



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CAMPUS DE POMBAL-PB

Gustavo Rodrigues Pinto

**PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS
MATRICIAIS (IMAGENS) COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULÁVEIS (VANT)**

Pombal

2017

Gustavo Rodrigues Pinto

**PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS
MATRICIAIS (IMAGENS) COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULÁVEIS (VANT)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a): Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales

Pombal

2017

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

MON
P659p

Pinto, Gustavo Rodrigues.

Protocolo metodológico para levantamento de dados matriciais (imagens) com veículos aéreos não tripuláveis (VANT)/ Gustavo Rodrigues Pinto. – Pombal, 2017.

105f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Luís Gustavo de Lima Sales".

1. Aerofotogrametria. 2. RPAS. 3. Mapeamento aéreo. I. Sales, Luís Gustavo de Lima. II. Título.

UFCG/CCTA

CDU 528.715(043)

GUSTAVO RODRIGUES PINTO

PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS
MATRICIAIS (IMAGENS) COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULÁVEIS
(VANT)

Aprovado em 25/08/2017

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luis Gustavo de Lima Sales
Orientador – UFCG/*Campus* de Pombal – PB



Prof. Dr. José Cleidimário Araújo Leite
Examinador Interno – UFCG/*Campus* de Pombal - PB



Dr. Ridelson Farias de Sousa
Examinador Externo – IFPB

Pombal – PB

Agosto 2017

*Á minha família, por nunca
deixar de acreditar que este
dia chegaria.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Luís Gustavo de Lima Sales, pelo apoio e dedicação nas diversas horas investidas neste trabalho. Também à Profa. Ricélia Maria Marinho Sales, por toda contribuição direta e indireta a esta realização.

A André e Andreia, pela ajuda durante todo o processo de desenvolvimento e também por viabilizarem este trabalho disponibilizando o VANT para captação das imagens.

A empresa Guedes & Santana, nas pessoas de Amison e Gustavo, pelo apoio e disponibilidade ao cederem os conhecimentos e equipamentos geodésicos.

Aos amigos Bruno, Ithalo, Djalma e Rayan, pelo apoio no desenvolvimento da presente pesquisa, e também a todos os que fiz durante todos estes anos dentro do CCTA/UFCG pelos ensinamentos e experiências vivenciadas.

À minha companheira Mayanny, por independente de qualquer coisa estar sempre ao meu lado nesta caminhada.

A cidade de Pombal que me acolheu calorosamente e aos amigos que fizeram daqui também meu lar.

A todos os mestres com quem pude ter a oportunidade de conviver dentro do CCTA durante esta jornada de graduação e à UFCG, por proporcionar a infraestrutura adequada para minha formação.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

PINTO, G. R. **PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS MATRICIAIS (IMAGENS) COM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULÁVEIS (VANT)**. 2017. 105 fls. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2017.

RESUMO

Atualmente, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripuláveis (VANT) de baixo custo, popularmente conhecidos como *drones* (zangão em inglês), no monitoramento e no apoio a tomada de decisão dentro da gestão dos espaços torna-se uma ferramenta promissora, ainda mais com os recentes avanços na legislação para o seu uso em trabalhos de levantamentos aerofotogramétricos. Porém, as metodologias de aplicação desta nova tecnologia precisam ser tanto sistematizadas quanto democratizadas, exigindo procedimentos pré e pós-voo que minimizem os erros experimentais e validem os procedimentos metodológicos que garantam a segurança da aplicação e o controle das imperfeições dos produtos finais, aumentando assim a sua qualidade. Portanto, o objetivo neste trabalho foi construir um “protocolo” metodológico para levantamento de dados matriciais (imagens) com VANT de baixo custo em recortes espaciais locais. Ao se trabalhar com um VANT que, em sua essência, não foi concebido para trabalhos de aerofotogrametria, como é o caso do DJI Phantom 3 – Professional, empregado nesta pesquisa, verificar se estes aparelhos, ainda que com algumas limitações, poderiam gerar ótima precisão, bem como elevada exatidão para as escalas de PEC-PCD Classe B 1:1000 e PEC-PCD Classe A 1:5000 , atentando sempre a que tipos de uso se propõe estes produtos. Além disso, a construção do protocolo metodológico contribui para a sistematização e democratização do geoprocessamento quanto ferramenta de pesquisa para toda e qualquer área que necessite de dados espacializados.

Palavras-chave: Aerofotogrametria. RPA. Mapeamento.

PINTO, G. R. **METHODOLOGY PROTOCOL FOR RASTER DATA SURVEY (IMAGES) WITH UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)**. 2017. 105 pgs. Work of Course Conclusion - Graduation in Environmental Engineering, Federal University of *Campina Grande, Pombal-PB*. 2017.

ABSTRACT

Currently, the use of low-cost Remotely Piloted Aircrafts (RPAs), popularly known as drones, in monitoring and supporting decision-making within space management becomes a promising tool, the recent advances in legislation for its use in aerial photogrammetric surveys. However, the methodologies for applying this new technology need to be both systematized and democratized, requiring pre and post-flight procedures that minimize experimental errors and validate methodological procedures that ensure application safety and control imperfections of final products, thus increasing its quality. Therefore, the objective of this work was to construct a methodological "protocol" for the collection of low-cost UAVs (images) with local space clippings. When working with a VANT that, in essence, was not designed for aerial photogrammetry, such as DJI Phantom 3 - Professional, used in this research, to verify if these devices, although with some limitations, could generate great precision, as well as high accuracy for the 1: 1000 PEC-PCD Class B and PEC-PCD Class A 1: 5000 scales, always paying attention to the use of these products. In addition, the construction of the methodological protocol contributes to the systematization and democratization of geoprocessing as a research tool for any and all areas that require spatial data.

Keywords: Aerophotogrammetry. RPA. Mapping

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação e Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ASPRS	Sociedade Americana para Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
CA	Certificado de aeronavegabilidade
CASA	<i>Civil Aviation Safety Authority</i>
CBAer	Código Brasileiro de Aeronáutica
CCTA	Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentares
CCTA	Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentares
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DOI	Diário Oficial da União
EASA	<i>European Aviation Safety Agency</i>
ET-CQDG	Especificação Técnica para o Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
PCD	Produtos Cartográficos Digitais
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfico
PMD	Peso Máximo de Decolagem
RBAC-E	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial
REM	Radiação Eletromagnética
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SCN	Sistema Cartográfico Nacional

SISANT	Sistema de Aeronaves Não Tripuladas
SISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
SR	Sensoriamento Remoto
TIN	Triangular Irregular Network
USAF	Força Aérea dos Estados Unidos (<i>United States Air Force</i>)
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Fotogrametria.....	21
2.1.1	Modelos digitais	26
2.2	Sensoriamento Remoto.....	27
2.3	Veículo aéreo não tripulado (VANT)	38
2.3.1	Definição	38
2.3.2	Historia do VANT no Sensoriamento Remoto.....	40
2.3.3	Legislação sobre VANT no Brasil	53
2.4	Levantamento com sistema GNSS.....	64
2.5	Aerofotogrametria com VANT	66
2.5.1	Pontos de controle	67
2.5.2	Plano de voo	68
2.6	Controle de qualidade cartográfica brasileiro	69
2.6.1	Acurácia posicional	70
3	METODOLOGIA	73
3.1	Área do estudo.....	73
3.2	Procedimentos Pré-voo.....	76
3.3	Procedimentos do Voo	82
3.4	Procedimentos Pós-Voo.....	86
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
4.1	Procedimentos Pré-voo.....	89
4.2	Procedimentos do Voo	96
4.3	Procedimentos Pós-Voo.....	100
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	104

1 INTRODUÇÃO

A relação entre homem e sociedade se dá de forma cada vez mais dinâmica e para melhor compreender este fenômeno necessita-se de informações prontamente atualizadas. A geração dessas informações passa pelo mapeamento e monitoramento do espaço para poder assim melhor compreender a diversidade de tal relação.

Segundo Sato (2003), diversos ramos produtivos utilizam mapas como instrumento. O gerenciamento industrial, o monitoramento ambiental, a prevenção de riscos são exemplos de áreas que utilizam produtos espaciais. Com o advento da informática, o acesso e procura a estes produtos espaciais vêm crescendo, o que exige processos de mapeamento mais rápidos, que sejam confiáveis e adequados para cada aplicação.

Tradicionalmente os dados espaciais eram, ou em algumas situações ainda são, obtidos através de sensores aerotransportados em aeronaves comuns, que demandam piloto e tripulação a bordo além de grandes sensores para proceder a captação das imagens. Porém, com a corrida espacial liderada pelos Estados Unidos e pela antiga União Soviética, assim como pela Revolução Tecnológica, principalmente ligada a área de computação, a aquisição e o acesso de dados espaciais foram facilitados.

Hoje os usuários que trabalham com os dados espaciais matriciais¹ têm diferentes plataformas de acesso, a exemplo do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Deve-se ressaltar que esta é uma tecnologia também adequada, porém apresenta limitações quanto à resolução temporal, e espacial para os produtos disponibilizados gratuitamente.

Sendo assim, devido aos altos custos dos levantamentos aerofotogramétricos tradicionais e a baixa disponibilidade de imagens provenientes de sensores embarcados em satélites com alta resolução espacial, existe hoje uma enorme carência de produtos cartográficos atualizados em grandes e médias escalas de representação (1:25000 ou maior).

¹ Estrutura de dados geográficos que representa uma partição do espaço em células (pixels) de igual dimensão

Neste contexto, um equipamento que vem ganhando destaque entre os profissionais das geotecnologias é o Veículo Aéreo Não Tripulado, o chamado VANT. Este tipo de equipamento trouxe uma possibilidade de aquisição de imagens de alta resolução espacial e temporal, e que por apresentar um baixo custo de operação em detrimento às práticas tradicionais de levantamento, podem também ser empregadas em diferentes situações, como monitoramento sistêmico de áreas susceptíveis a desastres naturais, no planejamento urbano ou na agricultura de precisão (ALVES JÚNIOR et al., 2014; JÚNIOR, 2015).

Os VANT's são como o nome propõe, aeronaves que voam controladas remotamente por radiofrequência sem a necessidade de uma tripulação a bordo, acarretando assim em menor custo e maior facilidade operacional.

No entanto, apesar desta ferramenta estar equipada com tecnologia específica para controle de instabilidades e sistemas de posicionamento auxiliado por satélite a bordo, estes podem gerar fotografias com problemas de escala, devido à variação de altura durante o voo, bem como apresentar problemas de desvio e de geometria, que comprometem o produto final gerado por estes aparelhos (ALVES JÚNIOR et al., 2014).

Mesmo ciente deste problema, o desenvolvimento tecnológico vem contribuindo com a exploração dos recursos naturais de maneira sustentável, no sentido em que auxilia o planejamento físico territorial não levando em consideração apenas as potencialidades, mas principalmente facilitando a percepção das fragilidades das áreas que sofrerem com alguma alteração antrópica (DONHA et al., 2006). Assim, com os recentes avanços na legislação para o uso de VANT, o seu uso em trabalhos de levantamentos aerofotogramétricos ganhou o aporte necessário para se estabelecer como ferramenta indispensável no monitoramento e apoio a tomada de decisão dentro da gestão dos espaços.

Para tanto, as metodologias de aplicação desta nova tecnologia precisam ser sistematizadas. O uso de VANT no levantamento aerofotogramétrico exige procedimentos pré e pós voo a fim de minimizar os erros experimentais e validar procedimentos metodológicos garantindo que toda aplicação será segura e que as

imperfeições dos produtos finais serão controladas e minimizadas aumentando a precisão dos produtos gerados.

O uso dos VANT's enquanto ferramenta de trabalho é algo recente, mas já se percebe um grande potencial dessas aeronaves que agora vem sendo utilizadas em diferentes áreas do saber, tais como: agricultura, monitoramento, reconhecimento tático, segurança, vigilância e mapeamento, como já vêm sendo posto. As diferentes aplicações demonstram a versatilidade e como este equipamento aumenta a capacidade da percepção humana sobre os espaços em constante alteração.

Na verdade, é a possibilidade de trazer o “campo” para dentro dos escritórios, laboratórios, secretarias de órgãos públicos, dentre outros espaços de planejamento, de gestão e de tomada de decisão. Algo que já havia sido percebido com o advento das tecnologias de imageamento por satélite (Sensoriamento Remoto), porém, não com a mesma intensidade e dinamismo que a utilização dos VANT's vem proporcionando.

Assim, garantir que o uso destas aeronaves possa gerar resultados concretos, democratizar a utilização desta tecnologia, permitir suas aplicações em áreas cada vez mais distintas e também garantir a segurança no desenvolvimento deste processo foi o que motivou a elaboração deste trabalho.

Para tanto, o objetivo deste trabalho foi construir um protocolo metodológico para levantamento de dados matriciais (imagens) com VANT de baixo custo em recortes espaciais locais, levando em consideração três grandes etapas, quais foram 1) o Pré-Voo, com todo o processo de planejamento, escolha dos Pontos de Controle (GCP's), através da adoção de aspectos técnicos levantados junto a bibliografia para analisar a distribuição dos pontos de controle utilizados e o Levantamento geodésicos dos pontos escolhidos; 2) o Voo, através da aquisição das imagens aéreas do recorte espacial local com a utilização de um VANT, bem como a geração dos produtos – Ortomosaicos e Modelo Digital do Terreno (MDT) utilizando software específico de aerofotogrametria e; 3) Avaliação da Qualidade Posicional e Altimétrica obtida para os Produtos Cartográficos Digitais gerados com base nos Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD), extraídos da Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG) complementando o estabelecido no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Para tanto, foi necessário a utilização de procedimentos e técnicas de

pesquisa, quais foram: a) Pesquisa Bibliográfica; b) Desenvolvimento do protocolo metodológico para mapeamento com VANT de baixo custo; c) Aplicação do protocolo metodológico para o mapeamento em recortes espaciais locais e; d) Avaliação da aplicabilidade e eficiência do protocolo desenvolvido. O protocolo desenvolvido foi aplicado na área do Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentares (CCTA) *campus* da Universidade Federal de Campina Grande que se encontra instalado no município de Pombal, sertão paraibano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fotogrametria

Segundo a Sociedade Americana para Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS) e Santos (2014), fotogrametria é,

A Arte, Ciência e Tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos sem o contato físico direto (SANTOS, 2014).

Percebe-se que a fotogrametria e o SR quase se confundem quanto às definições. No entanto, pode-se dizer que o SR deriva da Fotogrametria interpretativa, que seria a área da fotogrametria responsável mais pela interpretação semântica das feições cartográficas contidas na imagem, ou seja, medidas qualitativas. Do lado oposto a esta tem a Fotogrametria métrica, que consiste na mensuração precisa de volumes, áreas, comprimentos, perímetros bem como, determinar com rigor suas coordenadas plani-altimétricas para o suporte a confecção de mapas, modelos digitais e ortoimagens (SANTOS, 2014).

A fotogrametria é aplicada na produção de mapas e na determinação de pontos tridimensionais da superfície analisada com precisão. Já SR, tem a função de extrair, analisar e interpretar os dados e informações destes produtos gerados pela fotogrametria. É interessante perceber que com os avanços tecnológicos da computação, o SR e a fotogrametria tem sofrido grande impacto com a evolução dos periféricos e equipamentos utilizados. Logo, tarefas que antes eram estritamente fotogramétricas, hoje já começam a ser analisadas também a partir das técnicas de SR (SANTOS, 2014).

Para Dias et al (2014), “a Fotogrametria trata da reconstrução do espaço tridimensional (espaço-objeto), atrás de um conjunto de imagens bidimensionais (espaço-imagem)...”. Sendo assim, o objetivo desta é realizar a reconstituição das feições do alvo através de algoritmos SfM (*Structure from Motion Procedures*) inseridos em *softwares* específicos de fotogrametria digital, com o objetivo de gerar modelos digitais e ortoimagens (DIAS et al. 2014; ZANETTI, 2017).

Estes algoritmos utilizam uma metodologia de segmentação de pontos chave na imagem, e seu ângulo de referencia, depois representa estes pontos no espaço tridimensional constituindo uma nuvem de pontos esparsa e densa. Unindo-se os pontos

desta nuvem densa, formam-se uma superfície denominada Malha (ou *Mesh*, em inglês), esta malha de faces que recebe o nome de TIN (*Triangular Irregular Network*) e então assim gera-se a partir disto os modelos e mosaicos de imagens ortorretificadas (PATIAS, 2001; PEREIRA, 2013).

A capacidade que a fotogrametria tem em reconstruir a superfície fotografada só tem validade se o princípio da estereoscopia for utilizado. Este é o mesmo princípio que nosso cérebro utiliza através dos nossos olhos para entender profundidades e dimensões, trazendo a necessidade de um ponto, ou objeto, ser enxergado de pelo menos duas posições distintas.

Para tanto, na fotogrametria, as imagens devem ser tomadas respeitando uma sobreposição lateral, bem como longitudinal. Sistemas aerotransportados convencionais trabalhavam com valores que giravam em torno de 30% e 60%, para sobreposição lateral e longitudinal, respectivamente. Com a chegada dos RPAS recomenda-se trabalhar com recobrimentos maiores (> 70% para ambas as sobreposições), para garantir que em toda área haja, pelo menos, um recobrimento de três ou mais imagens (DIAS et al. 2014; SILVA et al., 2014).

Pereira (2013) acrescenta ainda que por mais que os levantamentos com *laser* ainda tem-se maior capacidade na produção de modelos digitais, e que a estereoscopia digital não possa atravessar a copa das árvores e as construções para gerar também modelos digitais do terreno, se pode inferir que tão logo os mapeamentos topográficos lançassem mão dos produtos gerados por aerofotogrametria com RPA.

Na fotogrametria convencional, costumava-se utilizar câmeras maiores e específicas para este tipo de aplicação. Estas câmeras possibilitavam o conhecimento das propriedades geométricas das fotografias e eram conhecidas como câmeras métricas. Hoje em dia as câmeras estão cada vez menores e mais leves, o acesso a câmeras tidas como não métricas vem crescendo. Estas não são necessariamente produzidas para este fim, porém com a utilização de algumas técnicas de calibragem pode ser também empregadas de maneira hábil. Zanetti (2017) diz que:

As câmeras métricas possuem sistema de lente de alta qualidade geométrica, dispositivo de “planura” do filme e marcas fiduciais. As câmeras não métricas são evidentemente muito mais simples e caracterizam-se por não apresentarem “exatidão geométrica” (ZANETTI, 2017).

