DE GARMO, 2004; LONGHITANO, 2010; GARCIA-RUIZ et al. 2013; PEGORARO et al. 2013; RODRIGUES, 2014).

O veículo aéreo não tripulado é considerado uma ótima ferramenta para aquisição de imagens de alta resolução, sendo de alta resolução temporal e de baixo custo. Essas particularidades do equipamento têm expandido o uso do VANT, em especial na atualização e produção de mapas, em pequenas ou afastadas áreas onde a aplicação da fotogrametria convencional faz-se com que a realização do trabalho se torne economicamente infactível.

A variedade de aplicações e o baixo custo apresentam grandes contribuições para crescimento comercial de VANT no Brasil. Atualmente, encontram-se diversas empresas que vendem estes itens no país, sendo considerado um mercado em difusão, sendo por volta de 20 empresas (Quadro 3 e 4) que comercializam o produto e/ ou itens derivados de sensores conectados aos mesmos.

Quadro 3: Empresas que mais se destacam no mercado nacional.

Empresas de Vant	Empresas de Vant / operações militares
AGX Tecnologia	AEL Sistemas S.A.
Alezi Teodolini	AVIBRAS
Albatroz Aerodesign	Harpia Sistemas
Av AirFilms/Multidrones	
BR VANT	
CPE Tecnologia	
EMBRAVANT	
Orbisat	
Santiago & Cintra Geotecnologias	
Santos Lab	
Somenge Solução em Engenharia	
Skydrones	
Terra Sense	
XMobots Aeroespacial e Desefesa	

Fonte: Adaptado de Alves Júnior, 2015.

Quadro 4: Softwares existentes no mercado para processamento de imagens de VANT.

SOFTWARE	INDICADO	PRODUTOS	VALOR
Agisoft PhotoScan (Russo)	Iniciantes	Mosaico de Ortofoto, Modelo Digital da Superfície, Modelo Digital do Terreno (Filtragem) e Índice de vegetação.	Versão Profissional Edition \$ 3500 (Dólares).
Pix 4D Mapper (Suíço)	Iniciantes	Mosaico de Ortofoto, Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital do Terreno (Filtragem) e Índice de vegetação.	Pix4D MaPPER Pro \$ 8.500 (Dólares).
Trimble UAS MASTER (Alemão)	Projetos de Alta precisão	Mosaico de Ortofoto, Modelo Digital de Superfície e extração de forma automática do Modelo Digital do Terreno.	UAS Master \$ 15000 (Dólares) o software mais caro do mercado.
Menci APS (Italiano)	Iniciante	Ortofoto, MDE e MDT. Facilidade de modificar os dados de saída e exportação de imagens. Possui ferramenta CAD e visualizador 3D.	Valor não informado
Acute 3D	Iniciante	Modelos em 3D. Fluxo de informações confusas sendo necessário outro software para visualização do resultado e pós processamento.	Valor não informado
Microsoft Ice	Iniciante	Faz a junção das imagens, mas não ortorretifica o mapa, não gera nuvem de pontos ou modelo digital de superfície e terreno.	Software livre

Fonte: Do autor, 2017.

4. METODOLOGIA

A seguir serão apresentados os materiais e métodos utilizados para a realização dessa pesquisa, utilizou-se o equipamento DJI Phantom 3 Standard para o imageamento da área de interesse e obtenção das imagens, o software Agisoft PhotoScan foi utilizado para o processamento dos dados obtidos nas campanhas de campo.

No fluxograma foram apresentadas todas as etapas do processamento das imagens capturadas, para posteriormente demonstrar os produtos gerados no software Agisoft PhotoScan. As fotografias que apresentaram de alguma forma erros relacionados a posicionamento ou a falta de iluminação natural (com sombras), foram eliminadas a fim de reduzir possíveis erros durante a etapa de processamento de dados.

4.1. ÁREA DE INTERESSE

A área adotada para aplicação dos métodos propostos no objetivo deste trabalho está localizada na Fazenda Experimental do Glória, situada na bacia hidrográfica do Córrego do Glória, afluente da margem direita do Rio Uberabinha e subafluente do Rio Araguari, sendo propriedade da Universidade Federal de Uberlândia, perfazendo o município de Uberlândia, situado na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba do Estado de Minas Gerais (Figura 8).

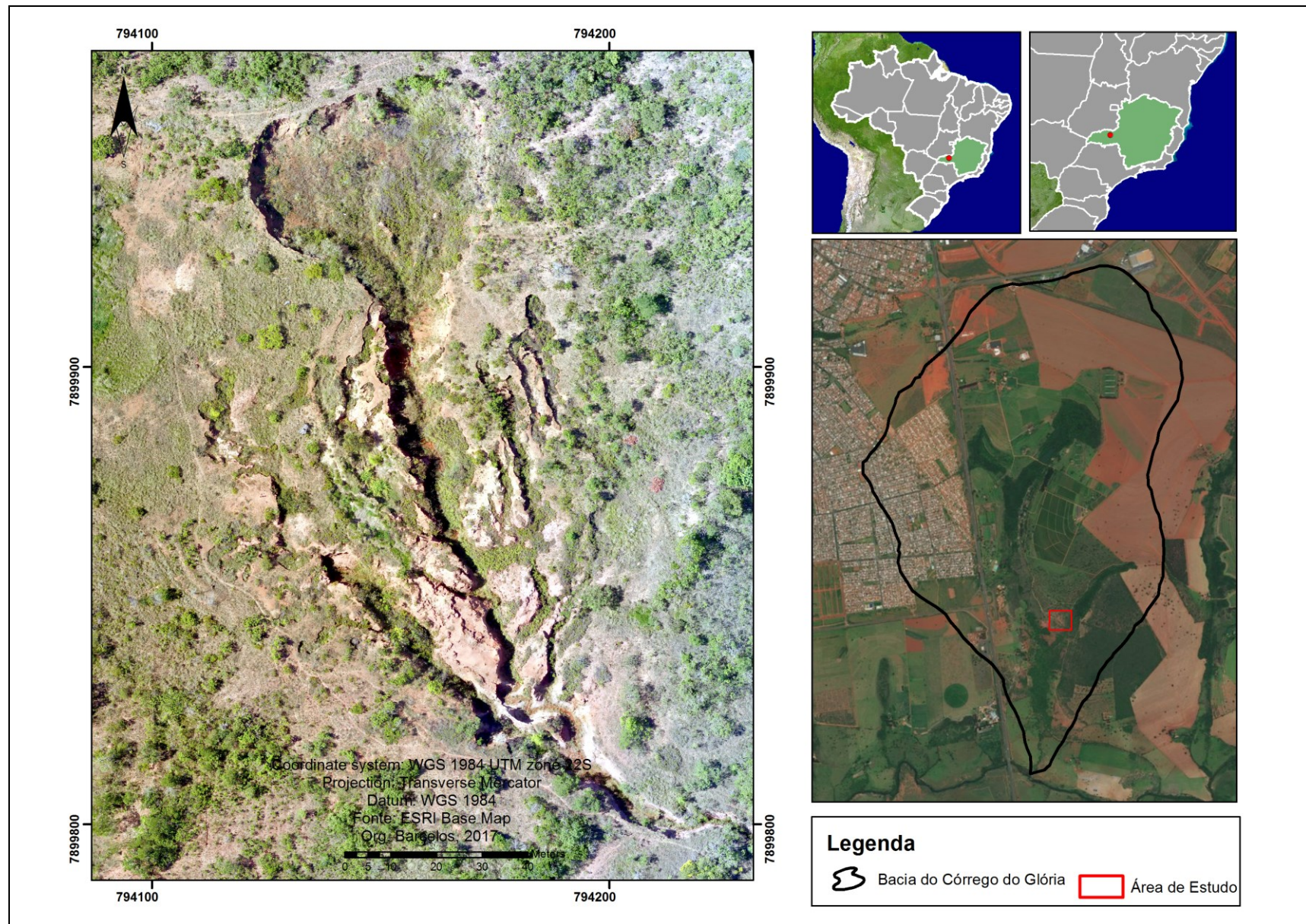
A área em questão originou-se através da exploração inapropriada de cascalho em um trecho de vertente próximo a BR-050 causando grandes impactos ambientais para a bacia, como perda da capacidade produtiva do solo, ravinamento e voçorocamentos. Esses fatores contribuíram para o surgimento de um ambiente instável, favorecendo o aparecimento e evolução dos processos erosivos. Estando situada sob Domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, a formação geológica predominante é a Formação Marília, e os solos presentes são ácidos e pouco férteis do tipo Latossolo Vermelho com textura argilo-arenosa (BEZERRA, 2006).

De acordo com Silva (2010), o clima da região é caracterizado por clima tropical, sendo Aw segundo a classificação de Köppen. Apresenta invernos secos e verões chuvosos, com temperatura média anual de 22°C, variando entre médias de 24°C nos meses de Outubro a Março (meses mais quentes) e 18°C nos meses de Junho e Julho (meses mais frios). Em relação à precipitação, a variação se dá entre 1300 mm a 1700 mm/ano. As estações, chuvosa e seca, duram cerca de seis meses cada, sendo que “este

processo característico ocorre devido ao deslocamento da área de influência das massas de ar que atuam sobre a região, que são elas: Massa Equatorial Continental, a Tropical Atlântica e a Massa de Ar Polar” (ALVES, 2007).