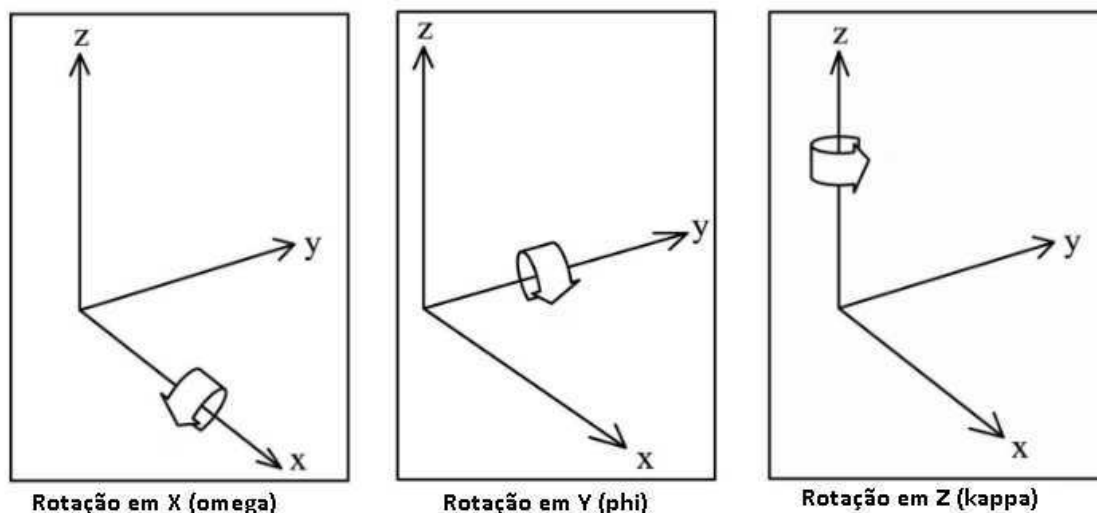
É importante saber que a câmera é quem carrega dentro dela o sensor responsável pelo registro da imagem, no entanto, o ângulo de abertura da lente, a distância focal e o tamanho do quadro da câmera são também componentes que vão interferir na qualidade do resultado final.

Quando se utilizam câmeras não métricas, a calibração da mesma é quem garante o controle das orientações internas. Tal calibração leva em consideração a distância focal da câmara, a posição do ponto principal relativamente às marcas fiduciais e os parâmetros de distorção do sistema de lentes. Vale salientar que estas discrepâncias, atualmente, já são corrigidas automaticamente pelos *softwares* de processamento fotogramétrico, sendo esta “facilidade” uma das grandes diferenças entre o processamento digital e analógico de imagens (PEREIRA, 2013; ZANETTI, 2017).

RPAS mais atuais levam na aeronave sistemas de medição e compensação inercial (*Inertial Measurement Unit* – IMU) que são capazes de obter as coordenadas do centro das imagens junto ao GPS/GLONAS, de registrar os ângulos de orientação de Euler (Figura 1), que nada mais são que os ângulos de rotação da aeronave em cada um de seus eixos em relação às coordenadas de referencia do terreno, para cada imagem tomada, quais sejam: ω representa a rotação do eixo x (em relação à imagem) em relação a X (em relação ao terreno); enquanto ϕ representa a rotação do eixo y em relação a Y. Esses ângulos devem ser pequenos, não devendo ultrapassar 5° em valor absoluto, no caso de fotografias perfeitamente verticais (a nadir); κ representa a rotação do eixo z em relação a Z.

Este equipamento, em conjunto com o *gimbal* (equipamento de compensação dos movimentos da aeronave em relação à câmera.), possibilita o controle das discrepâncias quanto às orientações exteriores. Em RPAS mais atuais, por um processo denominado *Geotagging* todas estas informações ficam armazenadas nas próprias imagens e tudo isto vai apoiar o processo de fototriangulação (ALMEIDA, 2014).

Figura 1 - Ângulos de Euler, representados pelas letras gregas ω (*ômega*), ϕ (*phi*) e κ (*kappa*).



Fonte: Adaptado Portal PIX4d.

Outro procedimento fotogramétrico é a Fototriangulação. Para Coelho e Brito (2007), a fototriangulação é o processo de se determinar as coordenadas de terreno (ou do espaço-objeto) dos pontos fotogramétricos selecionados sobre as imagens fotográficas (espaço-imagem). Aqui se deve nos atentar à necessidade de conhecimento prévio das coordenadas dos centros de perspectiva no espaço-objeto/terreno e os ângulos de Euler nos instantes de tomada de cada imagem do mapeamento em questão.

Os métodos de fototriangulação permitem a obtenção de coordenadas de vários pontos no terreno a partir da interpolação de apenas alguns pontos de controle obtidos em campo. Sendo assim, estas operações devem ser feitas com rigor, pois os parâmetros obtidos nesta fase serão essenciais nos processos de restituição e ortorretificação.

Deve-se planejar bem a missão para certificar que os pontos de controle de campo, que apoiam os processos computacionais, verificando a necessidade de um voo apoiado garantindo os dados de triangulação sejam obtidos com qualidade, garantindo também a qualidade dos produtos que serão gerados a partir deles (ALMEIDA, LIMA et al. 2010; SANTOS, 2014).

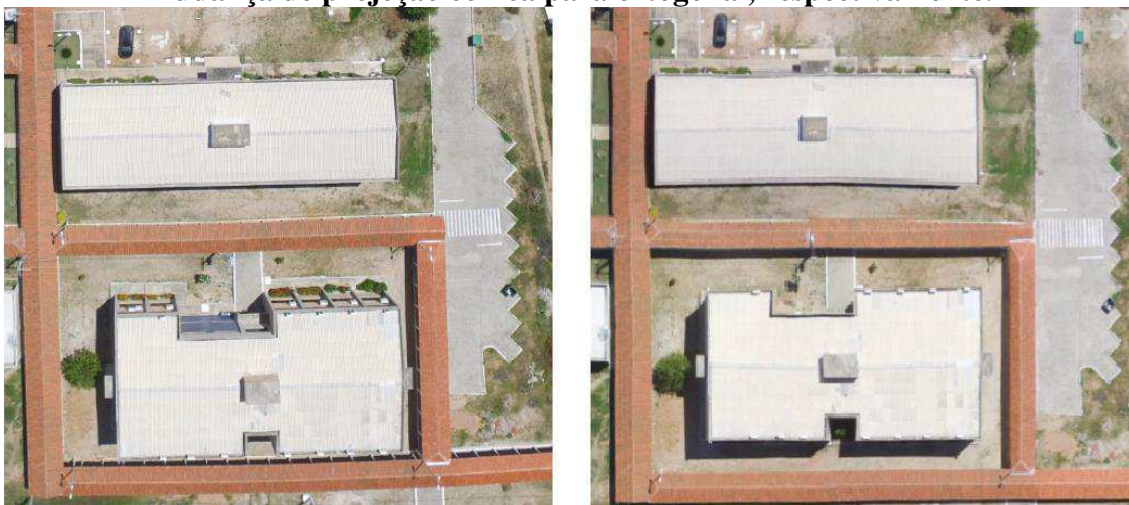
Vale salientar que as imagens brutas jamais poderão substituir um mapa topográfico, tendo em vista que estas representam uma realidade de uma projeção cônica central, enquanto o mapa topográfico é uma projeção ortogonal da área imageada. Sendo assim, para uma imagem aérea ter validade topográfica, deveria apresentar um terreno imageado o mais horizontal e plano possível, o eixo ótico da câmera estão em perfeita verticalidade (nadir) e que a altura do voo não variasse durante

a realização do plano de voo em linha perfeitamente horizontal. Atingir tais condições é praticamente impossível, sendo assim, devem-se utilizar procedimentos de correção nestas fotografias, denominados de ortorretificação.

A Ortorretificação é uma técnica que utiliza das informações do terreno obtidas por meio de um modelo digital, inclinação, posição e distorção da câmara aérea no instante da tomada das fotografias para eliminar as distorções relativas à rotação da câmara, ao relevo da área fotografada, bem como transformando a perspectiva cônica para ortogonal, tornando as feições apresentadas na fotografia ou aerofotografia alocadas em suas verdadeiras posições e permitindo medições confiáveis de ângulos e distâncias (MENESES, 2012).

Pode-se perceber a diferença analisando as duas imagens apresentadas nas Figuras 2a e 2b. A qualidade da ortorretificação depende diretamente da quantidade e qualidade dos pontos de controle inseridos em solo.

Figura 2a e 2b - Fotografia aérea bruta e imagem ortorretificadas, detalhe da mudança de projeção cônica para ortogonal, respectivamente.



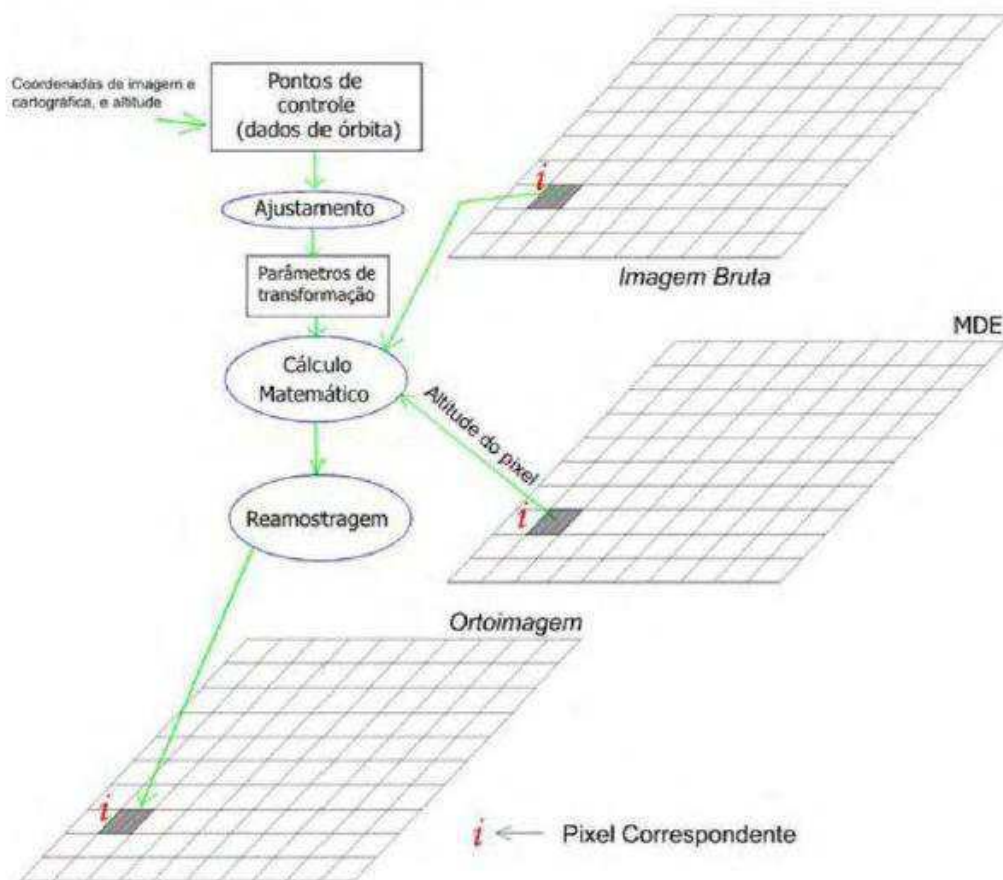
(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

Gripp Jr (2009) desenvolve uma figura esquemática (Figura 3) de como se dá este processo.

Figura 3 - Geração de Ortoimagem.



Fonte: Gripp Jr (2009).

Segundo o mesmo, este processo se dá ajustando as coordenadas da imagem e dos pontos de controle inseridos, sendo os parâmetros da transformação definidos pela projeção em que se trabalha. Do modelo digital (MDS) extrai-se para cada *pixel* sua cota altimétrica e se interpolam com os valores de cinza do respectivo *pixel*. Isto se dá por meio de um algoritmo de método de reamostragem, gerando a matriz da ortofoto.

2.1.1 Modelos digitais

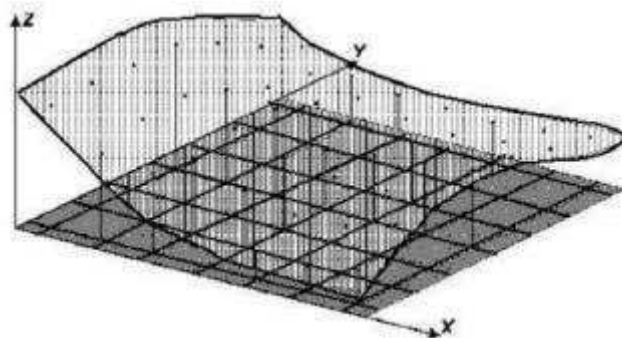
Santos (2014) descreve que:

Modelo Digital de Terreno e Superfície é um conjunto de pontos tridimensionais regularmente ou irregularmente espaçados, geometricamente estruturados que representa numericamente os pontos e elevações contidos em uma área da superfície física (SANTOS 2014).

Contendo assim em cada pixel da imagem uma cota altimétrica correspondente, e que depois dos processos já descritos passam a ser representações planas em forma de triângulo ou retângulo, formadas a partir da conexão destes pontos.

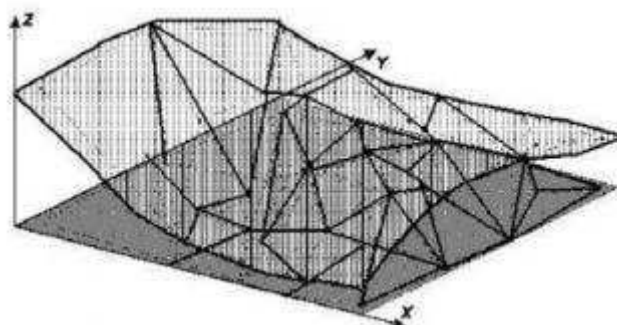
- Malha retangular

Formada por poliedros retangulares, este modelo aperfeiçoa o armazenamento de informações, porém por manter *pixels* com tamanho uniforme, limitações na representação digital do terreno podem ocorrer, não permitindo níveis diferenciados de detalhamento. A redundância de informações e a dificuldade deste modelo de representação de relevos complexos são pontos negativos do mesmo.



- Malha Triangular

Neste tipo de modelagem, também conhecida como TIN, as faces formadas são triângulos onde seus vértices são os pontos extraídos de cada *pixel*. Este tipo de malha pode gerar quebras de linha ou de descontinuidade no relevo (divisores de água, lagos, reservatórios, prédios etc.), gerando maior detalhamento de representação. A desvantagem deste tipo de grade é que para obter os vértices amostrais, por exigir maior número de informações pode ser um procedimento mais demorado.



2.2 Sensoriamento Remoto

O filme fotográfico foi o primeiro material construído pelo homem capaz de registrar a radiação eletromagnética e de transformá-la na imagem do objeto fotografado. A primeira fotografia aérea conhecida foi realizada pelo fotografo francês,

Gaspard Felix Tournachon (também conhecido pelo apelido “Nadar”) em 23 de outubro de 1858 nos arredores de Paris. Na imagem, Nadar descreve a uma revista da época que era possível identificar algumas casas, a delegacia de policia, veículos e ate mesmo os pombos nos telhados. Este é o acontecimento conhecido que da origem ao levantamento aéreo tornando Nadar um pioneiro no sensoriamento remoto (ZANETTI, 2017; LONGHITANO, 2010). Muitas plataformas foram utilizadas, desde pombos a pipas (JENSEN, 2009). Porém, somente em 1960, o termo Sensoriamento Remoto (SR) foi cunhado por Evelyn L. Pruit, surgindo como uma das mais bem sucedidas tecnologias de levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala global.

Uma das definições clássicas de Sensoriamento Remoto (SR) é o meio de obter informações de um objeto sem necessariamente exercer contato direto com ele (ELACHI, 1987). Outras definições são encontradas na literatura científica na qual mencionam que o SR consiste na utilização de sensores para registrar a interação radioeletromagnética com os alvos na superfície terrestre, ou seja, o conjunto de atividades e equipamentos relacionados à aquisição e análise de dados coletados por um sistema óptico-eletrônico (sensor) que capta a energia radiante refletida ou emitida pelos alvos (objetos na superfície da terra) (COSTA JÚNIOR, 2017; LINHARES, 2016).

Encontrar uma definição específica para o termo se torna tarefa complicada, tendo em vista que tanto ambientes naturais quanto obras de artes, estátuas ou prédios podem ser trabalhados com o SR; o tipo de energia também nem sempre será a eletromagnética; e ainda que alguns sensores captam a energia emitida pelos próprios corpos, ou alvos, ao invés de registrar a interação de energia refletida (EASTMAN, 1998; MENDES, 2000).

Novo (2010) traz a definição que mais parece atender ao propósito do SR. Para o autor Sensoriamento Remoto é,

(...) a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010).

Aqui o autor engloba o que pode ser encontrado em sistemas para sensoriamento, desde equipamentos até a capacidade de extrair informações dos produtos gerados, capacidade esta que talvez seja a mais importante do Sensoriamento Remoto (SR), a capacidade de obter dados primários bem como secundários (LINHARES, 2016).

Sabendo que o SR trata-se de sensores que captam informações das relações entre energia e alvo, os mesmos podem ser divididos em diferentes escalas de plataformas diversificadas de obtenção. A plataforma é o veículo condutor que leva o sensor embarcado, podendo ser uma Plataforma Orbital (satélites artificiais), Plataformas Aéreas (aviões tripulados, RPA etc.) e Plataformas Terrestres (Sensores de mão, por exemplo) (ALVES JÚNIOR, 2016).

Independente do tipo de plataforma, a base de interação será sempre do sensor com a energia ou radiação eletromagnética refletida, emitida ou transmitida em sua direção pelos alvos. Desta forma, a presença de uma fonte de energia é indispensável para o processo de SR, podendo esta ser natural (sol) ou do próprio sensor (radar) (BATISTA, 2003). Vale saber que todo objeto acima do zero absoluto (-273°C ou 0 K) emite energia eletromagnética, incluindo a água, solo, rocha, vegetação etc (JENSEN, 2009). Com tudo isso, Meneses (2012) define SR de forma clara e concisa, da forma a qual o presente trabalho igualmente assume:

Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES, 2012).

Significa então que se deve conhecer as características e/ou a natureza da Radiação Eletromagnética (REM) para melhor entender os princípios envolvidos em todos os processos do SR.

A REM tem um comportamento particular dualista em sua natureza, onda e energia (modelos ondulatório e corpuscular, respectivamente), sendo ao mesmo tempo uma forma de energia e uma forma de onda, e esta particularidade se torna importante por definir referências das características dos objetos nos momentos de análise. Se o SR é uma medida da interação da REM com a superfície dos alvos, como já foi dito, as imagens geradas terão suas características definidas por estes dois tipos de modelos.

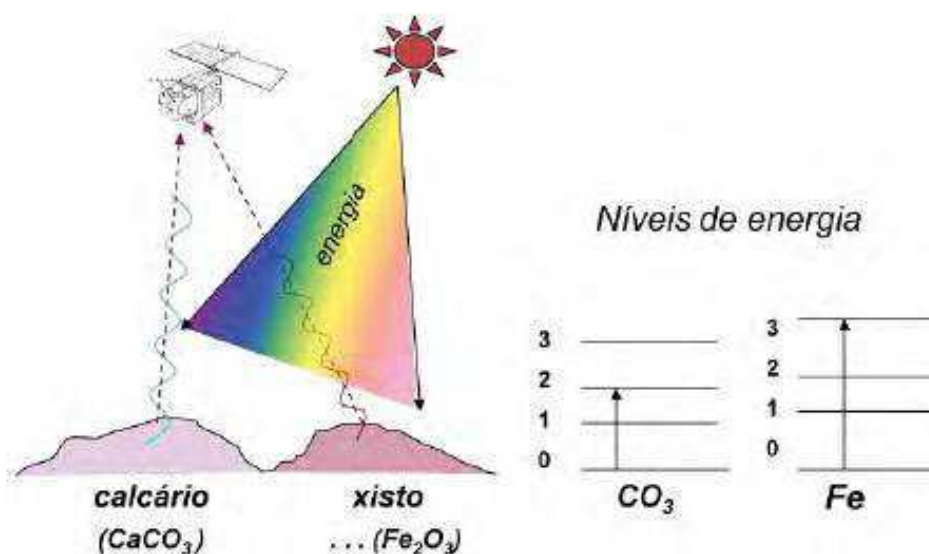
No modelo Ondulatório estas características serão definidas por uma interação do tipo macroscópica, no qual se leva em conta o tamanho da onda e da partícula com a qual ela interatua. Um exemplo disto é a interação da REM com as nuvens. As ondas eletromagnéticas no espectro do visível tem um comprimento de 0,4 a 0,7 μm e em media são menores que as moléculas de vapor de água que compõem uma nuvem, cerca de 30 μm .

Sendo assim, devido ao maior tamanho das moléculas de vapor de água em detrimento da dimensão das ondas do espectro visível e do infravermelho da radiação eletromagnética, esta é refletida de volta a atmosfera, então o sensor captara a REM refletida pela nuvem, representando na imagem assim a nuvem e não os objetos na superfície que se tem interesse (SATO, 2003).

Este tipo de modelo é importante no que diz respeito ao trabalho com RPAS de baixo custo, tendo em vista que em sua maioria estes apresentam sensores que trabalham na faixa do visível. Já os radares, que são sensores ativos, emitem uma frequência de onda com comprimento maior do que os das moléculas de vapor de água da nuvem, logo, eles têm a capacidade de atravessar as nuvens e registrar o que está abaixo delas ainda que elas estejam no seu campo de visada. Deve-se saber também que a capacidade de representação da superfície terrestre em um mesmo ponto pode apresentar diferentes resultados ao depender do comprimento de onda utilizado pelo sensor.

Já pelo modelo corpuscular, tem-se que a energia da onda ao atingir a superfície das matérias interage com o alvo por meio de trocas de energia em níveis microscópicos e é totalmente dependente da constituição química dos corpos, transportando energia de um átomo ao outro (SATO, 2003). Desta forma, os sensores captam a quantidade de energia que não foi absorvida pelo alvo, ou seja, a quantidade de radiação refletida, mas ainda assim podem-se mensurar pelos dos níveis de energia que foram absorvidos informações importantes sobre a composição dos objetos (JENSEN, 2009; MENESES, 2012). Pode-se ver na Figura 4 a diferença de interação entre dois tipos distintos de rochas, que respondem de maneira diferente à REM.

Figura 4 - Interação microscópica dos objetos com a REM.



Fonte: Meneses (2012).

Pode-se perceber que o calcário e xistos absorvem com intensidades diferentes a REM de diferentes comprimentos de onda devido aos diferentes valores de energia que apresentam as moléculas de CO_3 e os átomos de Fe , refletindo assim também diferentes comprimentos de ondas para o sensor.

O homem conhece uma região espectral da REM, e esta faixa é denominada Espectro eletromagnético. A REM é um espectro contínuo, porém, uma separação por comprimentos de onda foi determinada a partir dos mecanismos físicos que as geram e dos que as captam, bem como, sua nomenclatura foi determinada a partir do tipo de uso encontrado para cada faixa destes comprimentos. A Tabela 1 trás a divisão do espectro eletromagnético com suas respectivas nomenclaturas e comprimentos de onda equivalentes (MENESES, 2012).

Tabela 1 - Espectro eletromagnético e suas respectivas faixas de comprimentos de onda.

Intervalo Espectral	Comprimento de Onda
Raios cósmicos	0,01 A°
Raios gama	0,01 – 0,1 A°
Raios X	0,1 – 10 A°
Ultravioleta	100 nm – 0,38 μm
Visível	0,38 – 0,76 μm
Infravermelho próximo	0,76 – 1,2 μm
Infravermelho de ondas curtas	1,2 – 3,0 μm
Infravermelho médio	3,0 – 5,0 μm
Infravermelho termal	5,0 μm – 1 mm

Micro-ondas 1 mm – 100 cm	1 mm – 100 cm
Rádio 1 m – 10 km	1 m – 10 km
Áudio 10 – 100 km	10 – 100 km
Corrente alternada > 100 km	> 100 km
<i>OBS.: A° = 10⁻¹⁰ m; nm = 10⁻⁹ m; μm = 10⁻⁶ m</i>	

Fonte: Meneses (2012).

Conhecer estes valores é de suma importância no SR, sobre tudo quando se trabalha com sensores orbitais, àqueles embarcados em satélites. É comum se procurar saber qual a banda, ou faixa espectral, aquela imagem compreende, para assim poder saber como cada sensor vai reagir a cada comprimento diferente.

Os intervalos que estão em vermelho na Tabela 6, são os mais comumente utilizados pelo SR, sendo o Visível o mais familiar a todos, primeiro por ser o que a visão humana é capaz de detectar e depois por ser principalmente nesta faixa de banda que se encontram os equipamentos nos RPA de baixo custo.

Vale salientar que a região Visível do espectro solar é a que apresenta maior quantidade de fluxo de energia e onde se encontra a menor resistência da atmosfera, passando bastante radiação. Tem este nome por ser a faixa espectral sensível ao olho humano. Ainda que possa apresentar alguns problemas de contraste, é amplamente utilizado em SR, sobre tudo com RPA. A próxima tabela apresenta com maior detalhe a faixa do visível e suas subdivisões (Tabela 2).

Tabela 2 - Espectro de cores do visível.

Comprimento de onda (μm)	Cor da luz refletida
0,380 – 0,455	Violeta
0,455 – 0,482	Azul
0,498 – 0,530	Verde
0,576 – 0,580	Amarelo
0,587 – 0,597	Laranja
0,617 – 0,760	Vermelho

Fonte: Meneses (2012).

Outra importante banda espectral é a do Infravermelho Próximo. É o intervalo no qual as interações da REM ocorrem com os níveis de energia eletrônica dos átomos, gerando feições espectrais na identificação de vários tipos de rochas. É importante também, pois esta é a faixa que utilizada largamente para estudos de sanidade vegetal (SATO, 2003).

Outras bandas ou faixas espectrais também são utilizadas no Sensoriamento Remoto. Uma delas é a faixa do Infravermelho termal, na qual se pode identificar a radiação emitida pela temperatura de superfície dos objetos, também utilizada nos estudos geológicos. Têm-se também as Micro-Ondas como uma das principais, já que são as ondas utilizadas pelos sensores ativos (radar, sonar etc.), tendo o seu comprimento de onda relativamente grandes tem a capacidade de operar em condições climáticas adversas, bem como, operar a noite (MENESES, 2012).

Todos estes aspectos relacionados aos princípios do sensoriamento remoto são de alguma forma válidos para o levantamento aéreo com RPA, e toda essa informação espectral vai influenciar nas resoluções das imagens geradas.

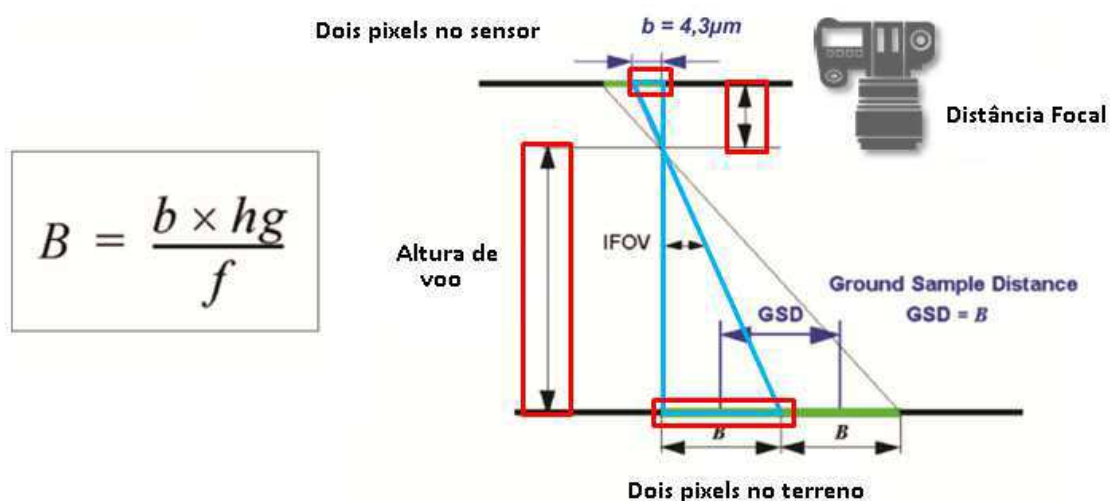
No que diz respeito à resolução das imagens, deve-se atentar para três tipos que definem seus referencias: Resolução Espacial, Temporal e Radiométrica. Em casos onde se trabalha com sensores capazes de captar múltiplas bandas espectrais, tem-se também a Resolução Espectral.

Segundo Jensen (2009), a resolução espacial é “uma medida de menor separação angular ou linear entre dois objetos que pode ser determinada pelo sistema de SR.”. Encontra-se também de forma similar em Meneses (2012) a seguinte definição: “o tamanho individual do elemento de área imageada no terreno representa em qualquer tipo de sensor uma propriedade importante da imagem.”. Em outras palavras, a Resolução Espacial representa o tamanho do menor objeto que pode ser identificado na imagem (JENSE, 2009; MENESES, 2012).

Determinar qual será a resolução espacial do seu projeto é imprescindível para atender ao uso pretendido do produto de forma eficaz. Ao ponto que ao se desejar representar um objeto que tenha dimensões de 10 x 10 cm, exigiria uma missão que resultasse uma resolução igual, ou menor a este valor. Pode-se dizer que este tipo de resolução diz o quanto do terreno será representado em cada pixel da imagem. Nos RPAS, a resolução espacial da imagem é definida pelo *Ground Sample Distance (GSD)*, que é o parâmetro que representa a porção da superfície que será registrada em cada pixel das imagens captadas pelo sensor. Entender este conceito é de suma importância, pois quanto menor o GSD maior o detalhamento do resultado, porém isto resultara também em operações mais onerosas. Geralmente nos RPAS, os valores de resolução espacial são normalmente altos, alguns centímetros, em alguns casos milímetros.

O GSD está relacionado à distância focal e ao tamanho do sensor da câmera utilizada, bem como da altura que o voo será realizado. Aqui se diz respeito à Distância Focal Real, obtida multiplicando-se a distância focal equivalente ao formato 35 mm pelo comprimento do sensor em milímetros, divide-se então este valor por uma constante de valor 34,6. De maneira simples, a Figura 5 demonstra esta relação e a equação que podemos utilizar para encontrar este valor.

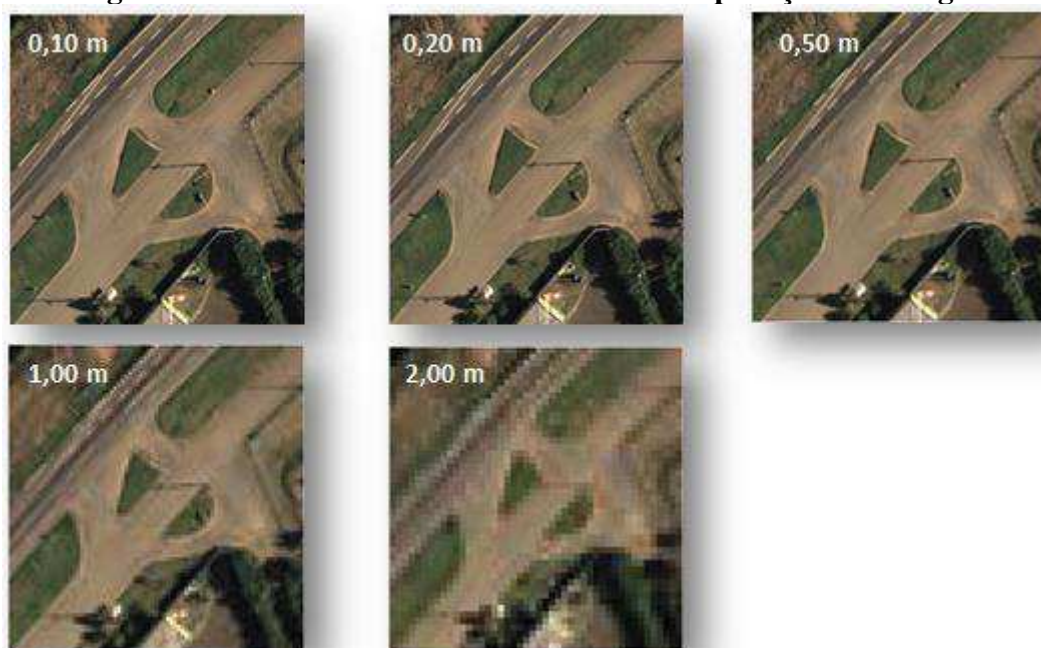
Figura 5 - Explicação do conceito de GSD.



Fonte: Adaptado Portal Droneng.

A sequência de imagens (Figura 6) deixa clara a diferença entre valores de GSD distintos em uma mesma área.

Figura 6 - Diferentes valores de GSD e suas implicações na imagem.



Fonte: Adaptado Portal Droneng.

Nas imagens apresentadas na Figura 6 percebe-se que ao passo que o valor de GSD aumenta, a resolução espacial diminui. A qualidade da imagem, no que diz respeito às porções dos alvos que são registradas nos pixels do sensor, ou da aerofotografia.

A Resolução Temporal diz respeito à sazonalidade com a qual um sistema de SR efetua registros de imagens de um mesmo local. No caso dos sensores abordo de satélites esta resolução pode variar de dias a meses. Definir qual resolução temporal melhor se enquadra em cada missão é fundamental para garantir uma operação eficiente.

No que diz respeito ao monitoramento ambiental, os ciclos fenológicos das culturas, expansão urbana e todas as mudanças que ocorrem na Terra de maneira mais dinâmica, há a necessidade de definição temporal. Tal resolução permite compreender com que velocidade os fenômenos naturais ou não naturais se desenvolvem ao decorrer do tempo. As Figuras 7a e 7b tem uma diferença de quatro meses de uma situação para outra.

Figura 7a e 7b - Percepção da Resolução Temporal.



Fonte: Autoria própria.

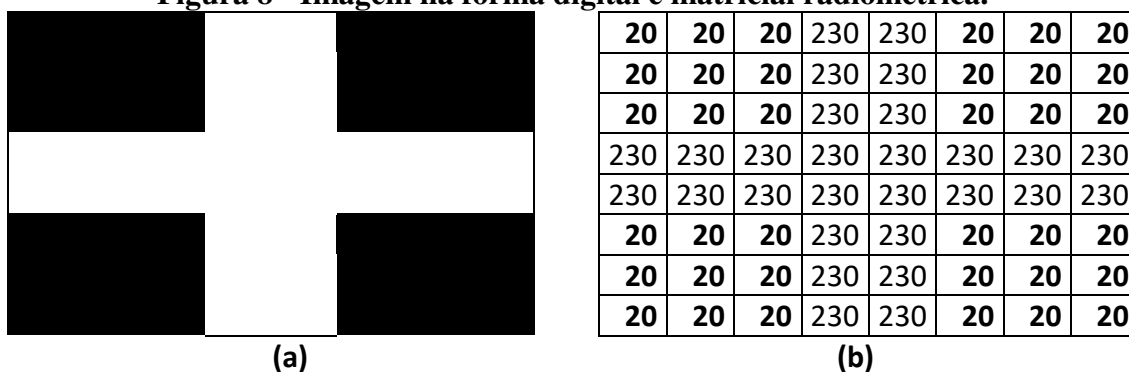
Na Figura 7a, pode-se perceber os alicerces de uma casa em se processo inicial de demarcação. Já a Figura 7b identifica se as subdivisões dos cômodos da casa em inicio de construção. Estas imagens foram obtidas com RPA. Nestes casos, a resolução

temporal para cada projeto será definida conforme as necessidades que se visa atender para cada situação.

Já a resolução radiométrica, define o número de níveis de radiância que o detector pode discriminar. Sendo assim, a intensidade medida para cada área de pixel unitário em relação à quantidade de intervalos de valores digitais discretos, que são gerados a partir da conversão eletrônica da radiação que entra no sensor, podendo ser chamada também de quantificação. Ou seja, ao receber esta energia, o sensor transforma em informação binária de tons de cinza, assumindo valores que terão seu limite determinado pela capacidade do sensor em armazenar uma maior ou menor quantidade de *bits*. Quanto maior for à capacidade do detector para medir as diferenças de intensidades dos níveis de radiância, maior será a resolução radiométrica.

Um exemplo simples, mas que representa bem o que é a resolução radiométrica é a Figura 8. Nela pode-se perceber que em (a) a imagem digital e em (b) sua forma radiométrica, onde cada célula representa um *pixel* e cada um recebe um valor digital (DN) que diz respeito ao tom de cinza registrado. Quanto mais próximo do valor 0 mais preto será o *pixel*. E o inverso é verdadeiro para o valor, neste caso, de 255, representando o branco total.

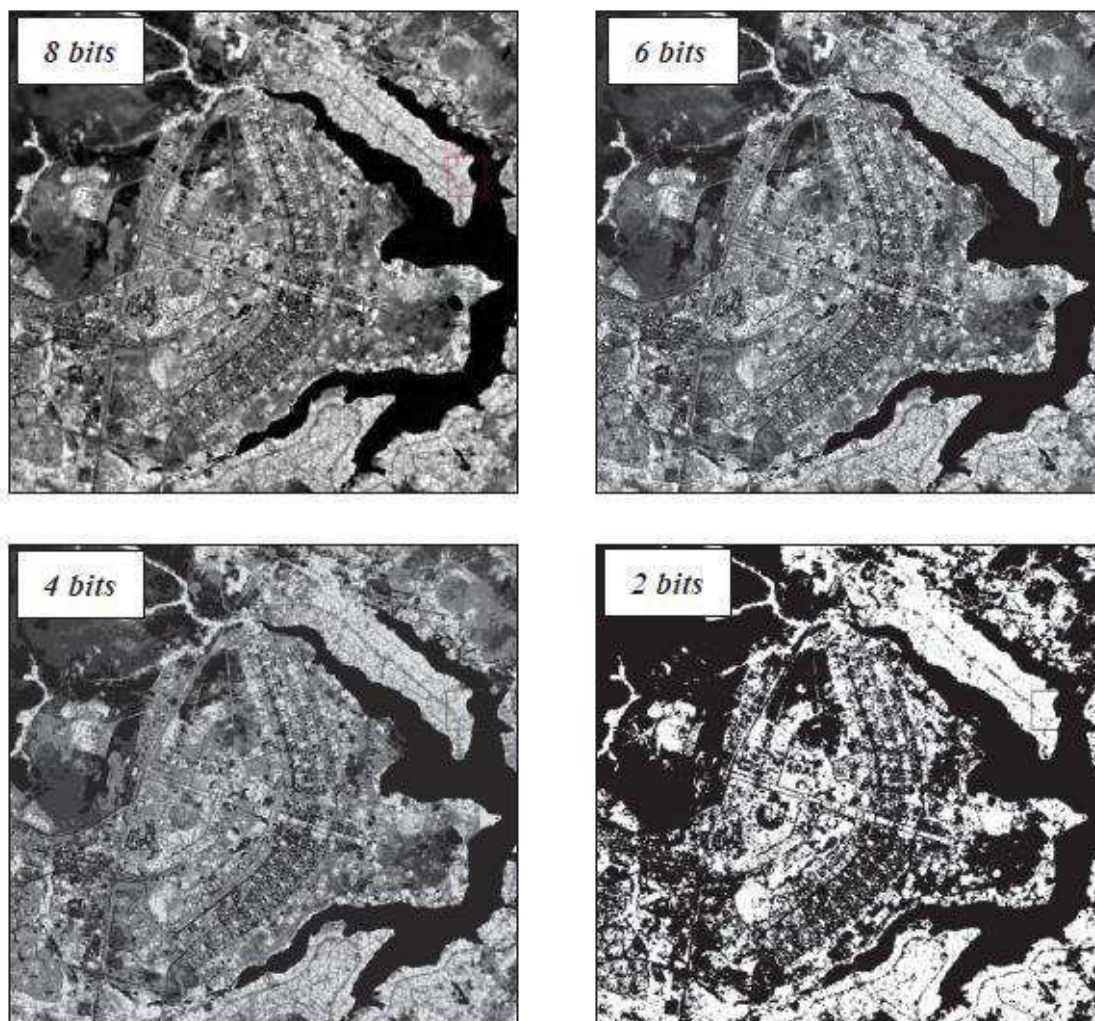
Figura 8 - Imagem na forma digital e matricial radiométrica.