De modo geral, a área citada já passou por diversos processos de recuperação, no presente trabalho ela foi utilizada não como estudo de caso, mas sim como objeto de apoio para o desenvolvimento da pesquisa, com a utilização do VANT para monitoramento de campo e posteriormente avaliação qualitativa do equipamento e dos produtos gerados.

Figura 8: Mapa de localização da área de interesse.



4.2. Estudo prévio da área de interesse

Delimitou-se nesta etapa a área de interesse para ser imageada, definiu-se a altitude média do terreno e verificou-se prováveis problemas para a execução do estudo, podendo ser, obstáculos naturais (árvores, picos), cabos elétricos, construções, entre outros.

4.3. Planejamento de voo

O planejamento dos voos foi realizado no programa Pix4Dcapture (disponível para os sistemas IOS e Android), para definição da rota que o VANT deveria seguir em todos os campos para aquisição das fotografias aéreas verticais. As fotografias tiveram como finalidade, a aquisição qualitativa de dados cartográficos, o produto final desejado sendo a ortofoto, modelo digital de terreno e aplicação do índice de vegetação MPRI. A altura média de voo foi determinada em 50 metros, devido ao estudo preliminar do relevo da área a ser imageada. Foram estabelecidos, cinco faixas de voo de (12 fotografias por faixa, em média). As sobreposições planejadas forma de 80 % lateral e 70% longitudinal, de acordo com orientações da Agisoft (2016).

A escolha do recobrimento de 80% e 70% para as fotografias entre as faixas e nas mesmas faixas teve como propósito a preocupação de maior sobreposição, diminuindo a ocorrência de perda de informações nos ortomosaicos, em princípio, quanto maior a sobreposição, mais satisfatório será a qualidade dos produtos gerados. De acordo com o planejamento realizado, foram realizados nove aerolevantamentos:

Quadro 5: Plano de voo no programa Pix4Dcapture.

Drone Type	Date	Time	Location
Phantom 3 Standard	10 de ago de 2017	15:22	-18.972489°, -48.206302°
Type	Dimensions	Overlap	Camera Angle
Polygon	172m x 209m	80% - 70%	90°
Altitude	Path	Flight Time	Look Grid Center
50m	1330m	6min56s	No
Ok			

Fonte: Programa Pix4Dcapture, 2017.

4.3.1. Aquisição de dados e imagens através do VANT

Para a aquisição das fotografias foi utilizado o VANT DJI Phantom 3 Standard, as principais características deste equipamento são apresentadas na tabela 1. O equipamento se enquadra na classe 3 definida pela regulamentação da ANAC (2017), considerado um quadricoptero, após sua decolagem automática o *drone* grava o local e pode retornar para pousar automaticamente apenas com o comando de um botão, além disso ele se mantém imóvel pairando no ar quando não recebe comandos do controle remoto.

Tabela 1: Características do VANT DJI Phantom 3 Standard.

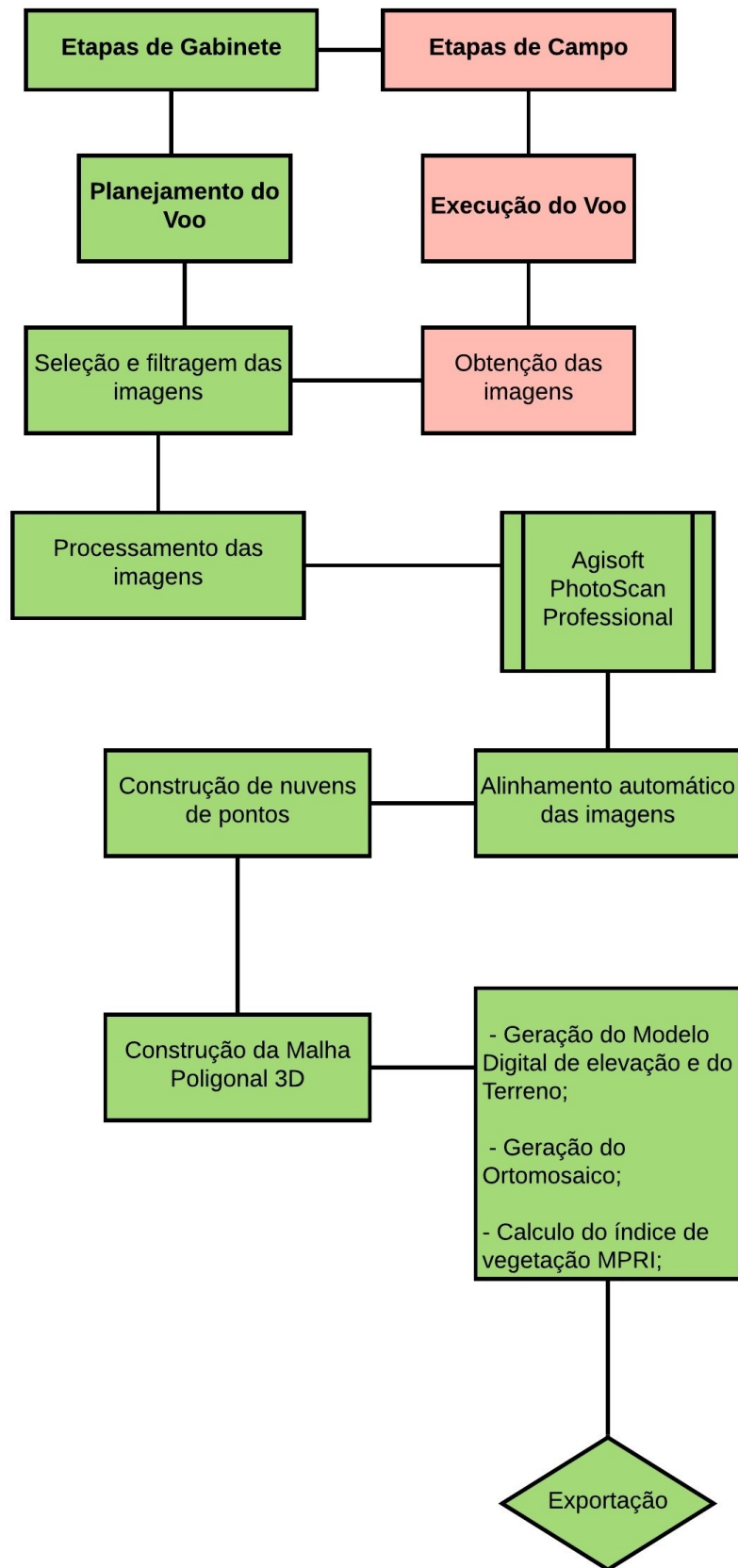
Peso (incluindo Bateria e Hélices)	1.2 kg
Velocidade máxima de subida	5 m/s = 15 km/h
Velocidade Máxima de descida	3 m/s = 10,8 km/h
Velocidade Máxima de Movimentação	16 m/s = 54,6 km/h
Altitude máx. (acima do nível do mar)	6000 m
Temperatura de operação	0 ° C a 40 ° C
Modo GPS	embutido
Autonomia de voo	25 minutos
Resolução de fotos	12 Megapixel
Tamanho máximo da imagem	4000 x 3000

Fonte: DJI Phantom 3 Standard, 2017.

4.4. Processamento das fotografias

O processamento das imagens se deu por meio do software aerofotogramétrico específico (Agisoft PhotoScan Professional Edition, Version 1.2.6, 2016), este procedimento seguiu etapas, a primeira etapa consistiu na seleção e filtragem das imagens para posteriormente no software Agisoft PhotoScan realizar o processamento das mesmas, as etapas desse procedimento são apresentadas no fluxograma a seguir (Figura 9).

Figura 9: Fluxograma das etapas de processamento das imagens no software Agisoft PhotoScan Professional.



Elaborado por: Autor, 2017.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos voos realizados com o VANT DJI Phantom 3 Standard, é possível atestar que o presente estudo atingiu seu objetivo principal, o qual era de expor a qualidade das imagens capturadas em campo para o processamento digital, aplicação de métodos disponíveis no software utilizado e posteriormente a geração dos produtos, sendo os ortomosaicos aptos para geração de Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital do Terreno e cálculo do MPRI.

Para a realização deste trabalho foram executados nove aerolevantamentos durante o ano de 2017, nas datas de:

Tabela 2: Aerolevantamentos durante o ano de 2017, a 50 metros de altitude.

Data do Aerolevantamento	Horário	Quantidade de Imagens Capturadas
23/03/2017	15:30	58
20/04/2017	15:00	152
25/05/2017	15:20	36
07/06/2017	15:00	16
22/06/2017	14:30	59
06/07/2017	14:30	196
26/07/2017	15:00	41
10/08/2017	15:30	5
16/11/2017	15:30	129

Fonte: Autor, 2017.

A quantidade de imagens capturadas em cada aerolevantamento oscilou de acordo com alguns testes realizados antes de definir o software ideal para o processamento das imagens, foram realizados o processamento de todos os aerolevantamentos, menos o do dia 10/08/2017, por questões técnicas de campo. Logo foi escolhido dentre todos os aerolevantamentos apenas um para demonstração, o do dia 16/11/2017.