Fonte: Autoria própria.

Estas quantidades de escalas de cinza que o sensor é capaz de registrar é quem determina a resolução radiométrica. Para saber a quantidade de níveis de cinza que o equipamento detector irá gerar eleva-se o valor de *bits* na potência de 2, ou seja, uma imagem com 8 *bits* tem até 255 níveis de cinza ($2^8 = 256$); com 16 *bits*, 65.536 níveis, e assim sucessivamente. Concluindo assim que, quanto mais bits uma imagem apresentar, melhor será a capacidade de gerar informações nos processos de SR bem como, se relacionada com a resolução espacial, gerar melhores imagens (Figura 9).

Figura 9 - Exemplo de imagens com diferentes resoluções radiométricas.



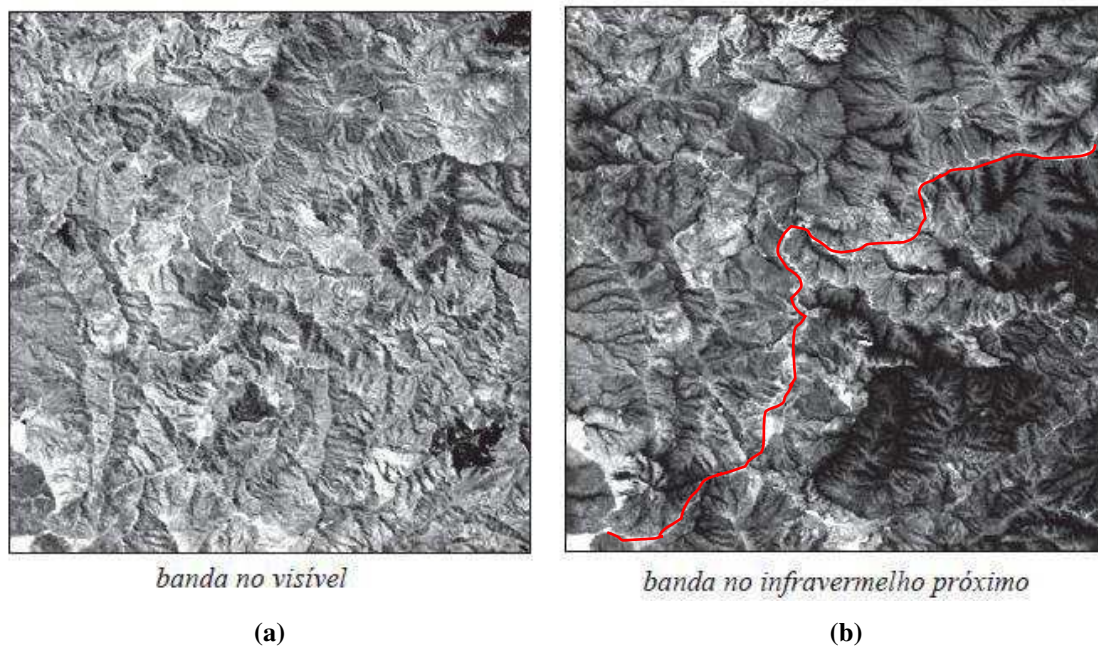
Fonte: Meneses (2012).

Como já foi dito, as capacidades dos sensores imageadores é que define também a competência do SR. Sensores que têm a capacidade de captar diferentes bandas do espectro eletromagnético são assim de grande valia, por abranger uma maior possibilidade de aplicações e tipo de informações que podem ser extraídas das imagens. Sendo assim, a resolução espectral de um sensor envolve pelo menos três parâmetros: 1) Número de bandas que ele possui; 2) o comprimento de onda destas bandas; e 3) a faixa do espectro eletromagnético que elas se encontram. Para que o sensor seja capaz de identificar um objeto, este deve apresentar largura de banda equivalente a de absorção do material em questão.

Sabe-se que a resolução espacial tem limitações quanto à distinção de alvos quando há muito contraste na vizinhança, nestes casos a resolução espectral do objeto pode auxiliar na detecção. Como no exemplo das Figuras 10a e 10b, em que na imagem

da direita podemos distinguir melhor uma rua de terra, rua esta que por ter uma largura (10m) menor que a resolução espacial do sensor (30 x 30m) que captou estas imagens, mistura as feições da margem da estrada. Então, cabe ao operador utilizar seus conhecimentos e a bibliografia especializada para determinar quais sensores melhor atenderam suas necessidades.

Figura 10a e 10b - Imagens em diferentes bandas espectrais apresentam feições distintas da mesma área.



Fonte: Meneses (2012).

2.3 Veículo aéreo não tripulado (VANT)

2.3.1 Definição

Muitas são as nomenclaturas e modalidades de aeronaves não tripuladas. O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2016) define Aeronave não tripulada automática, como um veículo aéreo não tripulado que permite a intervenção do piloto a qualquer momento do voo e é também conhecida como uma aeronave semiautônoma. Outro conceito importante são os sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), ou seja, aeronave pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota, sendo seu uso não recreativo. Essencialmente, a diferença entre um aeromodelo e um veículo aéreo não tripulado é a sua finalidade, o tipo de uso, sendo o primeiro para uso estritamente recreativo.

Já o termo *Drone*² deve ser utilizado para aeronaves remotamente pilotadas utilizadas para fins recreativos por ser uma nomenclatura informal, sem resguardo técnico ou legal (ZANETTI, 2017).

O Veículo Aéreo Não Tripulado é definido também pela Instrução Suplementar (IS) nº 21-002, da ANAC (2012) como:

Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Nesta definição, incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos (ANAC, 2012).

Buscando uma padronização, a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) orienta a utilização da nomenclatura RPAS, abreviação do inglês para *Remotely-Piloted Aircraft System* que em tradução livre para o português seria, Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada. Este termo foi adotado pela ANAC, bem como pelo DECEA por ser uma definição que melhor representa a realidade, tendo em vista que a aeronave é apenas um dos componentes de um sistema que ainda inclui uma estação de pilotagem remota (ou um controle de radio frequência), os sensores que vão embarcados, processadores de voo, sistemas inerciais e tudo mais que possa ser necessário para atender as necessidades demandadas (CUNHA et al. 2016).

Ainda assim no Brasil é mais comum à utilização do termo VANT, tendo em vista que tais recomendações da OACI só passaram a ser amplamente implementadas a partir de 2017.

Ao analisar uma definição do VANT de uma década atrás percebe-se como o seu uso vem mudando nestes últimos anos. A Portaria Normativa n. 606, do Ministério da Defesa, publicada no Diário Oficial da União (DOI) em junho de 2004, apresenta o seguinte conceito:

Veículo Aéreo Não Tripulado: é 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: Transportar cargas úteis convencionais, como sensores diversos e equipamentos de comunicação; Servir como alvo aéreo; Levar designador de alvo e cargas letais, sendo nesse caso empregado com fins bélicos (BRASIL, 2004).

² Palavra de origem inglesa, que significa “zangão” no português. Atribuída a esta tecnologia pelo ruído que os veículos de asa rotativa emitem ao voar, remetendo ao zumbido produzido por zangões.

Pode perceber que o conceito de VANT está relacionado mais como uma aeronave de apoio ao combate bélico do que para fins comerciais ou de pesquisa. O porquê disto fica claro ao se analisar a evolução histórica desta tecnologia.

2.3.2 Historia do VANT no Sensoriamento Remoto

Os acontecimentos históricos que deram suporte para o surgimento e desenvolvimento dos VANT, assim como muitos dos produtos domésticos e industriais que é utilizado hoje em dia foram as guerras (KEANE & CARR, 2013). A capacidade de adquirir informação privilegiada do inimigo de forma rápida e segura, sem colocar em risco a vida humana foi o que impulsionou inicialmente o desenvolvimento do Sensoriamento remoto como um todo, sobretudo das aeronaves pilotadas remotamente (LONGHITANO, 2010).

Posteriormente, vários tipos de missões foram atendidos com diversos tipos de uso para estas aeronaves, tais como alvos aéreos manobráveis, guerra eletrônica entre outras. Este conceito gerou interesse dos militares também pela ideia de se produzir mísseis de longo alcance, “torpedos aéreos” ou “bombas voadoras”, podendo esta tecnologia ser considerado um precursor dos mísseis de cruzeiro que atualmente está em debate com os Estados Unidos da América (EUA) e Coreia do Norte.

O emprego de balões e pipas para obtenção de imagens tem referências ao início do século XVII, podendo estes ser considerados os primeiros veículos não tripulados utilizados para este fim (BRANDÃO, 2007). Em 1888, o francês Arthur Batut utilizou uma câmera fotográfica acoplada a uma pipa, que podemos ver na Figura 11, para obter a primeira aerofotografia registrada por um veículo aéreo não tripulado.

Figura 11 - Pipa e câmera de Batut, 1888.

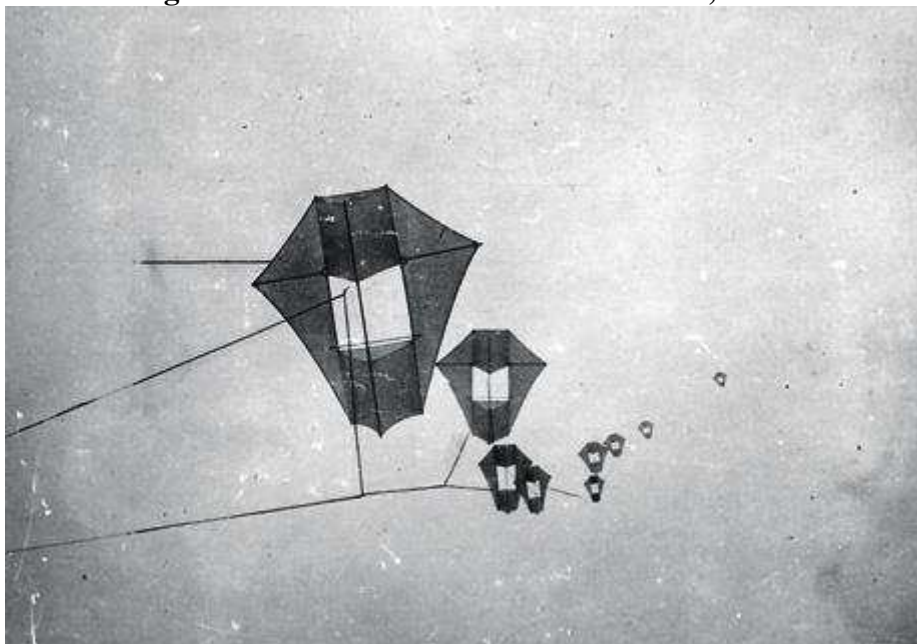


Fonte: Zanetti (2017).

Nesta época, Batut já enxergava a versatilidade desta tecnologia promissora, em seu livro “A Fotografia Aérea por Pipas” (1890), no qual ele já vislumbrava aplicações diversas como ampliação da visão do terreno para exploradores e apoio à localização de ruínas para estudos arqueológicos. Ele propunha também usos em que esta tecnologia é amplamente utilizada hoje em dia, principalmente no tocante à agricultura de precisão, no qual ele sugeriu naquela época que tal tecnologia fosse utilizada para a localização de focos de doenças em vinhedos para a agronomia e o reconhecimento de terreno pelas forças armadas (RENNER, 2014).

Em 1906, um adepto das técnicas de aerofotografia com pipas, George Raymond Lawrence, registrou imagens utilizando o que ele denominou ser uma *Aeronave Cativa* que seria um conjunto de pipas interligadas para sustentar uma câmera no ar. Lawrence utilizava de nove a dezessete pipas para formar este tipo de aeronave que pode ser vista na Figura 12.

Figura 12 - Aeronave Cativa de Lawrence, 1906.



Fonte: Museu de História de Chicago (2017).

A Figura 13 foi obtida por ele utilizando uma câmera de 22,5 kg presa a esta aeronave cativa a aproximadamente 610m do solo e com lentes angulares de 160°. A aerofotografia foi batizada como “*San Francisco in Ruins*” (São Francisco em Ruínas) e causou espanto na época pela riqueza de detalhes até então nunca vista. É interessante saber que Lawrence capturava as fotos às cegas, só sabendo seu resultado após revelar as mesmas e ainda assim obtinha ótimos resultados. Provavelmente, foi o primeiro a utilizar imagens aéreas para analisar impactos pós-desastre (LONGHITANO, 2010).

Figura 13 - “*San Francisco in Ruins*”, de George R. Lawrence, 1906.



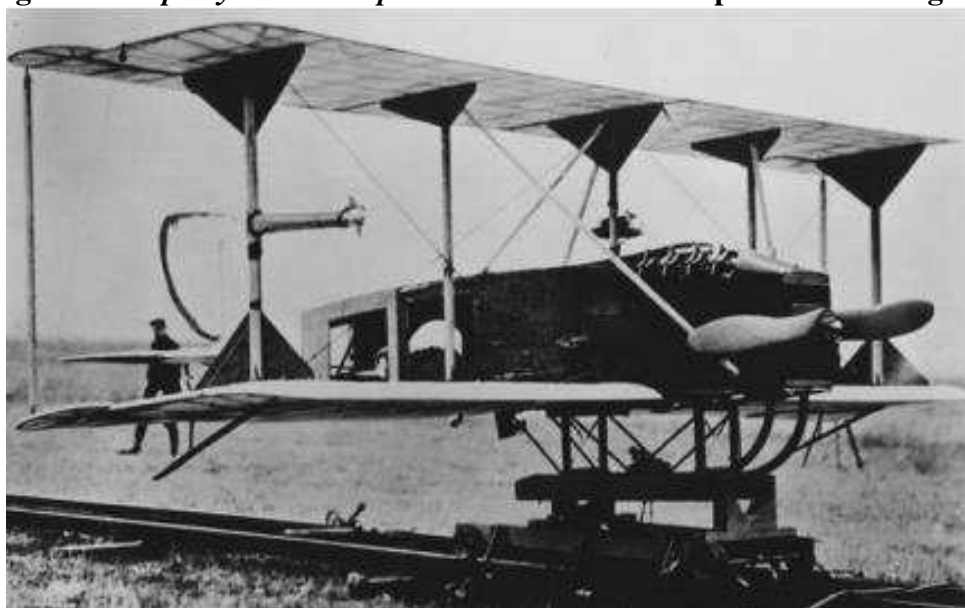
Fonte: Biblioteca do Congresso Norte Americano (2017).

Até o início do século XX, os VANT's para uso no Sensoriamento Remoto esbarrava nas limitações tecnológicas dos componentes necessários para seu

desenvolvimento. Foi então que em 1909 um americano chamado Elmer Sperry, começou a desenvolver o que pode ser considerado o pai dos sistemas inerciais modernos, com a criação de um equipamento capaz de controlar a estabilidade de aeronaves em voo. Concomitantemente a isto, a empresa, também americana, *Western Electric Company*, desenvolvia um controle de rádio frequência no intuito de corrigir a trajetória de torpedos voadores.

Estas duas tecnologias foram o pontapé para o desenvolvimento de toda tecnologia de aeronaves não tripuladas e remotamente pilotadas ao longo do século (ALVES JUNIOR, 2015). Em dezembro de 1917, denominado *Sperry Aerial Torpedo* (Figura 14), o primeiro VANT controlado por rádio realizou um voo teste de 80 quilômetros, carregando uma carga de 150 kg, uma bomba na época, remetendo novamente ao uso bélico desta ferramenta (ZALOGA, 2007 *apud* ALVES JUNIOR, 2015).

Figura 14 - *Sperry Aerial Torpedo* sobre os trilhos em ponto de decolagem.



Fonte: Stoff (2001) *apud* Alves Junior (2015).

A partir daí, alguns exemplares de aeronaves não tripuladas foram desenvolvidas nos Estados Unidos e Europa no período da Primeira Guerra Mundial, tendo no ano de 1920 alcançado um marco na navegação tecnológica com o desenvolvimento de um conceito que ficou conhecido por *Messenger Aerial Torpedo* (MAT), que tinha como objetivo levar mensagens de um quartel general para outro, trabalho este que era realizado por soldados. Seu sucesso se deu após otimizações e atualizações graduais no desempenho da aeronave. Ela apresentava um controle de rádio e um sistema de

navegação inercial, fazendo com que este conceito de MAT fosse muito além das capacidades já vistas, tendo em vista o baixo nível de desenvolvimento tecnológico da época.

Com o fim da guerra, os desenvolvimentos em torno dos VANT's foram em sua maioria descontinuados. Ainda que mais lento, o desenvolvimento de novas aeronaves não parou, buscando sempre uma melhor capacidade de controle e estabilidade de voo, bem como a autonomia e manobrabilidade das mesmas. Tudo isso fez com o seu uso para alvo de treinamento aéreo ganhasse mais atenção neste ponto da história. E todo desenvolvimento tecnológico girou em torno disso até meados do século XX, quando então a utilização e produção dos VANT's mais robustos começaram a surgir (MEDEIROS, 2007; ALVES JÚNIOR, 2015; PAULO, 2012).

Os avanços tecnológicos nos componentes embarcados como processadores e sensores mais eficientes aceleraram a evolução dos VANT's no final do século XX. Aeronaves cada vez mais potentes foram surgindo com o decorrer das guerras fria, da Coreia, do Vietnã, na primeira guerra do Golfo e mais recentemente no Afeganistão e Iraque.

Em 1995, a Força Aérea Americana (USAF) colocou em operação o modelo militar que seria considerado o primeiro VANT a ser empregado em um ataque utilizando mísseis. Sendo assim, tornando-se a aeronave não tripulada mais avançada até então, o *MQ-1 Predator* (Figura 15). Ela era capaz de realizar voos autônomos ou remotos para fins de reconhecimento e ataque. Vale ressaltar que após o atentado de 11 de Setembro ocorrido no ano de 2001, os Estados Unidos intensificaram massivamente os investimentos dos VANT's com uma previsão de que em 2009 os gastos chegariam a US\$ 3,2 bilhões (MEDEIROS, 2007; JENSEN, 2009; LONGHITANO, 2010; KEANE & CARR, 2013).

Figura 15 - Aeronave MQ-1 Predator, primeira aeronave não tripulada utilizada em ataque com mísseis.



Fonte: Paula (2012).

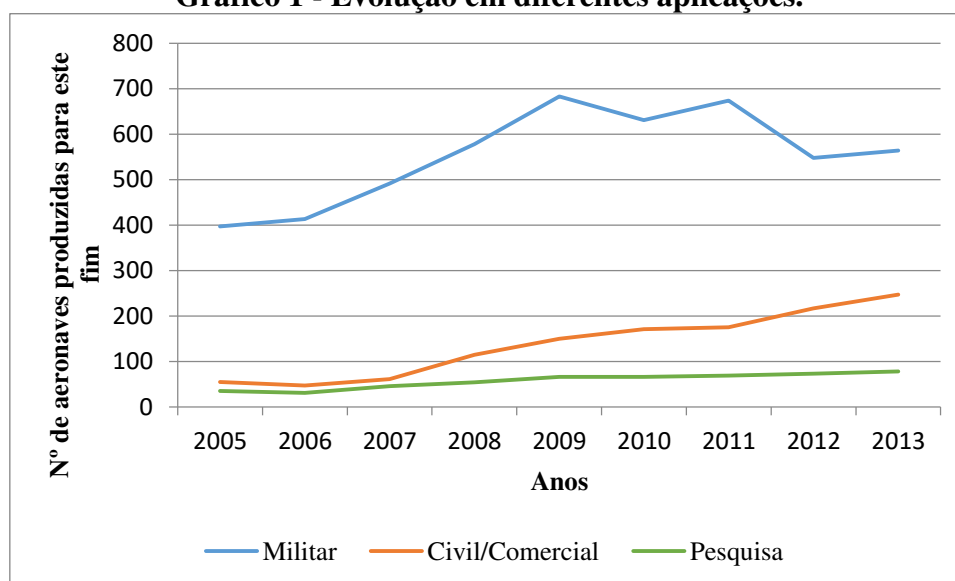
As aplicações civis com os VANT's começaram a ganhar força na década de 1980. Devido, principalmente, aos altos custos de produção e monitoramento, se mantiveram restrita aos militares e agora cada vez mais vem sendo democratizada, com opções acessíveis e aplicações diversas. Na Tabela 3 demonstram-se algumas aplicações desta natureza.

Tabela 3 - Algumas aplicações civis dos VANT's.

Área	Tipo de aplicação
Indústria agrícola	Fotografia aérea para monitoramento de crescimento e pragas, bem como aplicação de fertilizantes e pesticidas nas plantações.
Exploração de minérios	Reconhecimento aéreo para encontrar minerais em áreas de difícil acesso.
Guarda costeira e policiamento urbano	Monitoramento aéreo de fronteiras, costas e vias públicas.
Energia	Monitoramento de linhas de transmissão.
Televisão e cinema	Tomadas aéreas.
Entretenimento	Brinquedo, aeromodelismo etc.

Fonte: Adaptado de Zanetti (2017).

Percebe-se pela história dos números ainda que, por mais que os VANT's tenham se tornado ferramenta indispensável nas guerras modernas, o seu uso militar vem caindo nos últimos anos frente aos empregos em pesquisa e na área civil/comercial (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Evolução em diferentes aplicações.

Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos de Colomina e Molina (2014).

A crescente operação destas aeronaves em usos comerciais, quase quintuplicou, demonstrando o quão versátil a utilização de VANT pode ser na solução de problemas. Consta-se também que o uso na pesquisa vem crescendo, porém com menor velocidade. Todo esse histórico traz, em seu bojo, tal tecnologia ao patamar em que ela se coloca hoje, sendo a mais promissora atualmente no que diz respeito à aviação civil e militar, assim como às outras diversas aplicações que foram aqui abordadas.

Foi também na década de 1980 que o Brasil desenvolveu sua primeira aeronave não tripulada, produzida pela extinta Companhia Brasileira de Tratores (CBT), o BQM-1BR (Figura 16) foi produzido em 1982 e tinha propulsão de motor a jato, motor este confeccionado pelo Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA), podendo chegar a 560 km/h, tinha 92 kg e podia voar por aproximadamente 45 min, com uma altura máxima de 6500 m (ALVES JÚNIOR, 2015).

Este VANT foi desenvolvido com a intenção de ser utilizado como alvo aéreo para treinamentos diversos e foi considerado o “embrião” de um dos projetos mais ousados da época. Pode ser encontrado no Museu “Asas de Um Sonho” da companhia aérea Latam, em São Carlos-SP. Segundo a CBT, a aeronave nunca chegou a sair do solo, porém o museu afirma que o protótipo foi testado com sucesso no ano posterior a sua construção (PAULA, 2009).

Figura 16 - BQM-1BR, primeiro VANT construído 100% no Brasil.



Fonte: Alves Júnior (2015).

Com início do século XXI, alguns projetos de produção de VANT começaram a ganhar força para o uso civil. Projetos como Aurora, Gralha Azul, Arara podiam realizar atividade de sensoriamento remoto, monitoramento ambiental e inspeção aérea. Toda essa movimentação na busca por uma produção 100% nacional, se falando em tecnologia e manufatura de menor custo, foi alcançada com o projeto Arara (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas).

A aeronave foi desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em cooperação com o Instituto de Ciências Matemáticas e Computação da Universidade de São Paulo (ICMC-USP), mas que infelizmente nunca chegou a operar de maneira efetiva. A Embrapa não desistiu da missão de produzir um VANT de baixo custo e risco e que pudesse atuar com segurança nas condições adversas do campo e mais recentemente em convênio com a empresa *Rotomotion* e a empresa pública de fomento à ciência, tecnologia e inovação FINEP, no qual já foram apresentados resultados preliminares (MEDEIROS, 2007; JORGE et al. 2011).

Em linhas gerais, o mercado de VANT vem alavancando sua presença no mercado civil, sobretudo com a nova legislação promulgada em abril de 2017. A Associação Brasileira de Drones projetou para o ano passado um faturamento de R\$200 milhões na indústria local. Um número de respeito, considerando que está falando de um recurso relativamente recente. Esperasse que até 2024 o mercado de *drones* tenha movimentado US\$ 91 bilhões em todo mundo. Isto tudo demonstra o quão promissora pode ser esta tecnologia (PRATA, 2016).

Nesse universo mercadológico dos VANT's existem alguns tipos de aeronaves não tripuladas as quais se pode encontrar a depender de sua aplicação ou finalidade, sendo equipamentos similares, entretanto com suas características e capacidades específicas. Longhitano (2010) atenta para o fato de que as aeronaves não tripuladas

podem variar de centímetros a centenas de metros como uma aeronave comum tripulada. Todas estas variações quanto a tamanho, configuração, capacidade de carga diferentes surgiram na busca do aumento na autonomia de voo bem como de carga útil dos VANT (ALVES JÚNIOR, 2015).

Neste ponto, no Quadro 1 mostra-se uma comparação entre os três principais tipos de aeronave, levando em consideração os aspectos que comumente são utilizados para classificar os VANT's na literatura especializada, quais sejam: condições do campo, no que diz respeito às áreas requeridas para pouso e decolagem; custo, sendo o valor para a produção da aeronave; fatores climáticos e aspectos relacionados à trajetória de voo e transporte do VANT (MEDEIROS, 2007).

Quadro 1 - Comparativo entre diferentes tipos de plataforma VANT.

Aspecto analisado	Tipo de VANT					
	Asa fixa		Asa rotativa		Dirigível (Balões de ar)	
	Vantagem	Desvantagens	Vantagem	Desvantagens	Vantagem	Desvantagens
Pouso e Decolagem		Necessita área para pouso e decolagem por lançamento ou de forma horizontal.	Pouso ou decola de qualquer lugar de maneira vertical.		Pode decolar de qualquer lugar de maneira vertical.	Necessita de área para pouso.
Trajatória	Possui capacidade de realizar rota pré-determinada.		Possui capacidade de realizar rota pré-determinada.			Depende das condições do vento para seguir na rota.
Condições climáticas	Possui um grau de tolerância maior para voar com vento.		Possui um grau de tolerância maior para voar com vento.			Possui baixa tolerância para voar com vento.
Custos		Custos mais altos de aquisição e manutenção.*	Possui custo de produção e manutenção relativamente baixo.			Custos mais altos de aquisição e manutenção.
Transporte	Este tipo de aeronave normalmente tem a opção de desmontar, o que facilita o transporte.		Fácil transporte.			Difícil de transportar devido ao grande volume do reservatório de gás.



Aspecto analisado	Tipo de VANT					
	Asa fixa		Asa rotativa		Dirigível (Balões de ar)	
	Vantagem	Desvantagens	Vantagem	Desvantagens	Vantagem	Desvantagens
Carga útil	Suporta carga considerável em relação ao seu peso.		Suporta carga considerável em relação ao seu peso.			Não suporta cargas consideráveis.
* Aqui diz respeito aos VANT produzidos especificamente para trabalhos em Sensoriamento Remoto.						

Fonte: Adaptado de Medeiros (2007).

Para maior clareza de entendimento o Quadro 2 demonstra uma breve classificação dos cinco tipos mais comuns de plataformas encontradas atualmente. Além das já citadas de asa fixa ou rotativa e dos balões de ar, assim como os *Flapping-Wing* ou batedores de asas e os Híbridos ou Conversíveis.

Quadro 2 - Tipos de plataforma VANT.

Tipo de VANT	Descrição	Imagem
Asa-fixa	Aeronaves com asas fixas que exigem uma pista para decolagem e pouso, ou uma catapulta no caso do lançamento.	
Asa-rotativa	Aeronaves com asas rotativas (hélices), pouso e decolagem na vertical. Possuem a capacidade de pairar no ar e alta capacidade de execução de manobras.	

Tipo de VANT	Descrição	Imagem
Flapping-Wing ou batedores de asas	Aeronaves com asas flexíveis, inspiradas em pássaros ou insetos alados.	
Híbridos ou conversíveis	Voam como aviões convencionais, embora decolem na vertical. Isso ocorre em função de capacidade de inclinar os motores ou parte da fuselagem.	

Fonte: Adaptado de Linhares (2016).

Como foi dito antes, estas classificações levam em consideração principalmente a aerodinâmica e a dinâmica de voo de cada aeronave. Neste sentido, podem-se determinar ainda subclasses a estas. Um VANT de asa-rotativa pode ter diferentes configurações quanto ao número de rotores, por exemplo. Com quatro motores denominados de quadricóptero; com seis, hexacóptero; com oito, octacóptero e assim por diante.

Existem ainda as classificações que levam em consideração somente as funções como altura de voo, tamanho e a autonomia. (Tabela 4) (PAULA, 2012).

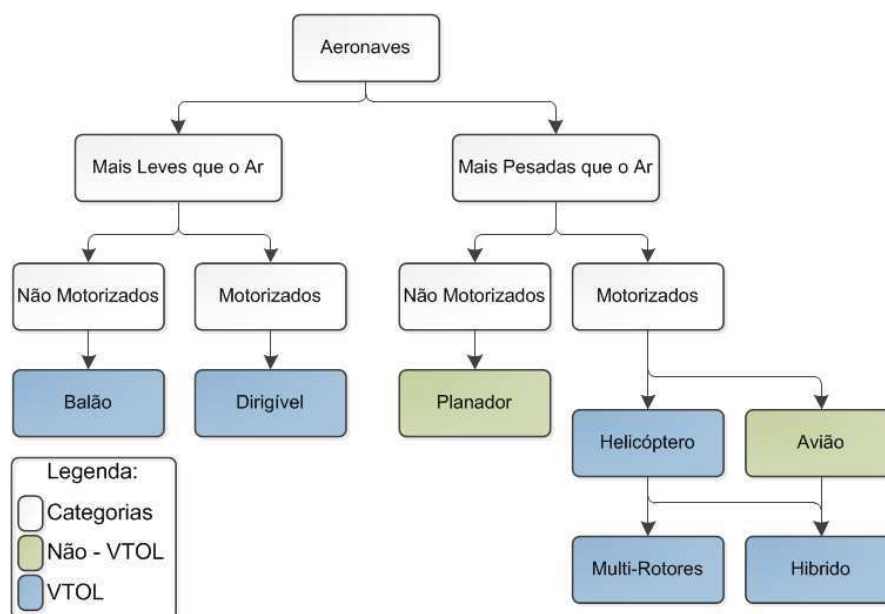
Tabela 4 - Outro tipo de classificação encontrada na literatura.

Categorias	Alcance (km)	Altitude (m)	Autonomia (horas)	Peso (kg)
Micro	< 10	250	1	< 5
Mini	< 10	150 a 300	< 2	< 30
Alcance Fechado	10 a 30	3000	2 a 4	150
Alcance Curto	30 a 70	3000	3 a 6	200
Alcance Médio	70 a 200	5000	6 a 10	1250
Alcance Médio Resistente	> 500	8000	10 a 18	1250
Baixa Altitude Alta Velocidade	> 250	50 a 9000	0,5 a 1	350
Média Altitude Longa Autonomia	> 500	14000	24 a 48	1500
Alta Altitude Longa Autonomia	> 2000	20000	24 a 48	4500 a 12000

Fonte: Adaptado de Paula (2012).

Outra classificação interessante, proposta ainda por Paula (2012), divide as aeronaves em dois grandes grupos: mais leves ou mais pesadas que o ar. E também quanto à sua dinâmica de voo, pouso e decolagem como se pode ver na Figura 17.

Figura 17 - Tipos de aeronaves não tripuladas.



Fonte: Paula (2012)

Aqui, além de separar por peso e tipo de propulsão, as aeronaves chamadas de VTOL's. São aquelas que possuem a capacidade de pousar e decolar de maneira vertical, ou seja, acabam sendo mais versáteis neste ponto, porém apresentam menor velocidade de cruzeiro. As ditas Não-VTOL são aquelas que necessitam ganhar

velocidade horizontal para levantar voo ou aterrissar, o que exige necessidade de grandes áreas para tal procedimento (PAULA, 2012).

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é quem determina a classificação oficial a ser seguida nas aplicações com VANT's. Seguindo a norma "Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC – E n. 94" (ANAC, 2017) estas estão assim classificadas, levando-se em conta os riscos envolvidos nas operações bem como limites estabelecidos com base em outras agências reguladoras, nacionais e internacionais, como a *Federal Aviation Administration* (FAA), *Civil Aviation Safety Authority* (CASA) e *European Aviation Safety Agency* (EASA), reguladores dos EUA, Austrália e da União Europeia, respectivamente, o DECEA e a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Esta classificação está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação dos VANT's segundo regulação RBAC-E n. 94 ANAC, 2017.

Classe	Peso Máximo de Decolagem	Exigências de Aeronavegabilidade
Classe 1	Acima de 150 kg	A regulamentação prevê que equipamentos desse porte sejam submetidos a processo de certificação similar ao existente para as aeronaves tripuladas, promovendo ajustes dos requisitos de certificação ao caso concreto. Esses VANT's devem ser registrados no Registro Aeronáutico Brasileiro e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 2	Acima de 25 kg e abaixo ou igual a 150 kg	O regulamento estabelece os requisitos técnicos que devem ser observados pelos fabricantes e determina que a aprovação de projeto ocorra apenas uma vez. Além disso, esses VANT's também devem ser registrados no Registro Aeronáutico Brasileiro e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.

Classe	Peso Máximo de Decolagem	Exigências de Aeronavegabilidade
Classe 3	Abaixo ou igual a 25 kg	<p>A norma determina que as RPA Classe 3 que operem além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés (120m) deverão ser de um projeto autorizado pela ANAC e precisam ser registradas e identificadas com suas marcas de nacionalidade e matrícula.</p> <p>Os VANT's dessa classe que operarem em até 400 pés (120 m) acima da linha do solo e em linha de visada visual (operação VLOS) não precisarão ser de projeto autorizado, mas deverão ser cadastrados na ANAC por meio do sistema SISANT, apresentando informações sobre o operador e sobre o equipamento.</p> <p>Os VANT com até 250 g não precisam ser cadastrados ou registrados, independentemente de sua finalidade (uso recreativo ou não).</p>

Fonte: ANAC (2017).

Vale ressaltar a abordagem dos termos utilizados (BVLOS, VLOS, EVLOS) pela regulação brasileira, presentes também na RBCA-E n. 94 da ANAC quanto aos critérios visuais de operação dos VANT's:

- **Operação BVLOS** – Operação na qual o piloto não consegue manter o VANT dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador.
- **Operação VLOS** – Operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com o VANT (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos).
- **Operação EVLOS** – Operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com o VANT com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa do auxílio de observadores.

2.3.3 Legislação sobre VANT no Brasil

Em regras gerais a RBCA-E n.94 da ANAC, vigente desde Abril de 2017 diz que a idade mínima para uso e operação de VANT é 18 anos e que operações totalmente autônomas ficam totalmente proibidas no Brasil. Além disso, há a necessidade de um seguro para danos a terceiros.

As atividades ilícitas ou ainda de invasão de privacidade serão tratadas pelas autoridades de segurança pública competentes, Defesa Civil e órgão de segurança pública podem utilizar tais equipamentos em quaisquer áreas, ficando eventuais

ocorrências sobre suas responsabilidades, desde que sejam observadas as demais exigências, por exceção do seguro para danos a terceiros.

Segundo o Código Brasileiro de Aeronáutica (CBAer) (Lei n. 7.565/1986, em seu Título IV, Capítulo I, Art. 106), “Considera-se aeronave todo aparelho manobrável em voo, que possa sustentar-se e circular no espaço aéreo, mediante reações aerodinâmicas, apto a transportar pessoas ou coisas.” (BRASIL, 1986). Estando assim então os VANT’s enquadrados como “aeronaves” para a lei brasileira, sendo de tal modo objeto de regulação e fiscalização da ANAC. Logo, nenhuma operação com VANT pode ser efetuada em território nacional sem a devida autorização da própria, independente se o uso será recreativo, corporativo, comercial ou experimental. Além ainda de estar em consonância com as normativas de outros órgãos públicos como DECEA e ANATEL (ANAC, 2017).

Uma operação civil com VANT no Brasil é regulada hoje pela ANAC, DECEA, ANATEL e, em alguns casos específicos, pelo Ministério da Defesa ou do Comando da Aeronáutica (ANAC, 2012; COSTA JÚNIOR, 2017). A Tabela 6 lista as leis e normas vigentes quanto ao uso de aeronaves remotamente pilotadas ou veículos aéreos não tripulados.

Tabela 6 - Normas vigentes quanto à operação de VANT.

Normas Vigentes	
Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)	Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados IS 21-002A RBAC 21, de 29 de novembro de 2011 – Certificado de Autorização de Voo Experimental RBHA 91, de 20 de março de 2003 – Regras Gerais de Operação Para Aeronaves Civis
Departamento de Controle Aéreo (DECEA)	ICA 100-40, 9 de novembro de 2015 - Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro

Normas Vigentes

Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)	ICA 100-12, de 31 de julho de 2014 - Regras do Ar
	ICA 100-37, de 28 de abril de 2014 - Serviços de Tráfego Aéreo
	Resolução nº 242, de 30 de novembro de 2000 – Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações.
	Resolução nº 506, de 1º de julho de 2008 – Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita.
	Resolução nº 635, de 9 de maio de 2014 – Regulamento sobre Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências.
	Portaria 465, de 22 de agosto de 2007 – Aprovar a NORMA Nº 01/2007, anexa a esta Portaria, que estabelece os procedimentos operacionais necessários ao requerimento para a execução do Serviço Especial para fins Científicos ou Experimentais

Fonte: ANAC (2017).