Para esta pesquisa não foram definidos a utilização de pontos de controle em solo, por dois motivos, o primeiro sendo a falta de conhecimento prévio nos primeiros aerolevantamentos e o segundo relacionado ao software utilizado, que atua de forma automática quando não há pontos de controle nas fotografias. Segundo Galvão (2014), não ocorre alteração significativa na qualidade de caracterização de áreas e perímetros com ou sem a utilização de pontos de controle, indicando, nessas condições, que a

inserção de pontos de controle no terreno pode ser descartada, mas a utilização de pontos de controle pode melhorar o erro médio relativo à dimensão do pixel.

Com o equipamento utilizado foi possível obter imagens com baixa altitude, resultando em imagens com altas resoluções e com boa qualidade com nível de detalhamento superior ao que é obtido por satélites ou aeronaves tripuladas.

A nível de comparação, a qualidade das imagens obtidas pelo VANT se destoa da imagem disponibilizada pela malha de satélites da digitalglobe, como pode ser observado na figura 10, as imagens foram capturadas com altitude de 100 m, a resolução das imagens do Google Earth possui 15 metros por pixel, já as imagens do DJI Phantom 3 Standard conta com uma resolução de 3cm por pixel, viabilizando sua utilização para mapeamentos e atualizações cartográficas.

Figura 10: Comparação entre foto capturada por VANT e Imagem fornecida pela malha de satélites da Digitalglobe via Google Earth.



Fonte: Autor, 2017; BING, 2017.

5.1. GERAÇÃO DOS ORTOMOSAICOS

Os dados de entrada no programa para a construção do ortomosaico são preparados em etapas sendo, 1ª etapa – Fotografias obtidas no voo, 2ª Etapa – Coordenadas registradas pelo VANT para cada fotografia, 3ª Etapa – reconhecimento dos ângulos de atitude da aeronave (ângulos de Euler – Kappa, Phi e Ômega). A geração dos ortomosaicos para cada um dos 9 voos ocorreu de forma automática, utilizando o software Agisoft PhotoScan.

A metodologia do programa Agisoft PhotoScan para a mosaicagem automática das fotografias obtidas em voo quando não são utilizados pontos de controle de solo, o software opera em cinco etapas (AGISOFT, 2013):

1ª etapa – Verificação das coordenadas e dos ângulos de atitude respectivos a cada imagem para o alinhamento das mesmas;

2ª Etapa – Verificação e estabelecimento de Pontos de Controle (PC) nas áreas de sobreposição das imagens, gerando uma nuvem de pontos;

3ª Etapa – Otimização da nuvem de pontos (sendo opcional para o pesquisador, auxilia na aquisição de bons resultados);

4ª Etapa – Junção das imagens, através do comando *Building Mesh* (construção da malha);

5ª Etapa – Utilização do comando *Blending* (Misturando/ aplicação da textura), unindo uma imagem à outra sobre a malha obtida.

5.1.1. Processamento de dados

A finalidade do processamento de fotografias aéreas com o software Agisoft PhotoScan é de construir um modelo 3D da área de interesse do pesquisador, exportando o Modelo Digital de Elevação (MDE) e a ortofoto para outras aplicações. A realização do processamento das imagens adquiridas em campo e a construção do modelo 3D da área desenvolveram-se em quatro etapas, apresentadas a seguir.

5.1.2. Alinhamento das fotografias

As imagens são inseridas no software PhotoScan, onde o mesmo realiza a leitura das informações armazenadas nas fotografias, sendo por exemplo, a dimensão do pixel, a distância focal, a dimensão do pixel para a orientação automática e os centros de projeção resultantes do posicionamento do GPS embutido no VANT.

Figura 11: Inserindo as imagens no software Agisoft PhotoScan

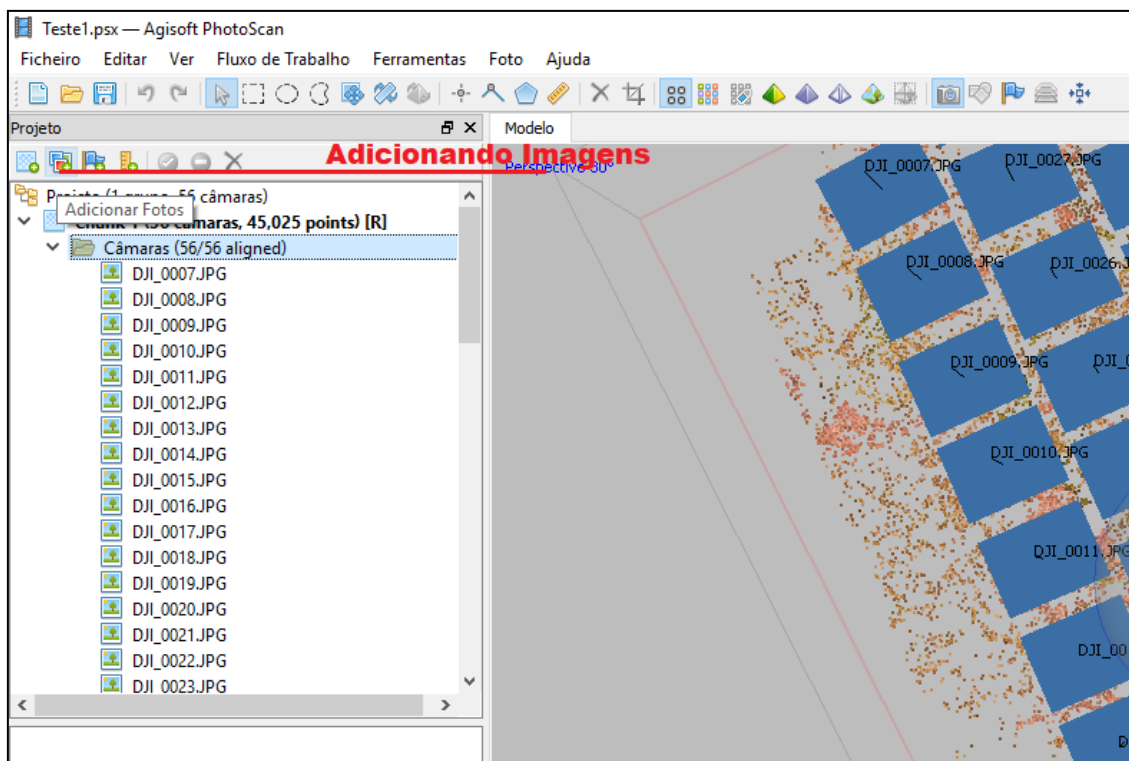


Figura 12: Procedimento para calibração automática da câmera.

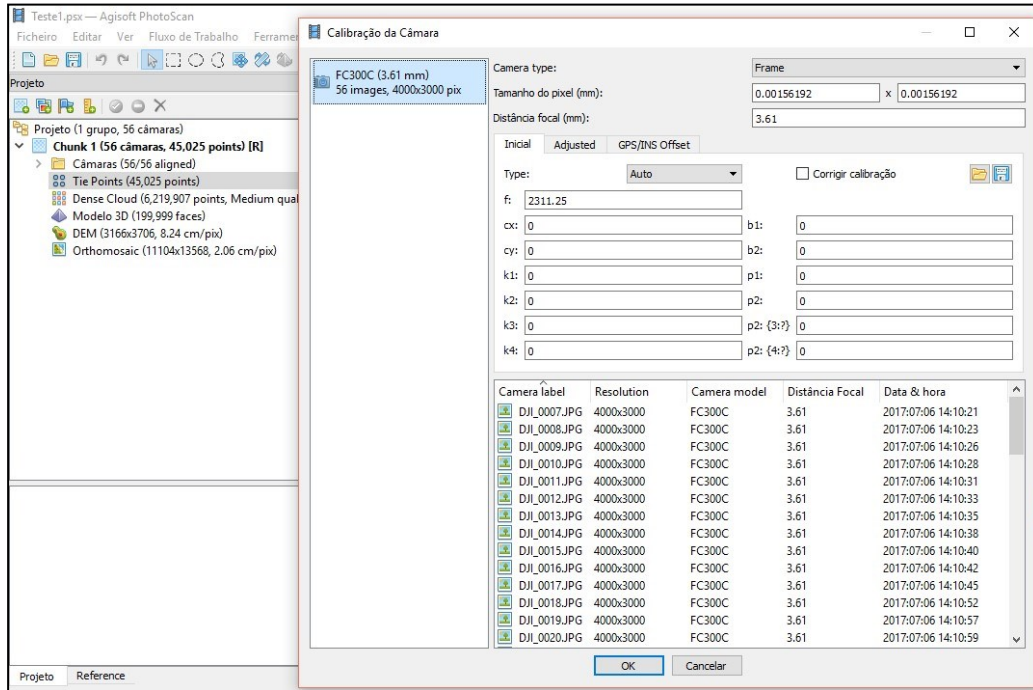
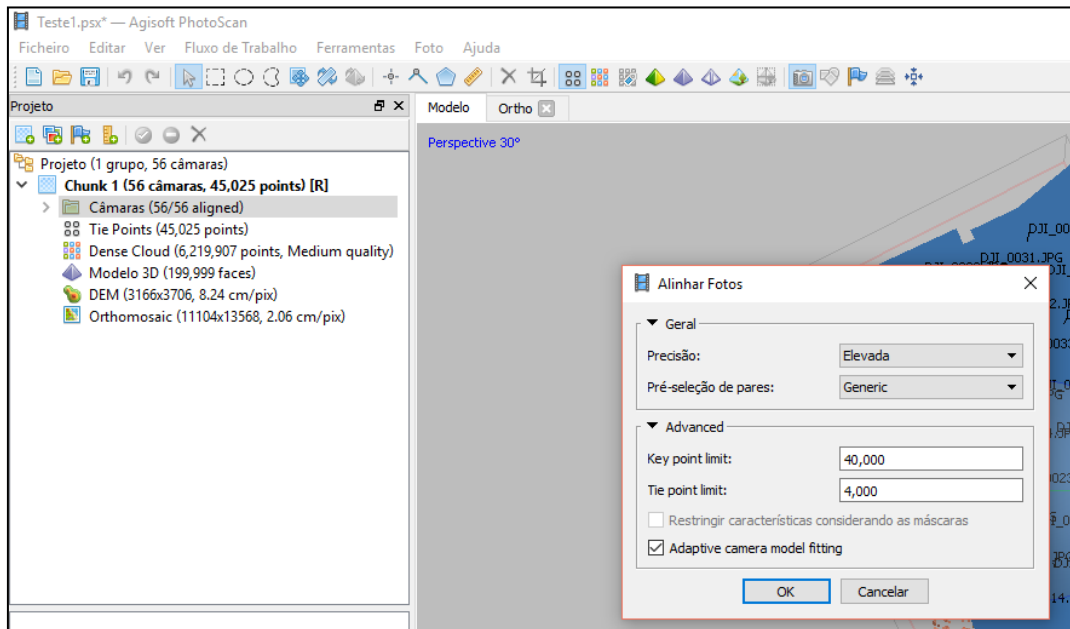


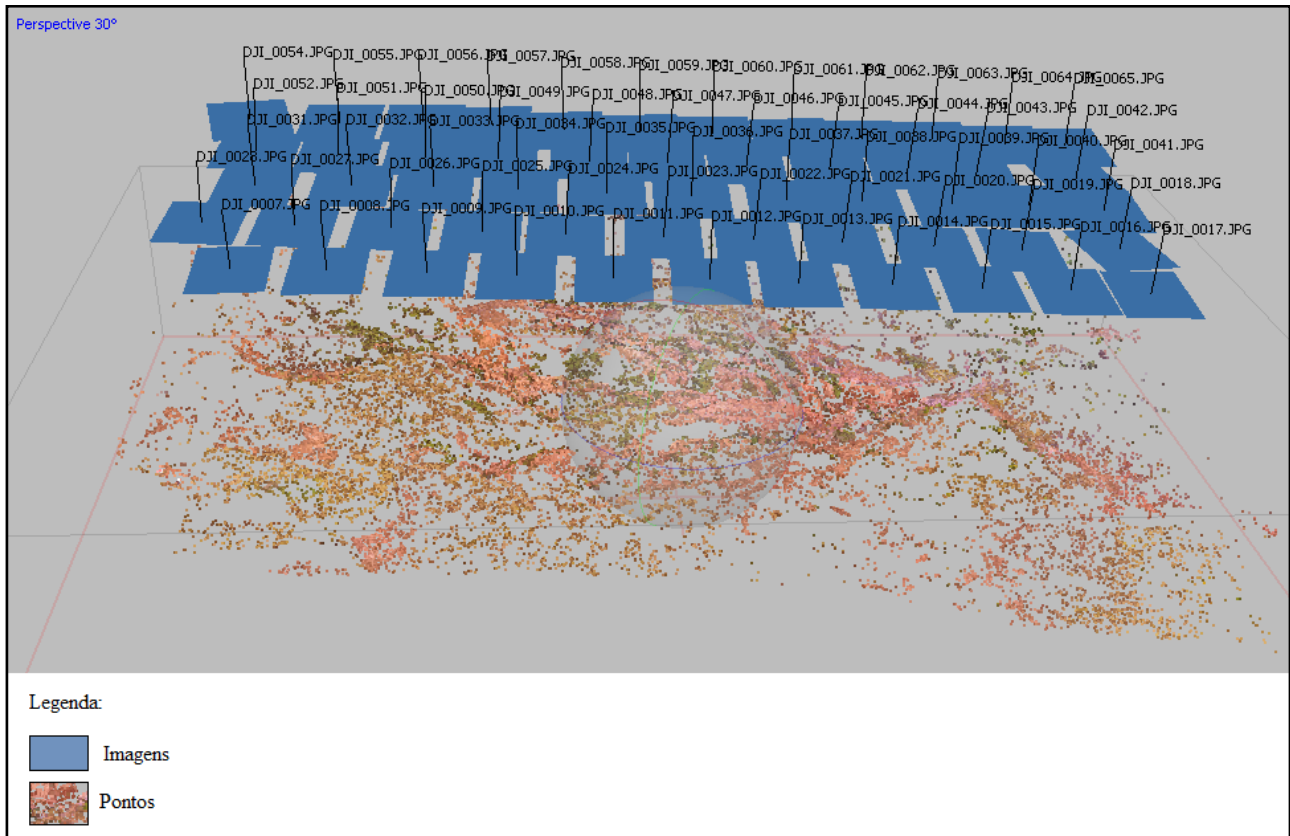
Figura 13: Procedimento de alinhamento automático das imagens.



5.1.3. Construção da nuvem de pontos

Após o procedimento de alinhamento das imagens, formou-se uma nuvem de pontos esparsos, os quais auxiliaram na construção do modelo 3D.

Figura 14: Nuvens de pontos gerada pelo software.



5.1.4. Classificação de nuvens de pontos densa

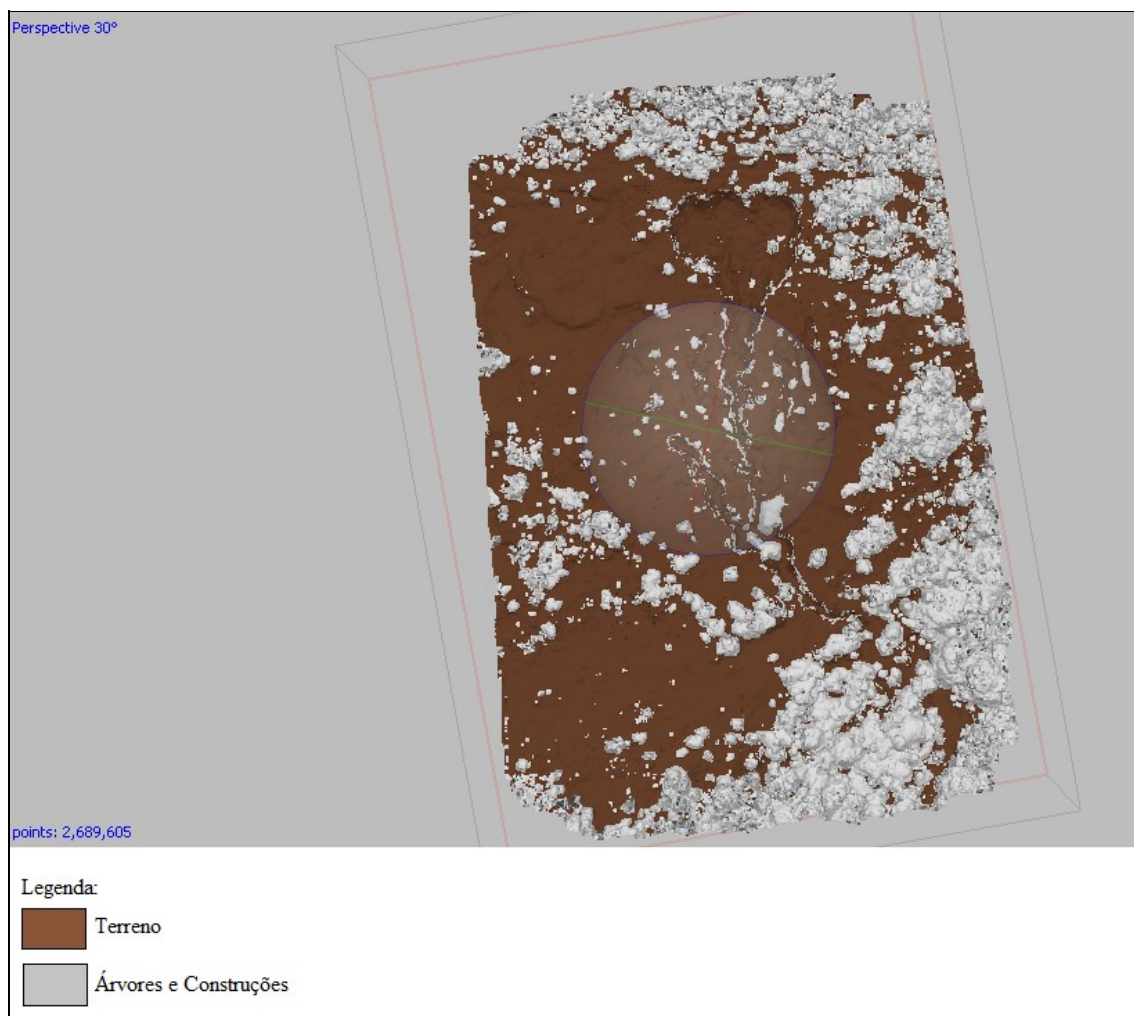
A classificação de nuvens de pontos foi realizado separadamente em duas qualidades, sendo feito dois processamentos um em alta qualidade para geração do Ortomosaico e do Modelo Digital de Elevação, e o outro em baixa qualidade para geração do Modelo Digital do Terreno. Esse procedimento é realizado em baixa qualidade pois no procedimento de alta qualidade as curvas de nível saem exageradas, já no modelo de baixa qualidade as curvas de nível se apresentam mais próximas da topografia convencional.