De maneira geral, no Portal Drone/RPAS do DECEA (www.decea.gov.br/drone/) recomenda que ao operar com os VANT's no Brasil, o operador deverá ficar atento principalmente ao Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC – E n. 94 e à Instrução Suplementar n. 21-002, ambas da ANAC; bem como à Instrução do Comando da Aeronáutica, “Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”, ICA 100-40/2017 do DECEA; e por fim ao “Manual do Usuário SCH – Solicitante – Declaração de Conformidade para quadricóptero (DRONE)”, da Anatel.

O DECEA regula todo o espaço aéreo brasileiro, sendo assim, toda operação em espaço aéreo, seja de um RPA ou uma aeronave comum tripulada, é regulada pelo DECEA e demais órgãos competentes, municipais, estaduais ou também federais. No que diz respeito aos RPA, a ICA 100-40/2017 é quem legisla quanto aos aspectos legais a serem respeitados para uma utilização segura do espaço aéreo por este tipo de aeronave, de modo a não entrar em conflito, nem ocorrer de situações de perigo as demais aeronaves. Têm-se espaços aéreos diversos, os Controlados, Condicionados, Segregados, entre outros. E cada um deles vai exigir diferentes autorizações ou permissões, sendo em alguns deles até mesmo totalmente proibida às operações aéreas, como áreas de espaço aéreo militar, por exemplo. Tudo isto é controlado pelo Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), cujo DECEA é o órgão central. Vale saber que esta ICA não se aplica a operações que sejam de caráter recreativo, excluindo assim os *drones* e aeromodelos sendo estes regidos pela Portaria 207/DAC.

Sendo assim, quais seriam as responsabilidades do explorador, e/ou operador. Para o DECEA, Explorador é toda “pessoa, organização ou empresa que se dedica ou se propõe a se dedicar à exploração de aeronaves.”. Em algumas legislações, o Explorador poderá também ser denominado operador, sendo este o responsável pela operação ou exploração, controle de pessoal envolvido, manutenção e treinamento para manuseio dos equipamentos bem como por toda a documentação que for necessária para uma operação em conformidade. É competência da ANAC a certificação destes exploradores.

A ICA 100-12, intitulada “Regras do Ar”, esclarece que cabe ao piloto de RPA ter todas as mesmas responsabilidades referentes a um piloto de aeronave tripulada, no sentido de agir de acordo com as “Regras do Ar”, leis e regulamentações em vigência, sobre tudo por não estarem a bordo da aeronave. Cabe ainda lembrar que a posição de “Observador de RPA”, aquele que auxilia o operador em operações do tipo EVLOS, necessitam também de certificação junto a ANAC, em seus termos.

Algumas regras específicas são consideradas para casos nos quais a exploração se dá em altitudes muito baixas, até 100 pés (em torno de 30 metros), em áreas tidas como confinadas (dentro de prédios ou estádios), bem como quando se trabalha próximo a obstáculos e áreas muito povoadas. Em alguns destes casos, quando o Peso Máximo de Decolagem (PMD) da aeronave é superior a 25 kg, por exemplo, independente da altura de voo ou do tipo de operação será exigido que o voo seja

realizado em espaço aéreo segregado, cuja autorização se dará mediante emissão do *Notice to Airmen*, denominado NOTAM. Regras estas válidas para voos realizados próximos a aeródromos, os quais são levados em consideração na análise da autorização de acesso ao espaço aéreo. Aspectos como o impacto que a operação terá sobre o fluxo do tráfego aéreo, o tipo de operação (VLOS ou BVLOS) e quais outras informações que o órgão regional representante do DECEA achar pertinente. O NOTAM é um documento que visa divulgar, antecipadamente, toda informação sobre a operação aeronáutica que seja de interesse direto e imediato à segurança, regularidade e eficiência na navegação. Voos em áreas confinadas, ainda que parcialmente como arenas, ginásios ou estádios a céu aberto, respeitando o limite lateral da estrutura, são de total responsabilidade do proprietário ou responsável pela estrutura em questão. Estando ainda assim o operador imposto às regras das demais Agências Reguladoras (ANAC/ANATEL).

Para solicitar acesso ao espaço aéreo junto ao DECEA, o explorador deve após proceder toda certificação, homologação das demais agências, acessar o via *web* o “Sistema de Autorização para Acesso ao Espaço Aéreo por RPAS” (SARPAS) na página do DECEA e cadastrar o seu equipamento, bem como se cadastrar no sistema. Esta solicitação será enviada para o Órgão Regional responsável pelo espaço aéreo da região requerida para decolar, devendo esta solicitação se dar com antecedência mínima de 18 dias, tempo este que pode ser menor a depender da operação. Para operações de teto com até 400 pés, a solicitação deve ser feita com um prazo mínimo de até dois dias, a considerar também a distância de aeródromos e a velocidade máxima em voo. O Quadro 3 trás um resumo das regras para acesso ao espaço aéreo pelo DECEA, onde as células preenchidas com “-” independe do valor, devem-se atentar as necessidades do NOTAM nestes casos.

Quadro 3 - Regras do DECEA para utilização de RPA.

	PMD < 25 kg							PMD > 25 kg
	Voo ate 100 pés (30m aproximadamente)			Voo entre 100 e 400 pés (30-120m aproximadamente)			Voo acima de 400 pés (120 m aproximadamente)	-
Tipo operação	VLOS	VLOS	BVLOS	VLOS	VLOS	BVLOS	VLOS/BVLOS	-
Velocidade máxima	30 nós	30 nós	30 nós	60 nós	60 nós	60 nós	-	-

	PMD < 25 kg							PMD > 25 kg
	Voo ate 100 pés (30m aproximadamente)			Voo entre 100 e 400 pés (30-120m aproximadamente)			Voo acima de 400 pés (120 m aproximadamente)	-
Distância de aeródromos	≥ 5 km	> 5 km		≥ 9 km	< 9 km	-	-	-
Afastamento de rotas de aeronaves tripuladas	≥ 5 km	> 5 km		≥ 9 km	< 9 km	-	-	-
Emissão de NOTAM	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Prazo para autorização	Até 45 minutos	02 dias úteis	18 dias	18 dias	18 dias	18 dias	18 dias	18 dias

Fonte: Adaptado ICA 100-40/2017 DECEA (2017).

No que diz respeito às normas da ANATEL, elas regulam a utilização das frequências de radio e de sua utilização por todo tipo de empresa, aparelho ou produto. As empresas devem fazer esta homologação ao disponibilizar o produto no mercado nacional, porém, em alguns casos de importação ou produção artesanal, quando isto não acontece cabe ao proprietário da aeronave conduzir um requerimento por declaração de conformidade junto a ANATEL. Para isto eles disponibilizam um documento que respalda o usuário neste processo. Este manual traz informações detalhadas passo a passo de como o usuário consegue acessar o sistema Mosaico, sistema *online* responsável pelo procedimento da homologação.

São quatro as modalidades de Declaração de Conformidade possíveis de se solicitar por este sistema, quais sejam:

- Fabricante: empresa com domicílio no Brasil e fabrica produtos que utilizam radiofrequências.
- Fabricante artesanal: pessoa física ou jurídica com domicílio no Brasil que produz para utilização própria, sem direito de comercialização.
- Importador: Pessoa física ou jurídica que importa produtos de telecomunicação e tem domicilio no Brasil.
- Importador de produto para uso próprio: pessoa física ou jurídica que importa produtos de telecomunicação, porém com restrições de

comercialização e para uso próprio. Que também deve ter domicílio em território nacional.

Geralmente o usuário que compra uma aeronave para uso no sensoriamento remoto se enquadra no tipo de solicitante “Importador de produto para uso próprio”, esta modalidade restringe a comercialização, mas não impede o nenhum tipo de uso, desde que esteja em conformidade com a legislação tanto da ANATEL, quanto da ANAC e DECEA.

Até a data do presente trabalho, o sistema Mosaico vinha apresentando alguns problemas de funcionamento recorrentes. Ainda assim, de maneira geral, todo produto produzido para o mercado interno, tem sua regulação junto à ANATEL como “Fabricante”, o que acaba gerando certo conflito de informações. Cabe ao operador do RPA se responsabilizar pela devida homologação necessária, visando sempre operações cada vez mais seguras.

Junto a ANAC, a documentação a ser exigida vai depender da classe da aeronave e do tipo de operação. As aeronaves de até 250 g que voem até 400 pés, aproximadamente 120 m, são consideradas licenciadas dispensando documentação da ANAC. Pilotos que operem aeronaves não tripuladas das classes 1 e 2, bem como classe 3 que pretendam voar acima de 400 pés, deverão obrigatoriamente emitir licença e habilitação para operação junto a ANAC. Nos casos das aeronaves classe 1 e 2, o operador terá ainda que possuir Certificado Médico Aeronáutico (CMA) emitido pela ANAC ou de terceira classe emitido pelo DECEA.

De maneira mais resumida e didática, encontra-se desposto também no Portal Drone/RPAS um quadro resumo com os aspectos a serem considerados para cada tipo de operação e classe de VANT (Quadro 4).

Quadro 4 - Resumo da regulamentação da ANAC.

Resumo da Regulamentação da ANAC			
	VANT Classe 1	VANT Classe 2	VANT Classe 3
Registro da aeronave?	Sim	Sim	BVLOS: Sim VLOS: Sim ¹
Aprovação ou autorização do projeto?	Sim	Sim ²	Apenas BVLOS ou acima de 400 pés ²

Resumo da Regulamentação da ANAC			
	VANT Classe 1	VANT Classe 2	VANT Classe 3
Limite de idade para operação?	Sim	Sim	Sim
Certificado médico?	Sim	Sim	Não
Licença e habilitação?	Sim	Sim	Apenas para operações acima de 400 pés
Local de operação	A distância da aeronave não tripulada NÃO poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. Esse limite não é aplicável para operações por órgão de segurança pública, de polícia, de fiscalização tributária e aduaneira, de combate a vetores de transmissão de doenças, de defesa civil e/ou do corpo de bombeiros, ou operador a serviço de um destes.		

Fonte: ANAC (2017).

Vale notar mais uma vez que: 1) todo VANT entre 250 g e 25 kg que se destinem a operações na linha de visada visual (VLOS) até 400 pés acima do nível do solo, deve ser cadastrado por meio de ferramenta *online* disponível no endereço eletrônico (sistemas.anac.gov.br/sisant); e 2) Para todos os sistemas de VANT Classe 2 e os de Classe 3 que se destinam a operações além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés, o fabricante pode optar pelo processo de certificação de tipo estabelecido no RBAC n. 21 ou pela autorização de projeto na Subparte E do RBAC-E n. 94 (ANAC, 2017).

Ao operar um VANT para sensoriamento remoto, o piloto, ou técnico, deve se fazer algumas perguntas a fim de compreender quais serão as necessidades regulatórias as quais ele estará imposto. A primeira coisa a se determinar é qual a finalidade do uso, se este é recreativo ou não. Ao saber que os aeromodelos ou os *drones* não são o objetivo do presente trabalho, tratou-se o uso como não recreativo para o resto da análise.

Em seguida, deve-se conhecer qual será o Peso Máximo de Decolagem (PMD), que seria a soma total do peso de todos componentes embarcados mais o VANT em si. Se este valor foi menor que 250 g, nenhuma documentação será requerida à ANAC. Se

não, deve-se saber se o PMD é então maior ou menor que 25 kg. Caso este valor seja maior, passa-se então a existir a necessidade de um Certificado de aeronavegabilidade (CA), e a aeronave será também registrada na ANAC e receberá um Certificado de Matrícula (CM) ou um Certificado de Marca Experimental.

Sendo o PMD maior que 250 g e menor que 25 quilos, questiona-se então se esta operação vai ultrapassar o teto de 400 pés, ou 120 m, arredondando-se com uma margem de segurança. Se esta condição não for atendida, as exigências passam a ser as mesmas que para as aeronaves com mais de 25 kg. Ao ponto que, se sua operação vai ocorrer com um VANT de PMD de até 25 kg e com teto máximo de 120 m, realidade da maioria dos trabalhos com multirotor para o Sensoriamento Remoto, a única exigência neste caso da ANAC seria o cadastro da aeronave no sistema SISANT. Para outros tipos de aeronaves, podem ser exigidos certificados como Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) ou Autorização Especial de Voo (AEV).

O Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE) é o certificado de aeronavegabilidade que pode ser emitido de acordo com a seção E94.503 do RBAC-E nº 94 para VANT experimental com os propósitos de pesquisa e desenvolvimento, demonstração de cumprimento com requisitos, treinamento de piloto remoto e/ou pesquisa de mercado, sendo que, o CAVE só pode ser expedido para VANT com fim que seja considerado experimental pela ANAC.

Estas aeronaves devem obter as autorizações ou certificações de projeto e de aeronavegabilidade, conforme aplicável, de acordo com o estabelecido nas Subpartes D e E do RBAC-E n. 94. O CAVE é emitido para a aeronave, porém os componentes do sistema são citados nele, no qual as condições específicas impostas para a operação vão estar contempladas e terão validade de um ano ou menos, a ser julgado pela ANAC, podendo ser renovado. Se o registro da aeronave for cancelado ou o operador infringir alguma condição imposta no CAVE, este poderá acarretar no seu cancelamento. A emissão do CAVE passa pelo requerimento, a inspeção da aeronave, seu registro e posterior emissão da Certidão. De modo geral, o CAVE é mais aplicado a fabricantes e pessoas que tenham alterado o projeto original da sua aeronave (RBAC n. 21 ANAC, 2009; E94.503 do RBAC-E n. 94 ANAC, 2017).




Uma Autorização Especial de Voo (AEV) pode ser emitida para uma aeronave que temporariamente não atenda a todos os requisitos de aeronavegabilidade a ela aplicáveis, mas que ainda apresente condições de voo seguro. Nas seguintes situações:

translado de aeronave para uma base a fim de realizar reparos ou de ser armazenada, da entrega ou exportação de aeronave ao seu comprador, em ensaios em voo de produção de aeronaves recém-fabricadas, na evacuação da aeronave de áreas perigosas, bem como na condução de voos de demonstração para comprador em aeronaves novas que tenham satisfatoriamente completado ensaios em voo de produção. Este tipo de autorização pode ser empregado também em casos onde a aeronave vá operar com um peso superior ao seu máximo de decolagem aprovado, em situações em que necessite se carregar combustível adicional, equipamentos para transporte desse combustível e equipamentos especiais de navegação eventualmente necessários ao voo. Esta autorização pode ser emitida para empresas aéreas operando segundo o RBAC 121 e RBAC 135 (RBAC n. 21 ANAC, 2009; E94.503 do RBAC-E n. 94 ANAC, 2017).

Porém, para a execução deste trabalho, a única exigência é o cadastro no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT) que é quem regula o cadastro obrigatório às aeronaves não tripuladas de uso recreativo (aeromodelo) ou não recreativo (VANT), com peso máximo de decolagem superior a 250 g e limitado a 25 kg e que não voará além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés (120 metros) acima do nível do solo.

Este registro deve ser feito de maneira exclusiva para cada equipamento e deve estar vinculado a uma pessoa ou a uma empresa no Brasil, que será a responsável legal pela aeronave. São exigidos no ato do cadastro os dados pessoais, ou de pessoa jurídica se for o caso, dados da aeronave, uma combinação que será o número de cadastro da aeronave, devendo ficar este número em local visível na aeronave. Bem como incluir uma foto da aeronave. A certidão gerada (Figura 18) pelo sistema deverá ser portada obrigatoriamente em todas as operações (ANAC, 2017).

Figura 18 - Exemplo de certidão de cadastro de aeronave não tripulada para uso não recreativo.

		REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERALATIVE REPUBLIC OF BRAZIL AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	
CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO NÃO RECREATIVO UNMANNED AIRCRAFT REGISTER CERTIFICATE – NON-RECREATIONAL			
Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 84, é válida até 02/08/2019 , salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira. This Register Certificate, issued in accordance with RBAC-E nº 84, shall remain valid until 02/08/2019 , unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.		Nº do cadastro (Register Number): XX-0000000 Uso (Purpose): não recreativo (non-recreational) Ramo de atividade (Business): Aerolevanteamento - Aerofotogrametria Fabricante (Manufacturer): DII Modelo (Model): Phantom 3 Nº de série (Serial Number): P78DC00601E364 Peso máximo de decolagem (MTOW): 2,00 kg Foto (Picture): 	
Operador (Operator): XXXXXXXX XXXXXX CPF (document): XXX.XXX.XXX-XX		O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator. The holder of this register certificate (the operator) is considered apt by Brazilian Civil Aviation Authority to perform recreational and non-recreational flights in Brazil, with a non-manned aircraft identified, in conformity with the applicable regulations of Brazilian Civil Aviation Authority. It's the operator's responsibility to take the necessary actions to ensure a safe operation, as well as know and comply with the regulations of air traffic control (ATC), telecommunications, and other competent authorities. A validade desta certidão pode ser verificada pelo link: https://sistemas.anac.gov.br/DISANT/Aeronave/ConsultaAeronave Local e data de emissão (Place and date of issue): Brasília, 2 de agosto de 2017 Brasília, August 02nd, 2017	
Informações adicionais (Additional information): RPA DII Phantom 3 Profissional		Esta certidão de cadastro não é válida para aeronaves não tripuladas acima de 25 kg de peso máximo de decolagem, ou em voo além da linha de visão visual (BVLOS) ou acima de 400 pés ou 120 metros acima do nível do solo (AGL). This register certificate is not valid for unmanned aircraft of more than 25 kg maximum takeoff weight, or flying beyond visual line of sight (BVLOS) or over 400 feet or 120 meters above ground level (AGL).	

Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos do SISANT (2017).

A Tabela 7 demonstra os dados atualizados para Julho de 2017 quanto à quantidade de VANT's já cadastrados no território brasileiro, dividido por macrorregiões.

Tabela 7 - Numero de VANT's cadastrados no Brasil, por regiões.

Não Informado	Numero de VANT cadastrados por mesorregiões									
	Sul	Centro-Oeste		Sudeste		Norte	Nordeste			
464	RS	675	MS	181	ES	237	AP	20	MA	119
	SC	599	MT	199	MG	1297	AC	13	PI	63
	PR	770	GO	372	RJ	1417	AM	90	CE	258
	Total	2044	DF	457	SP	4576	RO	57	RN	145
			Total	1209	Total	7527	RR	47	PB	144
							PA	143	PE	292
							TO	38	SE	88
							Total	408	BA	433
									AL	62
									Total	1604

Fonte: ANAC (2017).

Dos 13.256 cadastrados até Julho, 40% (5.375) das aeronaves são para fins não recreativos, ou seja, uso profissional.

Estes valores demonstram como o advento da nova regulação está fomentando o mercado de VANT e em que regiões esse mercado está mais forte. A Tabela 7 ainda revela que 56,78% dos VANT's cadastrados estão localizados na região Sudeste do País. Deste, 60% são do estado de São Paulo. A região Norte tem a menor proporção de aeronaves cadastradas, com pouco mais de 3%.

Na região Sul, que tem como principal característica o Agronegócio, assim como na região Centro-Oeste do País, fronteira agrícola nacional, o cadastramento de aeronaves ainda está incipiente, com 15,41% e 9,12%, respectivamente.