No modelo de baixa qualidade, é feito o procedimento de nuvens espaçadas, gerando a nuvem de pontos densa também em baixa qualidade, logo depois é feito a classificação da nuvem de pontos, a partir dessa classificação é retirado o que tem em cima do terreno, configurando a ferramenta “Classify Ground Points” de acordo com as características de cada terreno, sendo analisadas as diferenças de inclinação (processamento do software), tudo que se apresentar na coloração marrom é considerado terreno e em cinza não sendo terreno, sendo as árvores, postes, construções, etc (Figura 15).

Logo após esse procedimento de classificação, é feito a construção do modelo, utilizando-se do mapa de alturas, da nuvem de pontos densa e o número de faces baixa (aproximadamente 50,000), habilitando nas ferramentas avançadas apenas o ponto do terreno. Gerando o modelo digital do terreno em baixa qualidade para gerar as curvas de nível, no próximo passo é reduzido a malha para ter menos definição para gerar as curvas, para a realização desse passo no procedimento é necessário ir primeiro em “ferramentas”, segundo “Mesh” e terceiro em “Smooth Mesh”, e a malha é automaticamente reduzida.

Depois desses passos, é gerado o mapa de elevação do terreno, ao invés de utilizar-se a nuvem de pontos densa nesse procedimento é utilizada a malha ou “Mesh”, além disso, é selecionado novamente as coordenadas para a geração do DEM no caso dessa pesquisa utilizou-se o sistema de coordenadas WGS 84 / UTM zone 22S. O último passo desta etapa é gerar os contornos, e em seguida gerar o ortomosaico em cima da malha, para que o mesmo seja processado com excelente definição. Nesse último passo pode ser feito correções se necessário.

Figura 15: Classificação do terreno no software.



5.1.5. Construção da malha poligonal 3D

Logo após a construção da nuvem de pontos, procedeu-se com a reconstrução da malha poligonal 3D, a partir de todas as imagens, dando origem à nuvem de pontos densa. O software aplica para superfícies planas e relevos o algoritmo “mapa de alturas/terreno” (AGISOFT, 2016), o mesmo foi utilizado para a densificação. O software em questão utiliza uma técnica própria, baseando-se na abordagem *multi vision stereo* (GONÇALVES et al., 2015; FURUKAWA & PONCE, 2010).

Em seguida, foi gerado uma grade triangular irregular (TIN – *Triangulated Irregular Network*), método de estruturação dos dados que possibilita a criação de uma superfície a partir dos pontos espaçados irregularmente. Os triângulos que integra a TIN ajustaram-se a densidade de pontos detectados no processamento para aquisição dos

pontos homólogos. De acordo com a irregularidade do relevo, quanto maior ela se apresentar, maior será a densidade de pontos e, portanto, maior será a densidade de triângulos de grade irregular. Dessa maneira, gerou-se o modelo digital de superfície (MDS) (Figura 18) e o modelo digital do terreno (Figura 19).

Figura 16: Nuvem de pontos densa gerada pelo software.

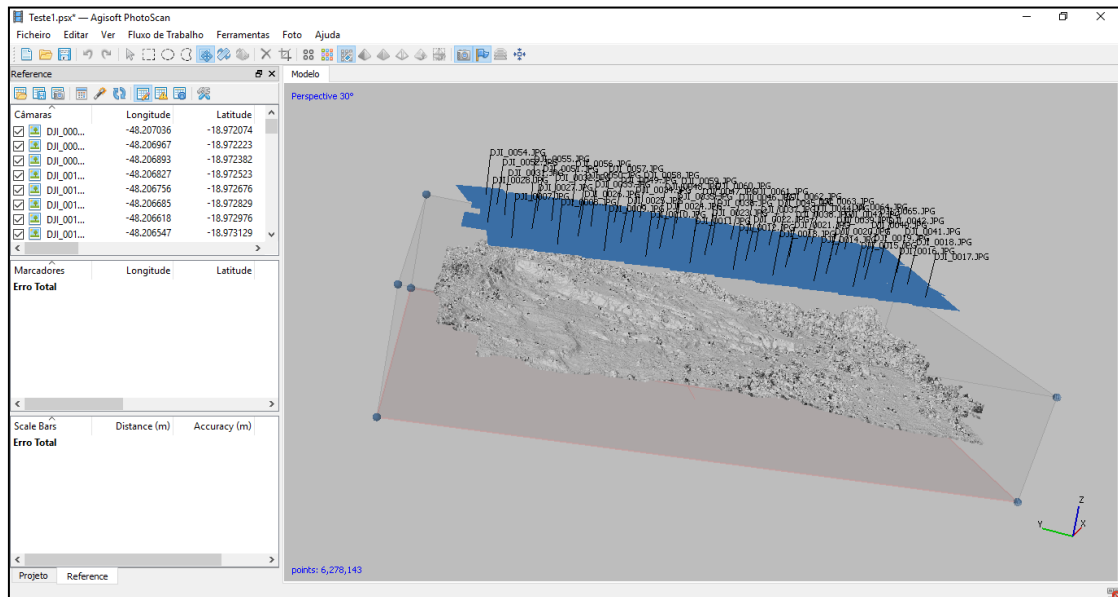


Figura 17: Criação da grade irregular TIN no software.

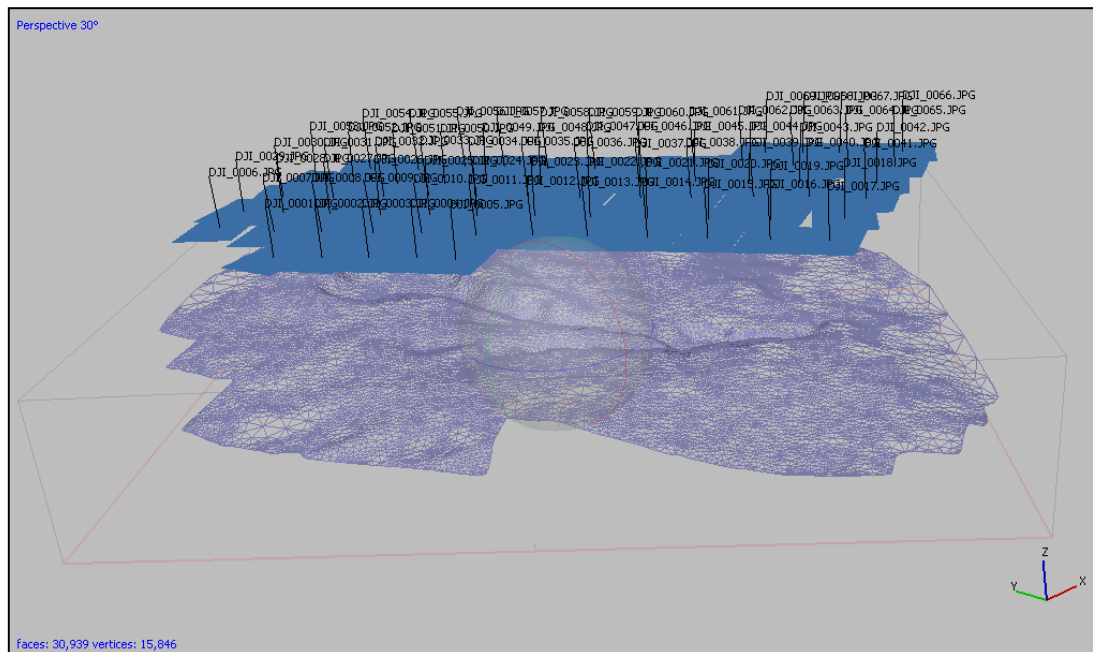


Figura 18: Modelo Digital de Superfície gerado pelo PhotoScan.

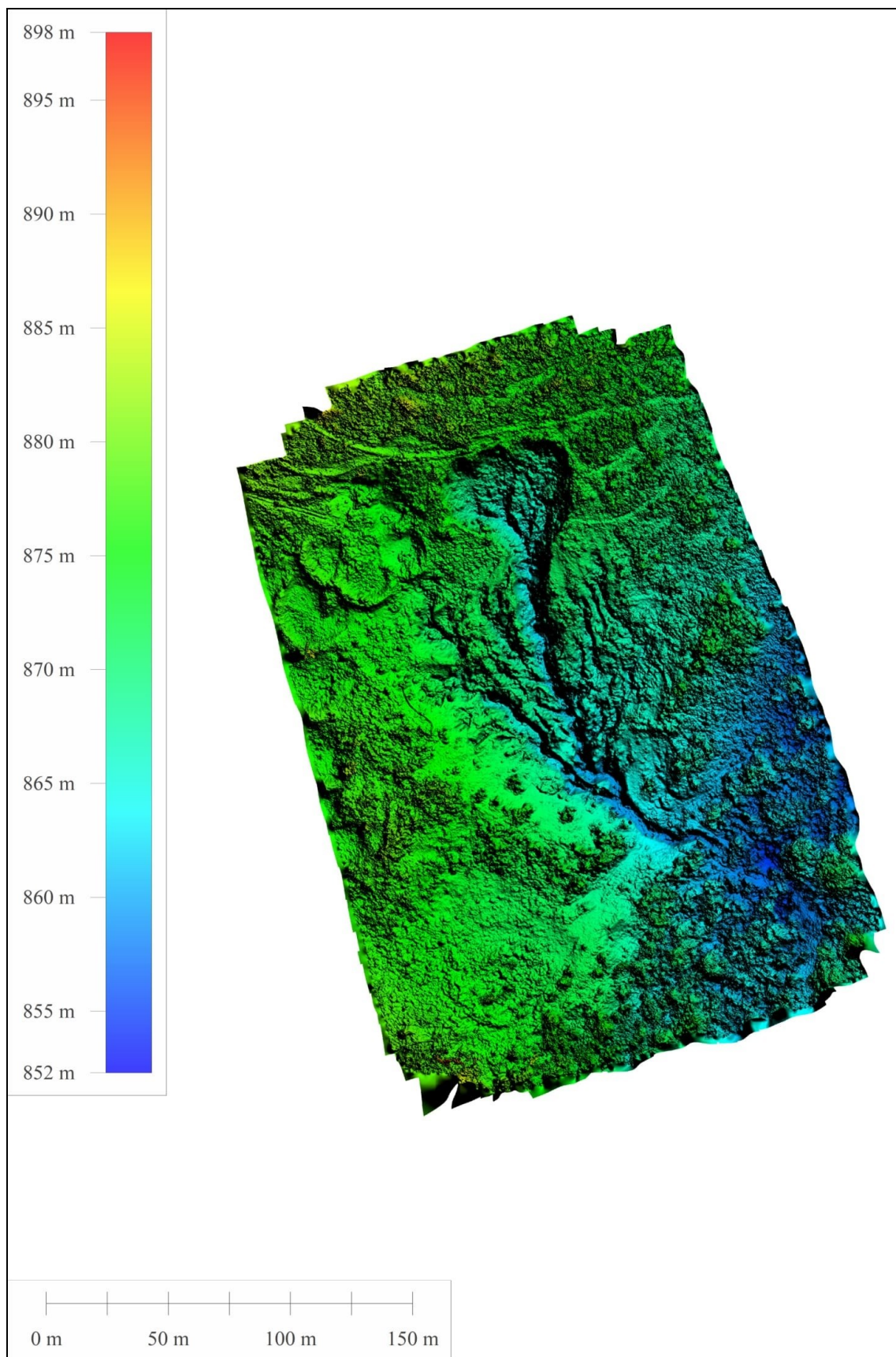
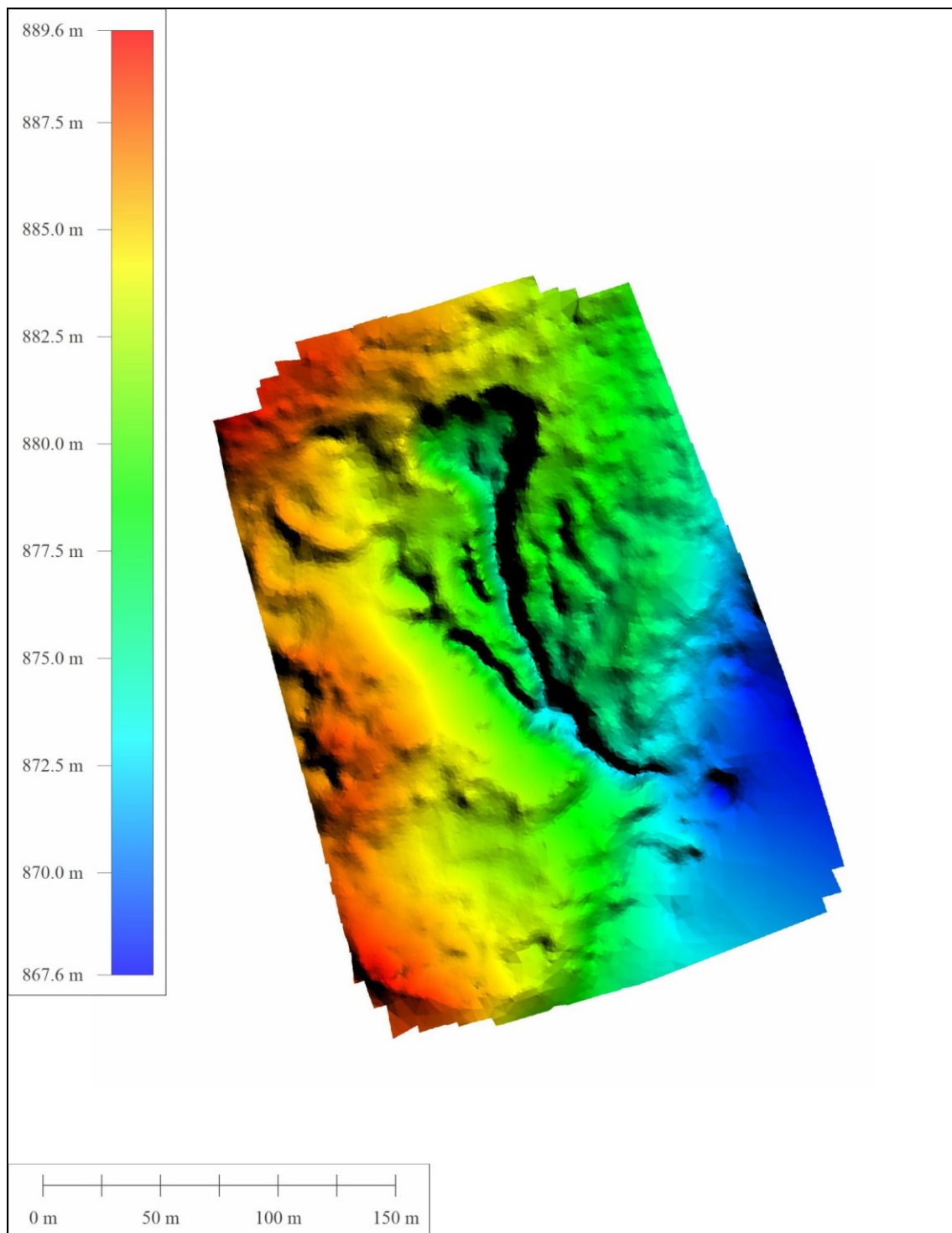


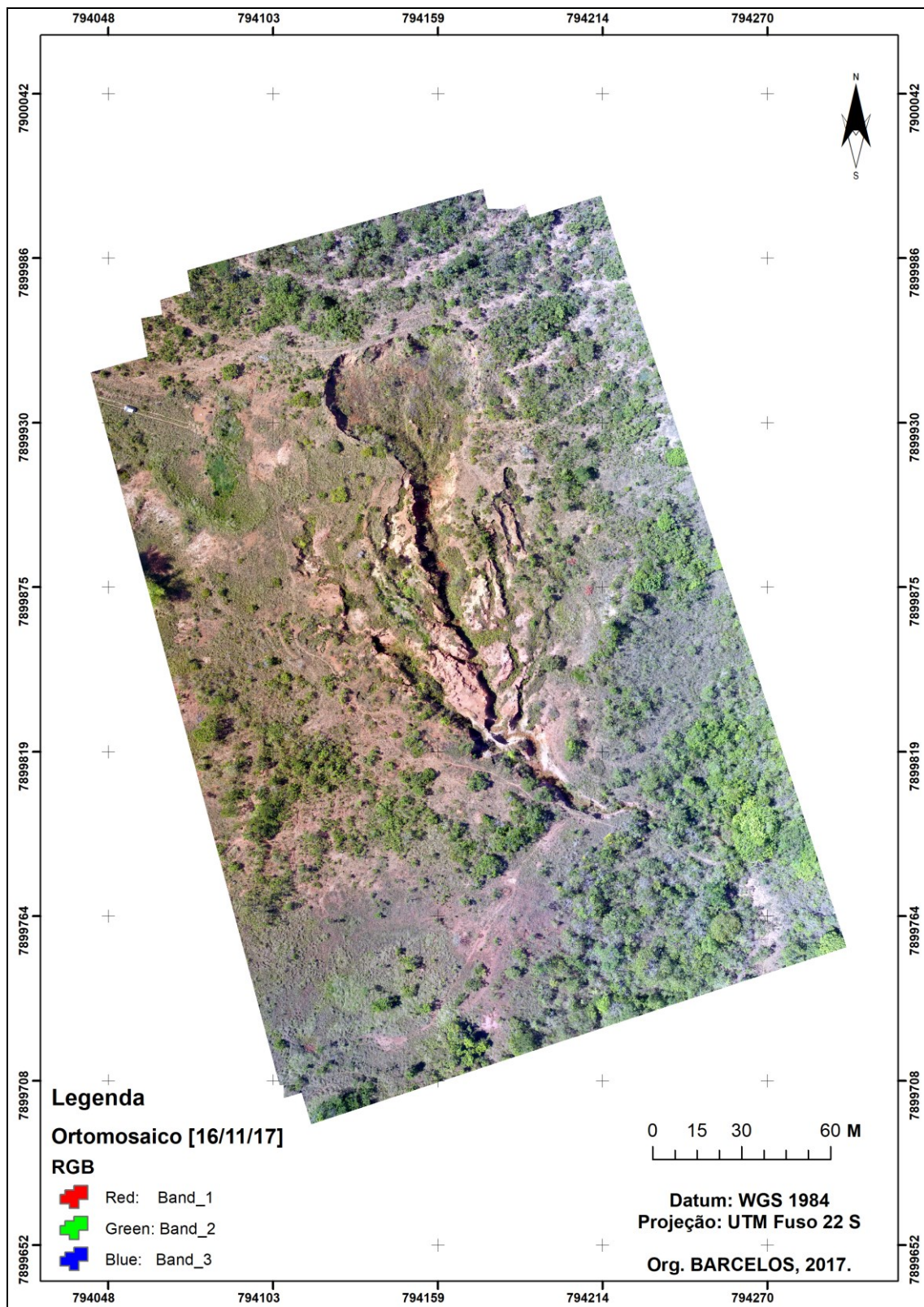
Figura 19: Modelo Digital do Terreno gerado pelo PhotoSacan.