Ainda na lógica da expansão da fronteira agrícola e a utilização de VANT's para a agricultura de precisão, percebe-se que na região Nordeste o destaque é para o estado da Bahia, porém Maranhão e Alagoas apresentam pouca representatividade.

2.4 Levantamento com sistema GNSS

Global Navigation Satellite System (GNSS), como o nome propõe, é um sistema que engloba o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os demais sistemas do mesmo gênero (GLONAS, Russo; GALILEU, Europeu; e BeiDou, Chinês) e permite ao usuário localizar qualquer ponto em qualquer parte do mundo, permitindo a determinação de coordenadas a partir de vértices do Sistema Geodésico Brasileiro ao vértice de referência do georreferenciamento. Utilizam-se diversas técnicas para obtenção de dados, podendo elas ser classificadas conforme o movimento da antena em: posicionamento estático ou cinemático, bem como serem classificadas quanto ao uso ou não de uma estação base em: relativo ou por ponto absoluto, respectivamente.

Dias et al. (2014) citou que o posicionamento relativo utiliza dois ou mais receptores, sendo um deles um ponto de referência ou base, que permanece durante todo o levantamento rastreando satélites e em comunicação com o segundo receptor, sendo este dividido em: Posicionamento Relativo Estático, Posicionamento Relativo Estático-Rápido, Posicionamento Relativo Semicinemático, Posicionamento Relativo Cinemático e o Posicionamento Relativo em Tempo Real-RTK. Já o posicionamento do tipo absoluto, necessita apenas de um aparelho receptor e está dividido em: Posicionamento por Ponto e Posicionamento por Ponto Preciso. O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e Posicionamento relativo em Tempo Real-RTK, técnicas estas empregadas neste trabalho.

- Posicionamento por Ponto Preciso - PPP

Funciona a partir do cálculo das da fase de onda portadora ou pelas pseudodistâncias observadas do receptor (base), de frequência simples ou dupla. Este método gera alto nível de acurácia e é normalmente utilizado para corrigir as coordenadas e a altitude do ponto base que poderá ser utilizado posteriormente como apoio ao levantamento cinemático (DIAS et al. 2014).

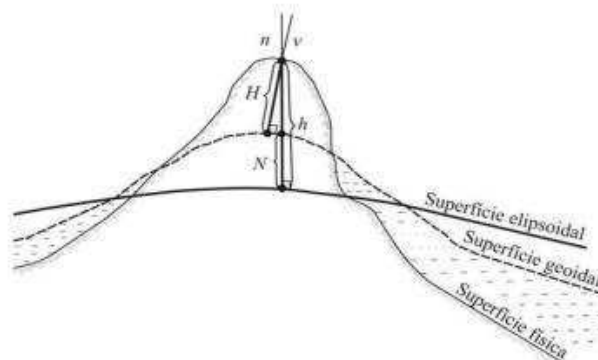
- Posicionamento relativo em tempo real - RTK

A sigla RTK, do inglês *Real Time Kinematic*, representa hoje uma das tecnologias de posicionamento mais eficazes e eficientes, tendo em vista a velocidade de obtenção de dados e sua precisão alcançada, em que os dados que são coletados na base (estação de referência fixa) são enviados via *link* ou rádio para estação móvel (rover). Daí a distância entre os mesmos é dada com precisão milimétrica e a acurácia na ordem de centímetros. Sendo esta técnica limitada à capacidade de transmissão do rádio e ao alcance do sinal que o mesmo propicia.

As cotas altimétricas obtidas durante o processo de levantamento com GNSS são as ditas geométricas (h) e têm referência ao elipsoide. Estes valores devem ser corrigidos a base para que altitude ortométrica, em relação ao geóide, corrigindo assim estes valores ao nível do mar, lhes conferindo significado físico (Figura 19).

Esta correção é realizada enviando os dados coletados na base ao IBGE. Sabendo que a Superfície elipsoidal seria a superfície do modelo geométrico escolhido para trabalhar (datum), onde são realizados os cálculos geodésicos. E que a Superfície geoidal, segundo Arana (2009), é “uma superfície equipotencial do campo da gravidade, em uma primeira aproximação é aquela que mais se aproxima ao nível médio do mar não perturbado.” (ARANA, 2009; LIMA et al. 2010).

Figura 19 - Correção da altitude ortométrica.

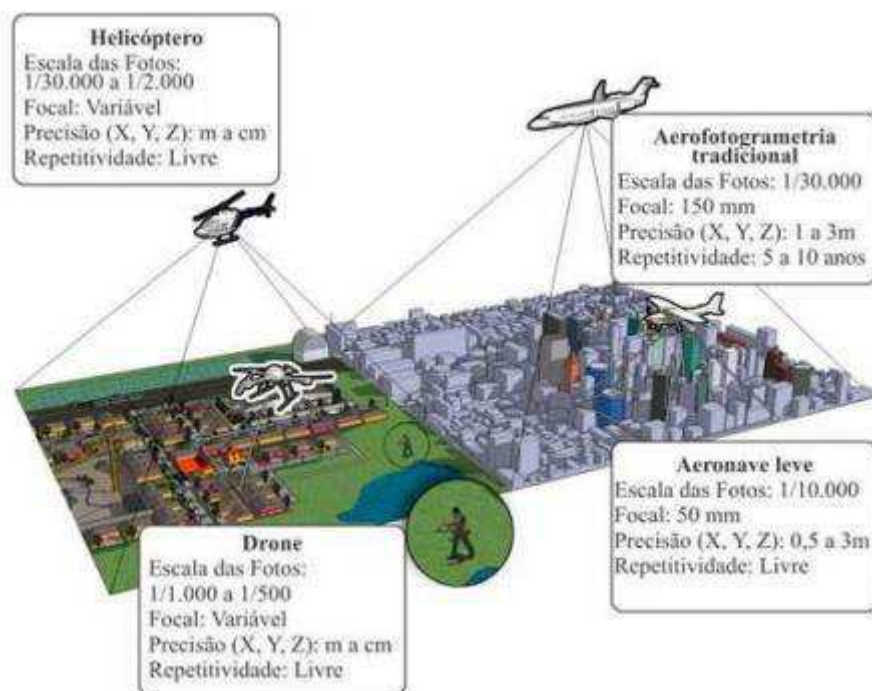


Fonte: Lima et al (2010).

2.5 Aerofotogrametria com VANT

Os VANT vêm sendo empregados em missões fotogramétricas de maneira cada vez mais ampla. Com o desenvolvimento de novos sensores e tecnologias inerciais específicas, bem como a legislação buscando se adequar à realidade das operações com este tipo de aeronave, os produtos gerados tão logo poderão ser ferramentas para estudos topográficos diversos. Sendo assim, para buscar excelência nos resultados deve-se nos ater a algumas questões indispensáveis para tanto. Algumas das técnicas que se utiliza atualmente não diferem dos trabalhos fotogramétricos convencionais e alguns aspectos mudaram com a devida atualização da tecnologia computacional. É interessante perceber que os diferentes tipos de plataformas têm suas vantagens e desvantagens, sendo os VANT de baixo custo ainda mais recomendados para áreas menores, não pelas qualidades técnicas, mas pela capacidade de abrangência ou cobertura por voo (Figura 20) (LIMA et al. 2010).

Figura 20 - Comparação da capacidade de abrangência.



Fonte: Almeida (2014).

Claro que com o desenvolvimento de novos tipos de aeronaves não tripuladas, com maior autonomia de voo, por exemplo, podem fazer com que uma operação não tripulada seja similar a uma tripulada.

2.5.1 Pontos de controle

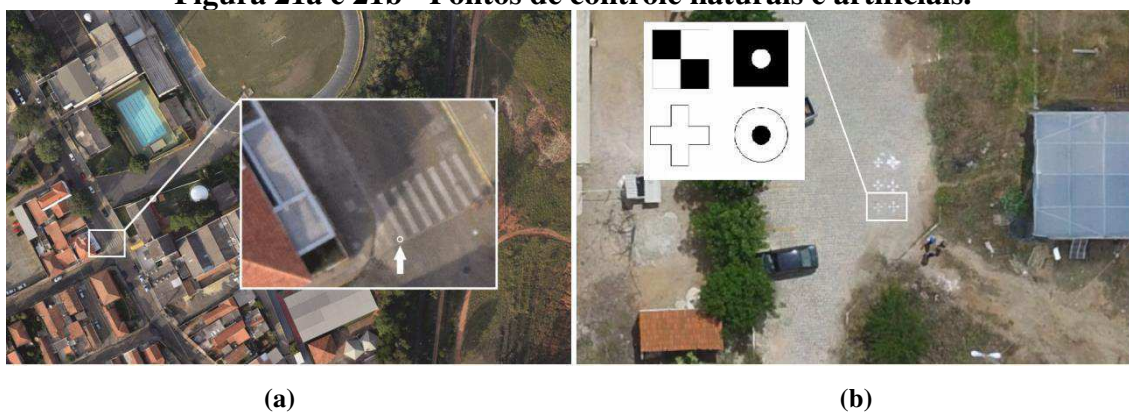
Para que todas as transformações e correções fotogramétricas possam ser executadas de maneira competente, é necessário um conjunto de pontos de controle (ou pontos de campo, *Ground Control Points* – GCP), e que como já foi dito, a priori quanto maior o número de pontos de controle melhor será o resultado. No entanto se tem de verificar a relação viabilidade econômica versus qualidade cartográfica.

Estes pontos são, segundo Galvão (2014), “marcos ou locais foto-identificáveis cujas coordenadas geodésicas são conhecidas, portanto, esses pontos são utilizados para o georreferenciamento das respectivas imagens aéreas obtidas no local”. Recomenda-se a utilização de levantamento seja realizado por meio da geodésica espacial, ou seja, via GNSS (GALVÃO, 2014).

Segundo a especificação técnica do DSG (2014), ET-CQDG para obter a amostra de GCP, deve-se recortar a área em células, sendo válida toda célula que possa ser identificado um ponto de referencia, natural ou artificial (Figuras 21a e 21b). Em

seguida, captar um ponto em cada célula válida, compondo a amostra. Estes pontos podem ser alocados em uma matriz de valores aleatórios que tem como limite as dimensões da região que se interessa mapear. Para que esta amostra seja também válida para levantamentos altimétricos necessita-se atentar também para que os pontos contemplem as áreas que representam o fenômeno em análise, alocando pontos nas áreas de maiores e menores cotas, por exemplo. Alguns trabalhos propõem outras metodologias (SANTOS, 2016; GRIPP JR, 2009; ZANETTI, 2017) para obtenção dos GCPs, no entanto, o presente trabalho definiu por obter os pontos levando em consideração os aspectos técnicos e a especificação técnica do exercício (ET-CQDG, 2014).

Figura 21a e 21b - Pontos de controle naturais e artificiais.



Fonte: Adaptado Portal Geodrones (2017).

2.5.2 Plano de voo

O plano de voo é uma das partes mais importantes em qualquer missão aerofotogramétrica, sendo neste ponto onde se define a área de cobertura do voo, altura a qual será realizado, velocidade do voo e nível de recobrimento das imagens. Tudo isto vai definir a qualidade e escala do mapeamento, daí a tamanha importância. Aeronaves desenvolvidas especificamente para aerolevantamentos costumam utilizar *softwares* como *Mission Planer*, livres e que atendem bem a este propósito. De fácil configuração e com as características da aeronave pré-selecionadas este *software* responde com o tempo de voo, demonstra o trajeto que o VANT ira realizar e outras informações pertinentes.

No caso dos VANT de baixo custo, por serem produzidos buscando utilização comercial, buscou-se a facilidade de acesso aos comandos da aeronave e estas foram

adicionadas a aplicativos que podem ser executados nas plataformas *Ios* ou *Android*, tornando o planejamento de voo intuitivo e simples. Alguns websites também apoiam neste planejamento de voo, a exemplo do *Drone Deploy* (www.dronedeploy.com/).

2.6 Controle de qualidade cartográfica brasileiro

Quando se pensa em controlar ou determinar a qualidade de um produto, sobretudo cartográfico, procuramos saber para que finalidades as informações dele extraídas possam ser aplicadas. A cartografia tem a capacidade de reproduzir modelos da realidade e por meio disto apoiar à tomada de decisão, sendo a satisfação do usuário ligada á capacidade do operador em entregar a melhor solução possível para o seu problema. Quanto maior, o acerto na tomada de decisão a partir dos dados espaciais, maior o nível de qualidade e a satisfação do usuário (SANTOS, 2010; SANTOS et al. 2016).

O conceito de qualidade nada mais é do que as características, propriedades ou atributos de algo, ou alguém, que lhes distingue e confere superioridade, excelência. A norma ISO 9000:2000 descreve que o termo qualidade é “nos processos de produção, significa simplesmente adequar o produto e/ou processo às especificações estabelecidas” e somado a isto, Ariza (2002) ainda acrescenta a componente satisfação do usuário, ele diz “uma definição mais completa sobre qualidade se faz do conjunto de características de um produto e/ou processo em satisfazer as necessidades, explícitas e implícitas, do usuário.”

Além da questão da satisfação de um produto de boa qualidade, há a necessidade de se atentar também ao fator custo, já que quanto maior a necessidade de qualidade do produto, provavelmente, maior será o seu custo. Contudo, um bom controle de qualidade gera um risco ao produtor, dada a possibilidade do seu trabalho ser rejeitado ou desqualificado pela qualidade ruim, porém, o inverso é verdadeiro nessa relação produto-usuário, já que o usuário corre o risco também, com a probabilidade de aceitar um produto que não esteja cartograficamente correto. O que garantiria idoneidade neste processo seria se fosse possível a qualidade ser atestada tanto por produto quanto pelo usuário (LIMA et al. 2010; SANTOS, 2010).

Para tanto, existem elementos que controlam a qualidade dos produtos cartográficos, normatizados pela Especificação Técnica para o Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), norma esta que faz

parte do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e regulamentada pelo Decreto Lei n. 89.817, de 20 de junho de 1984, estão agrupados em cinco categorias: Completude, Consistência lógica, Acurácia posicional, Acurácia temporal e Acurácia temática. Estes componentes podem ser também identificados em normas internacionais, como se pode acompanhar no Quadro 5 (BRASIL, 1984).

Quadro 5 - Parâmetros de qualidade comuns a diferentes órgãos internacionais.

Parâmetro de qualidade	Federal Geographic Data Committee (EUA)	Comitê Européen de Normalisation (UE)	International Organization for Standardization
Completude	✓	✓	✓
Consistência lógica	✓	✓	✓
Acurácia posicional	✓	✓	✓
Acurácia temporal		✓	✓
Acurácia temática	✓	✓	✓

Fonte: Adaptado Sato (2003).

De maneira simplificada, estes componentes vão atestar se os dados do produto estão completos em suas feições (Completude), se estão em posição geométrica das coordenadas correta para a o tipo de aplicação (Acurácia posicional), se os atributos estão corretamente representados (Acurácia temática) e se respeitam todas as regras lógicas (Consistência lógica).

Nesse trabalho, foi abordado apenas o Parâmetro de Acurácia Posicional, tendo em vista que o objetivo principal aqui é realizar um mapeamento geometricamente aceitável para utilização deste como ferramenta de pesquisa.

2.6.1 Acurácia posicional

Esta medida pode ser obtida por meio de pontos de apoio no solo, tendo estes a posição geométrica registrada com sistema pelo menos três vezes mais acurado que os do produto a ser testado. Estes pontos têm de estar materializados nas imagens, para quando se extraiu suas coordenadas no produto final e comparar os desvios padrões em relação às coordenadas de maior acurácia com os valores apresentados no Decreto

89.817/84 no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), determinando assim sua escala e classe de aceitação considerando uma probabilidade de 90% dos pontos presentes na imagem serem geometricamente correlacionados à projeção escolhida. Lembrando que o decreto citado não define quantidade mínima de pontos de verificação ou de checagem.

Com a evolução tecnologia, o Padrão de Exatidão teve de ser revisado para acompanhar as novas tecnologias, sendo instituído o Padrão de Exatidão Cartográfico para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Este também é baseado na mesma regra que 90% dos pontos coletados no produto em relação aos pontos homólogos coletados na fonte de maior precisão. Sendo enquadrado por classe e escala ao se obter um valor entre as discrepâncias das coordenadas iguais ou inferiores ao Erro máximo (EM) e o Erro padrão (EP) previstos (ET-CQDG, 2016).

Como descreve o Decreto 89.817/84, Capítulo II, Seção I, § 1º, “Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos”. Esta probabilidade corresponde ao valor do EP multiplicado por 1,6449 ($PEC = 1,6449 * EP$). Sendo equivalentes para o decreto as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático (BRASIL, 1984).

Além do valor do EP e do PEC são classificados também quanto às classes, A, B, C ou D, sendo os produtos enquadrados na classe A mais acurados que os da classe B, os da classe B mais acurados do que os da classe C e os da classe C mais que os da classe D (Tabela 8). Estes valores são obtidos a depender da escala que se quer trabalhar. Para as planimétricas, deve-se multiplicar pela escala a se testar em questão. Já para a altimetria, estes valores são em relação às equidistâncias das curvas de nível.

Tabela 8 - Classes PEC.

Classe - PEC	Classe PEC - PCD	Planimétrica (mm)		Altimétrica (mm)	
		PEC	EP	PEC	EP
-	A	0,28	0,17	0,27	0,17
A	B	0,5	0,3	1/2	1/3
B	C	0,8	0,5	3/5	2/5
C	D	1	0,6	3/4	1/2

Fonte: Brasil (1984).

É importante frisar que a discussão sobre a validade e/ou a capacidade do PEC de medir a qualidade dos produtos digitais não tenha mais sentido no uso de escalas,

quando se trabalhava com mapas impressos. Rocha (2002) conclui em sua pesquisa que o PEC pode não ser adequado para este tipo de análise, já que ainda “o padrão de exatidão posicional definido para avaliação da qualidade das cartas, deve ser identificado pelos usuários, definindo o erro máximo aceitável para utilização do documento cartográfico”.