5.1.6. Construção do Ortomosaico

O Modelo Digital de Superfície é utilizado para a geração da ortofoto verdadeira (Figura 20), sendo uma segunda opção para gerar o ortomosaico com qualidade, a primeira é utilizando a malha como mencionado no item (4.4.4). O software Agisoft PhotoScan executa este procedimento de forma totalmente automática, além disso, as imagens que apresentarem linhas de corte devido a transição suave entre elas, são também selecionadas de forma automática pelo programa.

Figura 20: Ortomosaico gerado pelo software Agisoft.



5.1.7. Cálculo do Índice de Vegetação

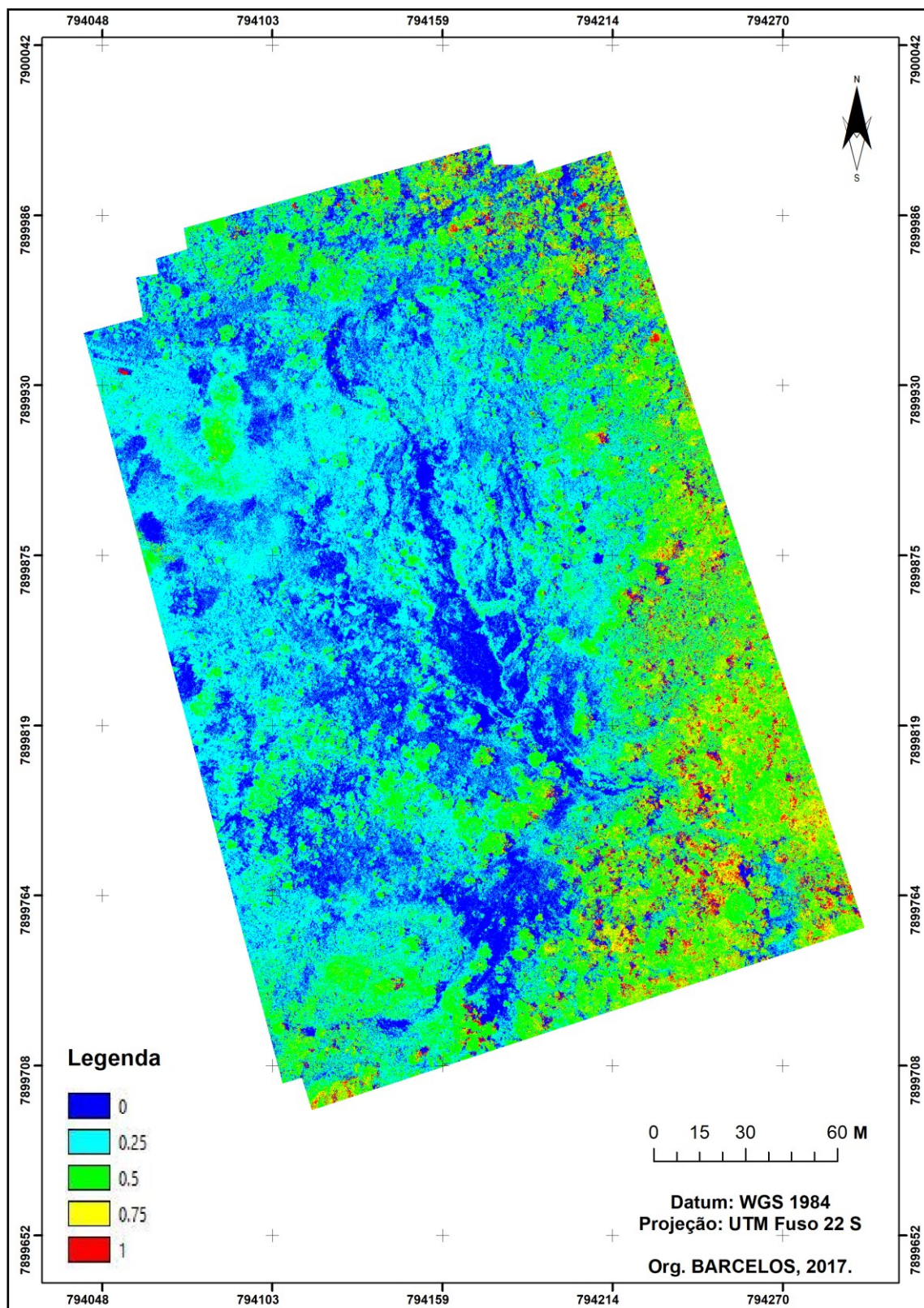
O cálculo do índice de vegetação MPRI - *Modified Photochemical Reflectance Index* (YANG, WILLIS e MULLER, 2008) é realizado através do ortomosaico de alta qualidade, de acordo com a equação 1. A preferência por este índice se deu em virtude da câmera existente no equipamento utilizado não registrar informações na região do infravermelho próximo (Figura 21).

$$\text{MPRI} = (\text{Green} - \text{Red}) / (\text{Green} + \text{Red}) \quad (1)$$

Em que: *Red* é o nível de cinza para a banda do vermelho do ortomosaico e *Green* sendo o nível de cinza para a banda do verde do ortomosaico.

Nesse procedimento é necessário utilizar a ferramenta “*Raster Calculator*”, inserindo a equação (1), o resultado é visualizado na aba do ortomosaico, as cores são definidas de acordo com a paleta de cores disponíveis na ferramenta, para esta pesquisa foi utilizado a paleta pré-ajustada “*Heat*”.

Figura 21: Índice de vegetação MPRI.



A obtenção de informações a partir de imagens capturadas por VANTs se apresenta atualmente como uma das alternativas promissoras no mercado, sendo considerada uma tendência por muitos profissionais, oferecendo uma gama de informações para a atualização de bases cartográficas existentes, com um custo inferior se comparadas aos métodos tradicionais.

Segundo Longhitano et al (2016), afirmam que a execução de estudos ambientais por meio da tecnologia de VANT, confirma cada vez mais a aceitação desta nova tecnologia de mapeamento no mercado de trabalho e em pesquisas acadêmicas, pois fornece resultados precisos e satisfatórios em tempo e custo reduzido, em contrapartida apontam também o maior custo e riscos que se tem em campo e a menor precisão dos resultados por meio do uso das metodologias convencionais.

Diante disso, as vantagens na utilização do VANT DJI Phantom 3 Standard para esta pesquisa foram, o baixo custo do equipamento frente as aeronaves tripuladas convencionais, maior flexibilidade, podendo executar manobras ou locomovendo-se em locais de difícil acesso, facilidade em capturar as imagens em menos tempo e com bons aplicativos, como exemplo o aplicativo Pix4D Capture, sendo um ótimo aplicativo para planejamento de voo e ao mesmo tempo disponível de forma gratuita.

Por outro lado, algumas dificuldades foram encontradas, sendo a escolha pelo software ideal para o processamento das imagens, a maioria dos softwares disponíveis no mercado se encontram com um alto valor, dificultando o acesso por parte de estudantes, como é o caso desta pesquisa. Outro ponto negativo na utilização de VANT para aquisição de imagens foi a falta de materiais disponíveis relacionados à temática.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de VANTs de pequeno porte para a realização de aerolevantamentos não elimina a utilização dos aviões tripulados e sensores de alto custo, haja visto, que os VANTs de pequeno porte não estão aptos a esta substituição devido limitações técnicas como capacidade de tempo de voo, qualidade dos sensores utilizados, entre outros fatores. No entanto, conseguem preencher plenamente a brecha deixada pelos métodos tradicionais. E o baixo custo de aquisição do VANT e de sua operação possibilita a realização do imageamento aéreo de pequenas áreas, fato este que seria inviável utilizando métodos tradicionais.

Com relação à resolução espacial e temporal, os VANTs determinam novos padrões, o que antes era de difícil acesso, hoje esses equipamentos facilitam a aquisição de imagens de alta qualidade e resolução em um tempo muito reduzido se comparado com as imagens de satélite, não sendo necessário em estudos de pequenas áreas esperarem as imagens de satélites serem disponibilizadas, produzindo resultados com qualidade de resolução espacial nunca obtidas pelos métodos tradicionais.

Os métodos empregados nesta pesquisa demonstram a quantidade de produtos que podem ser gerados nos atuais softwares de processamento de imagens, apresentando qualidade a nível de produtos obtidos com métodos tradicionais, viabilizando pesquisas que antes não eram realizadas devido a falta de recursos e de limitações a estes métodos.

Inúmeras pesquisas podem fazer uso da tecnologia do Veículo Aéreo Não Tripulado, a partir da evolução dos processos de aquisição de imagens e dos softwares disponíveis no mercado, pode-se gerar diversas pesquisas com o propósito de aperfeiçoar os dados cartográficos, como exemplo, no monitoramento de campo, no monitoramento ambiental, agricultura, silvicultura, planos diretores, no cadastro de propriedades, defesa e segurança.

REFERÊNCIAS

- ABREU, K. M. P; 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, v.16, n.1, 2014. Disponível em: <<http://citeweb.info/20142960276>>. Data de acesso: 02 Set. 2017.
- AIRSHIP DO BRASIL. **AS10**. Disponível em: <<http://www.adb.ind.br/produtosServicos.jsp>>. Acesso em: 20 Set. 2017.
- ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um Veículo Aéreo Não Tripulado em áreas urbanas e rurais no Estado de Goiás**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, ANAC. Drones. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor>>. Acesso em: 20 Set. 2017.
- AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition**, Version 1.2.6. 2016. 14 p.
- AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.0.0**. 2013. Disponível em: <http://downloads.agisoft.ru/pdf/photoscan-pro_1_0_0_en.pdf> Acesso em: 25 Set. 2017.
- ANGELOV, P. Sense and Avoid in UAS: Research and Applications. John Wiley & Sons, 30 de abr. de 2012 - 345 p.
- BARROS, Rafael Silva de. **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Sensores Orbitais**. 2006. 172 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências, 2006.
- BATISTA, G. **Apostila introdutória de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2003. 52p. Disponível em: <<https://goo.gl/XPpnyf>> Acesso em: 14 Set. 2017.
- BELENSIEFER, M. Estado da arte em recuperação e manejo de áreas frágeis e/ou degradadas. In: Workshop Recuperação e Manejo de Áreas Degradadas, 1998, Campinas, Memória... Jaguariúna: EMBRAPA, CNPMA, 998. p. 15-18. (EMBRAPA – CNPMA. Documentos, 13).
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria Normativa nº 606/MD, de 11 de junho de 2004**. Diário Oficial da União nº 112 - seção 01, Brasília, 2004.
- CAVALHEIRA, M. S. **Avaliação do estabelecimento de espécies de cerrado sentido restrito, a partir do plantio direto de sementes na recuperação de uma cascalheira na Fazenda Água Limpa – UNB**. 2007. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências

Florestais) Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2007.

CORRÊA, R. S.; MELO, B. F. Ecologia da revegetação em áreas escavadas. In: Corrêa, R. S.; Melo, B. F. (ed.). **Ecologia e recuperação de áreas degradadas no Cerrado**. Brasília: Paralelo 15, 1998. p.65-99.

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S.; CARDOSO, P.V.; REIS, R. B.; ROSÁRIO, L. S.; BARBOSA, S. S.; RABACO, L. M. L.; LOURENÇO, J. S. Q. Avaliação da exatidão planimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15, 2011. Curitiba. **Anais...**Curitiba: INPE, 2011. p. 5463 - 5470.

DE GARMO, M. T. Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace. Center for Advanced Aviation System Development – Mitre, McLean, Virginia. 2004. Disponível em: <https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/04_1232.pdf>. Acesso em: 21 Set. 2017.

DALAMAGKIDIS, K.; VALAVANIS, K.P.; PIELG, L.A. Aviation history and unmanned flight. In: DALAMAGKIDIS, K.; VALAVANIS, K.P.; PIELG, L.A. On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace system. Springer, 2012.

DELAIR AERIAL INTELLIGENCE. **DT 18**.Disponível em: <<http://delair.aero/uav-dt18/>>. Acesso em: 20 Set. 2017.

DJI. **Phantom 3 Standard**. Disponível em: <<https://www.dji.com/phantom-3-standard/app>>. Acesso em: 20 Set. 2017.

DOYLE, F.J. Digital terrain models: an overview. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.44, n.12, p.1481-1485, 1978.

DRONENG. **MDT e MDS você sabe a diferença?**. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/mdt-e-mds/>>. Acesso em: 21 Set. 2017.

EISENBEISS, H. **VANT Photogrammetry**. Zurich, University of Technology Dresden. Doctor of Sciences, 2009. 237 p.

ELACHI. C. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**. Chichester, Geological Magazine, 1987. 413 p.

EMBRAPA. Degradação do solo: um problema rural e urbano. [S.l.: s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/serviços/baby/area.html>> Acesso em: 14 Set. 2017. *

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FURUKAWA, Y.; PONCE, J. Accurate, dense and robust multi view stereopsis. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Vol. 32, No. 8, 2010. 1362-1376 p.

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. Agriculture v. 91 p.106–115, .2013

GONÇALVES, J. A.; MANTA, V.; CARVALHO, M. Geração automática de orto-mosaicos de fotos aéreas de arquivo do concelho de Coimbra. **Atlas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica**. Coimbra, 2015. 748-765 p.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. In: BERNARDI et al. (Ed.) **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 109-134. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/instrumentacao/busca-de-publicacoes/publicacao/1002959/agricultura-de-precisao-resultados-de-um-novo-olhar>> Acesso em: 13 Set. 2017.

JÚNIOR, L. R. A. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de goiás**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2015.

KEANE, J.F.; CARR, S.S. A brief history of early unmanned aircraft. Johns Hopkins APL Technical Digest, 2013, v. 32. Disponível em: <<https://goo.gl/131MqN>> Acesso em: 20 Set. 2017.

LEITE, M. E; ALMEIDA, M. I. S; VELOSO, G. A; FERREIRA, M. F. F. Sensoriamento remoto aplicado ao mapeamento da dinâmica do uso do solo na Bacia do Rio Pacuí, no norte de Minas Gerais, nos anos de 1989,1999 e 2009. **Revista do departamento de geografia – USP**. São Paulo, v. 23, 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47211/50947>>. Data de acesso: 02 Set. 2017.

LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016.

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes – Geoprocessamento) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

MELESSE, A.M. et al. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling. **Sensor**, v.7, p. 3209-3241, 2007.

- NASA. **GL-10 Greased Lightning**. Disponível em: <
<https://www.nasa.gov/langley/ten-engine-electric-plane-completes-successful-flight-test>>. Acesso em: 20 Set. 2017.
- NASCIMENTO, W. M. do. Planejamento básico para recuperação de área degradada em ambiente urbano. **Espacio y Desarrollo**. N.19, 2007. Disponível em: <
<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/10641/11112>>
 Acesso em: 14 Set. 2017.
- NAVARRO, J. D; GARCIA, A; RIBEIRO, G. L; SZESZ, A. J; VAZ, M. S. M. G. Índices de vegetação para imagens capturadas por veículos aéreos não tripulados. In: XSBIAGRO, 10., 2015. Universidade Estadual de Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2015. Disponível em:
 <http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAGro2015/pdf_resumos/6/6_jorge_davi_navarro_235.pdf>. Data de acesso: 02 Set. 2017.
- NEWCOME, L.R. Unmanned aviation: A brief history of unmanned aerial vehicles. Reston, Va.: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2004.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Brasil: Blucher, 2010. 388 p.
- PEGORARO, A. J.; GUBIANI, J. S.; PHILIPS, J. W. Veículo Aéreo não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública. In: Simposio Argentino de Informatica y Derecho, Córdoba, 2013. Anais P 177 - 187, 2013.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2010, 136 p.
- RODRIGUES, F. Padaria drive-thru testa drone para a entrega de pães em São Carlos, SP – O portal de notícias da Globo, 10/05/2014. Disponível em:
 <<http://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2014/05/padaria-drive-thru-testa-drone-para-entrega-de-paes-em-sao-carlos-sp.html>> Acesso em 21 Set. 2017.
- ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do departamento de Geografia - USP**. São Paulo, v.16, 2005. Disponível em:
 <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>>. Data de acesso: 15 Set. 2017.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. Ed. Uberlândia: EDUFU, 2007.
- SILVA, J.F; ASSIS, H.Y.E.G; BRITO, A.V; ALMEIDA, N.V. VANT como ferramenta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra. In: XSBIAGRO, 10., 2015. Universidade Estadual de Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa, 2015.
- SIMPSON, A. D. Development of an unmanned aerial vehicle for low-cost remote sensing and aerial photography. Master of Science Thesis. University of Kentucky, Lexington, Kentucky 2003. Disponível em:
 <http://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1193&context=gradschool_theses>. Acesso em: 21 Set. 2017.

SOUZA, J. L. Geotecnologia como ferramenta de apoio a leis ambientais: sensoriamento remoto e sig. **Revista Olhar**: Revista científica da ESAMC. Sorocaba, SP, v.2, n.1, 2017.

STREIT, N.M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, p. 748-755, 2005. Disponível em: <<http://migre.me/hDM4Q>>. Acesso em: 14 Set. 2017.

UC BERKELEY. **Bipedal Ornithopter for Locomotion Transitioning (BOLT)**. <<https://robotics.eecs.berkeley.edu/~ronf/Ornithopter/index.html>>. Acesso em: 20 Set. 2017.

VISONI, R.M.; CANALLE, J.B.G. Bartolomeu de Gusmão: o primeiro cientista brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2009, v. 31, n. 3. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n3/a14v31n3.pdf>> Acesso em: 15 Set. 2017.

WENG, Q. **Remote Sensing and GIS Integration**: Theories, Methods, and Applications. New York: McGraw-Hill, 2010. 397p.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: Pecora – The Future of Land Imaging... Going Operational, 17. 2008, Denver, Colorado, USA. **Anais...** Maryland: (ASPRS), 2008. Disponível em: <<http://info.asprs.org/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf>>. Acesso em: 15 Set. 2017.