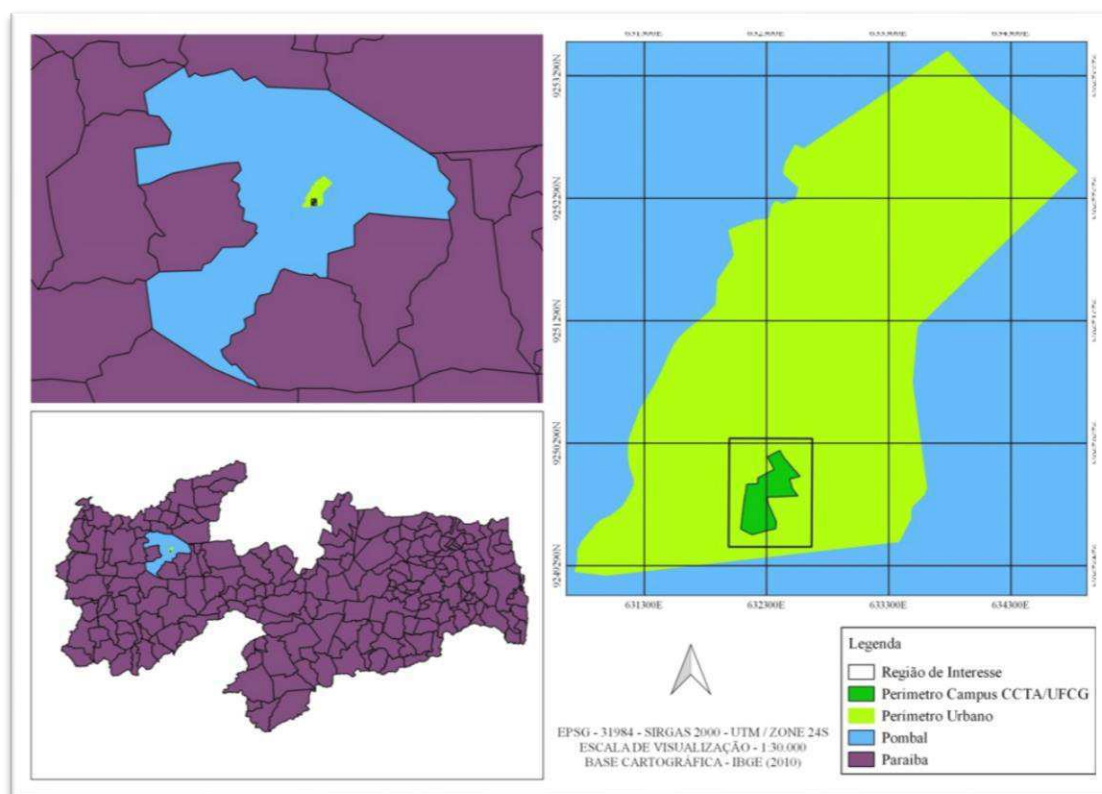
Portanto, ao se obter do usuário as necessidades as quais ele procura, podemos determinar um padrão de referência para cada operação. É de se esperar que uma legislação, ainda que tenha sido atualizada, foi promulgada há muitos anos que não atenda mais a realidade vivenciada (ROCHA, 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 Área do estudo

O município de Pombal está localizado na porção semiárida da região Nordeste do Brasil, mais especificamente na mesorregião do Sertão e microrregião Depressão do Alto-Piranhas (DA-P), estado da Paraíba. E tem como coordenadas geográficas da sede municipal 06° 46' S de latitude e 37° 49' W de longitude. É o segundo maior município em extensão territorial e o quarto mais antigo do estado, e conta com uma área de aproximadamente 889 km² e foi elevada ao patamar de cidade em 21 de julho de 1862, hoje com uma população estimada em 32.739 habitantes (Figura 22) (IBGE, 2016).

Figura 22 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.

A região é classificada, pelo sistema de Köppen (BSw'h'), como quente e semiárido, apresenta solos predominantemente cristalinos e arenosos, vegetação típica do bioma Caatinga e precipitação pluviométrica anual de 749 mm, que de maneira geral está alocada entre os meses de Janeiro a Maio, com temperaturas médias variando de 18°C – para as médias mínimas – e 39°C – para as máximas. A evapotranspiração chega

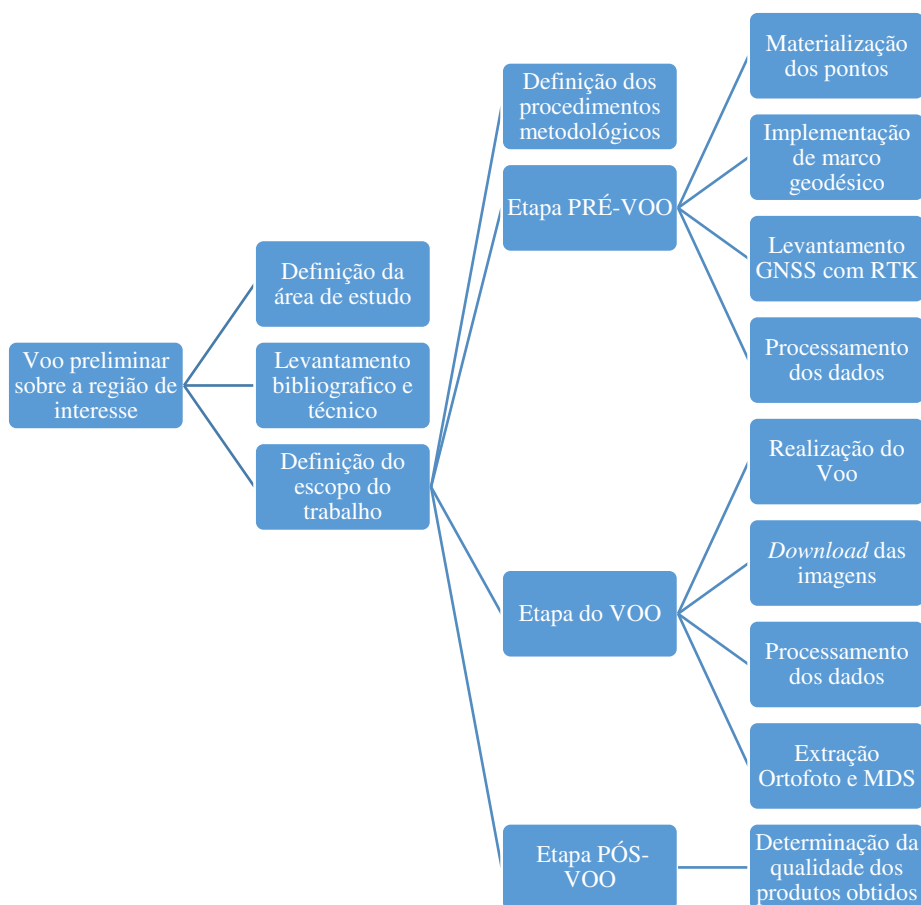
à média de 2.800 mm, o que representa um déficit hídrico alarmante (ALMEIDA NETO, 2005).

A área do *campus* do CCTA fica localizada ao sudoeste da cidade e tem uma área útil de aproximadamente 15 hectares. Apresenta boa parte do seu perímetro ainda com ambiente “natural”, já que cerca da metade da sua área ainda não foi ocupada por construções da universidade, tendo apenas usos experimentais pontuais e as áreas de empréstimo e de depósito de resíduos sólidos.

Um dos motivos pelos quais esta área foi escolhida para o estudo, deu-se pela provável necessidade de imagens em alta resolução espacial e temporal, suprimindo assim uma carência por estes produtos para que novas pesquisas possam ser desenvolvidas quanto à recuperação e ocupação sustentável das áreas do *campus* de Pombal.

A estrutura metodológica está dividida em quatro grandes fases apresentada na Figura 23 para uma melhor compreensão.

Figura 23 - Estrutura metodológica.



Fonte: Autoria própria.

As metodologias de utilização e aplicação dos VANT's para mapeamento precisam ser tanto sistematizadas quanto democratizadas, exigindo procedimentos pré e pós-voo que minimizem os erros experimentais e validem os procedimentos metodológicos que garantam a segurança da aplicação e o controle das imperfeições dos produtos finais aumentando assim a sua qualidade.

O protocolo metodológico (Figura 23) está estruturado em etapas que podem ser assim distribuídas: a) Procedimento Pré-Voo, através do Planejamento de Voo e da marcação e coleta dos Pontos de Controle; b) Procedimento do Voo, com a Coleta de imagens através da utilização do VANT e o Processamento de Dados para a geração do ortomosaicos e modelo digital do terreno através dos *softwares PIX4D Mapper* e QGis (Figura 24) e; c) Procedimento Pós-Voo, através da Avaliação da Qualidade Posicional e Altimétrica obtida para os Produtos Cartográficos Digitais gerados com base nos Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD).

Figura 24 - Estruturação das Etapas do Protocolo Metodológico.



Fonte: Elaboração própria.

Para a realização de cada uma das fases do trabalho foi necessário adotar alguns procedimentos e técnicas de pesquisa, bem como utilizar alguns equipamentos, que foram:

a) **Pesquisa Bibliográfica Científica** - foi realizada uma pesquisa bibliográfica junto a periódicos científicos nacionais e internacionais sobre os conceitos de Aerofotogrametria, Sensoriamento Remoto e VANT's, abordando sua definição, seu histórico no Sensoriamento Remoto, a legislação, classificação e regulamentação dos

VANT's no Brasil. Todos esses conceitos embasaram a discussão teórica do trabalho a fim de se obter uma maior compreensão das temáticas envolvidas;

b) **Pesquisa Bibliográfica Técnica** – esse procedimento foi necessário para proceder nas etapas de campo tão necessárias no entendimento dos equipamentos utilizados no processo de levantamento, aquisição, processamento e geração do produto final. Foram feitas pesquisas na *internet* de trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses e de normas técnicas que versavam sobre a temática do aerolevante de imagens com VANT;

c) **Pesquisa de Campo** – foi realizada nas fases do Pré-Voo, por meio do Plano de Voo e do Planejamento e escolha dos Pontos de Controle (GCP's).

d) **Processamento dos dados** – procedimento realizado para o processamento dos dados GNSS, no qual foi utilizado o *Software Hcrinex*, bem como para o processo de geração do ortomosaico e modelo digital de terreno (MDT) utilizando os *softwares* livre de código aberto Qgis 2.18.2, *Software Pix4d Mapper* versão *free trial* (versão de teste) e do Google Earth e, por fim, a determinação da qualidade do produto gerado de acordo com as especificações das normas técnicas vigentes no Brasil.

3.2 Procedimentos Pré-voos.

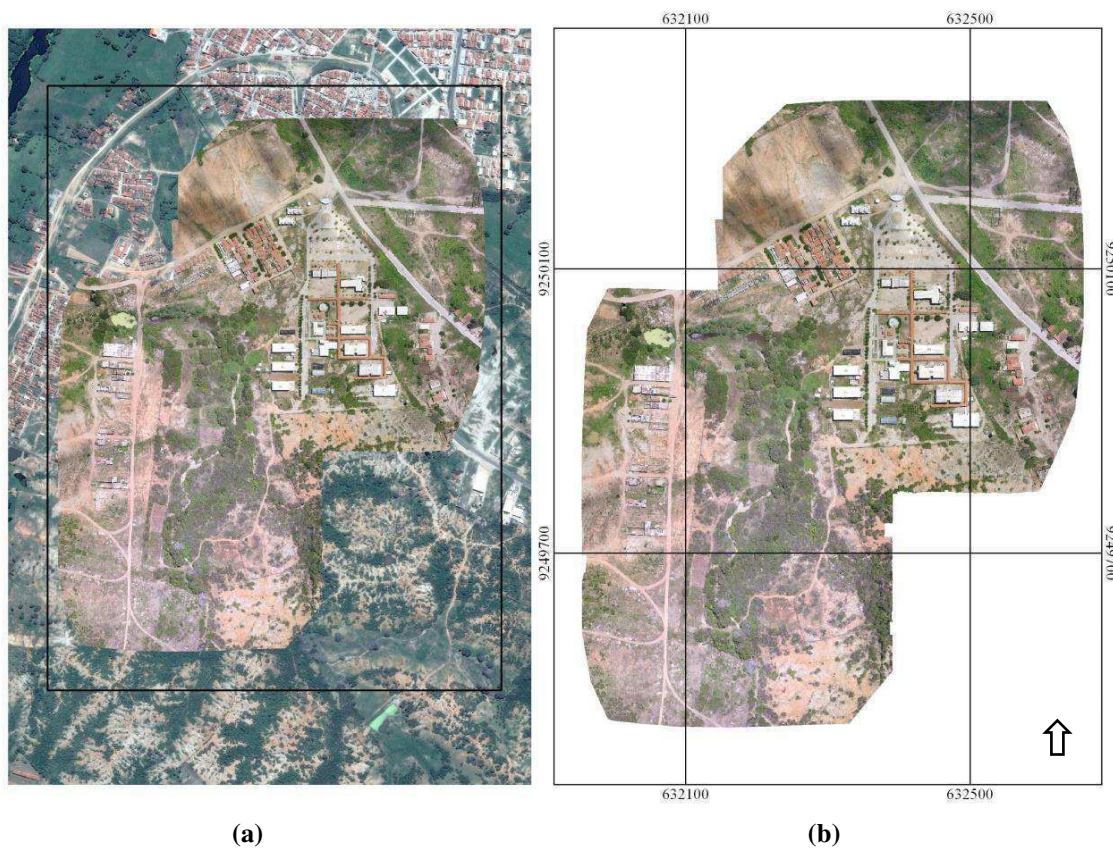
O Pré-Voo envolve todo o processo de planejamento, escolha dos Pontos de Controle (PC's ou GCP's), e a adoção de metodologias testadas e validadas, como por exemplo, a da Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geográficos (ET-CQDG) para analisar a distribuição dos pontos de controle utilizados e o Levantamento geodésico dos pontos escolhidos.

No **Processo de Planejamento** foi envolvida uma equipe multidisciplinar formada por professores e técnicos geógrafos, engenheiros: ambiental e agrônomo, membros do Laboratório de Geoprocessamento (LabGEO) e do CCTA. Na discussão ficou claro que a região do *campus* necessitava de uma maior atenção, definindo-o como o limite para a realização do trabalho, no qual o produto gerado (protocolo metodológico, ortoimagem e modelo digital de superfície) poderá servir como ferramentas para outras áreas de pesquisa dentro do próprio CCTA.

Decidido o recorte espacial foi realizado um voo preliminar sobre o perímetro do *campus* a fim de se obter material de apoio ao planejamento. Este voo foi tomado na

altitude máxima permitida pela legislação (120 m) para que fosse observada também a capacidade da aeronave utilizada. As Figuras 25a e 25b trazem a ortoimagem produto deste voo (Figura 25b), e a delimitação da região de interesse em questão (Figura 25a), com apoio do Google Maps, onde nela foi delimitada a área de estudo a ser o recorte de interesse nos produtos finais.

Figuras 25a e 25b - Ortoimagem com a delimitação da região de interesse do trabalho.



Fonte: Google Maps e Autoria própria.

Este mapeamento recobriu cerca de 45 hectares sobre o perímetro e o entorno do CCTA. A partir disto ficou decidido entre a equipe de planejamento do LabGEO mapear uma área de 75 hectares, valor este que compreende, com sobra, a região final de interesse do trabalho. Tal procedimento foi realizado visando evitar que o limite do mapeamento ficasse em cima do limite da área de interesse, isto acarretaria em maiores erros de distorção nas bordas da imagem, que costumam apresentar menor sobreposição entre as imagens.

Na **escolha dos Pontos de Controle (PC's)** seguiu-se a ideia de gerar o maior número de dados possíveis para futuros trabalhos. Os pontos de controle foram

pensados de forma que sua localização pudesse apoiar tanto os aspectos cartográficos para correção posicional quanto pontuar feições importantes dentro da área.

Neste sentido, foram realizadas reuniões com os pesquisadores das áreas de Solos e Recuperação de Áreas Degradadas, com o intuito de procurar pontos de convergência quanto a extração de dados primários, e conseqüentemente dados secundários pertinentes a estas linhas de pesquisa. Realizou-se uma visita de campo para diagnóstico prévio das possíveis áreas que atendessem a este propósito.

Após o trabalho de campo e discussão com a equipe e os pesquisadores do CCTA, adotou-se a metodologia proposta pela ET-CQDG (2014) para obtenção da amostra de pontos de controle. Foi definida uma grade com 12 células e buscou-se dispor um ponto de controle em cada célula atendendo aos aspectos considerados importantes para um melhor resultado no pós-processamento das imagens (ZANETTI, 2017), quais foram:

- Alocar pontos nas extremidades da área, para garantir a correção nas regiões com menor sobreposição de imagens;
- Procurar alocar pontos nas cotas mais altas, médias e mais baixas.
- Em missões com mais de um voo, como foi o caso desse trabalho, garantir que pontos estejam alocados nas faixas de sobreposição entre um voo e outro;
- Evitar locais com obstruções dos sinais dos satélites; e
- Pontos com acesso facilitado, por questão de logística.

Vale salientar que estes aspectos foram selecionados também para testar até que ponto os aspectos técnicos podem estar corretos e produzir bons resultados, sem que precise lançar mão de processos de Estatística Espacial, o que demandaria maior entendimento por parte de alguém que não trabalha com Cartografia, mas que ainda assim, em algum momento deseje realizar um mapeamento aéreo.

Foram assim então dispostos 12 pontos de controle dentro da área, conforme pode ser observado na Figura 26.

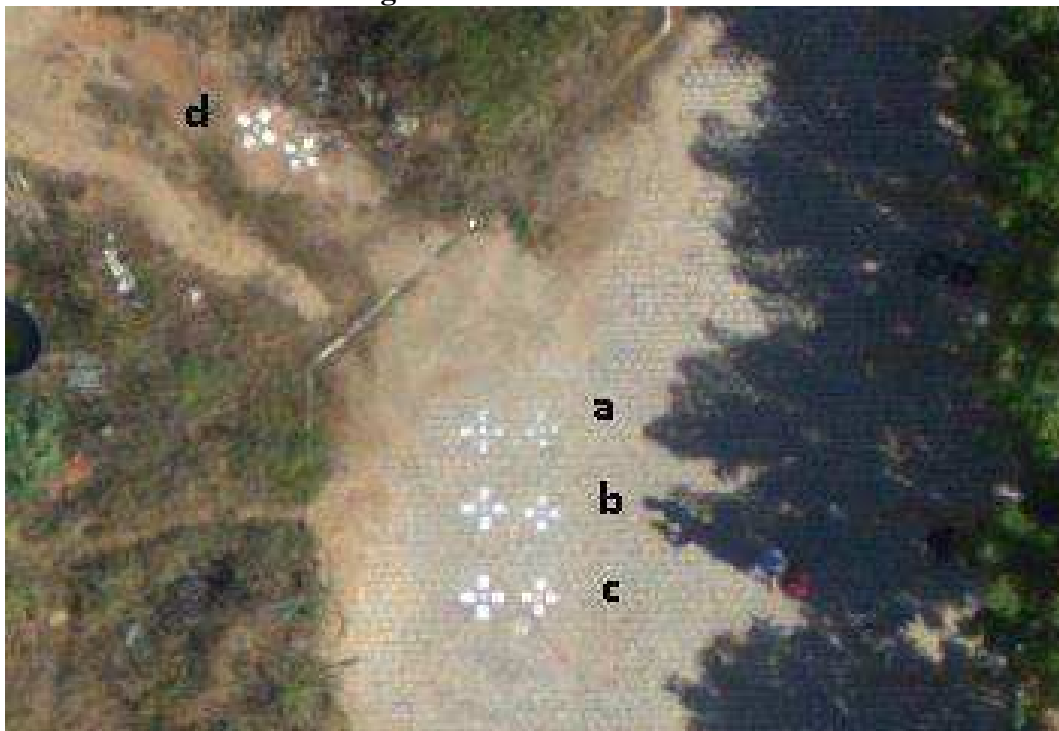
Figura 26 - Alocação dos pontos de checagem.

Fonte: Autoria própria.

Outro procedimento necessário foi a **Marcação e Coleta dos Pontos de Controle**. Para esta etapa foi escolhida a melhor maneira para se obter os GCP's, visando a facilidade, o custo e o benefício de cada alvo (ponto escolhido). Foi realizado um voo extra para testar o tamanho dos alvos que seriam utilizados visando materializar os pontos de controle no terreno mapeado. Reforçando que vários são os modelos e tamanhos de alvos, podendo ser em formato de T, L ou em X. Foi testado também qual

seria a melhor maneira de demarcar estes pontos, no qual foram utilizados diferentes métodos, tais como: a tinta *spray* comum (alvo “a”), a tinta *spray* luminosa (alvo “b”) e Cal (alvo “c”) (Figura 27).

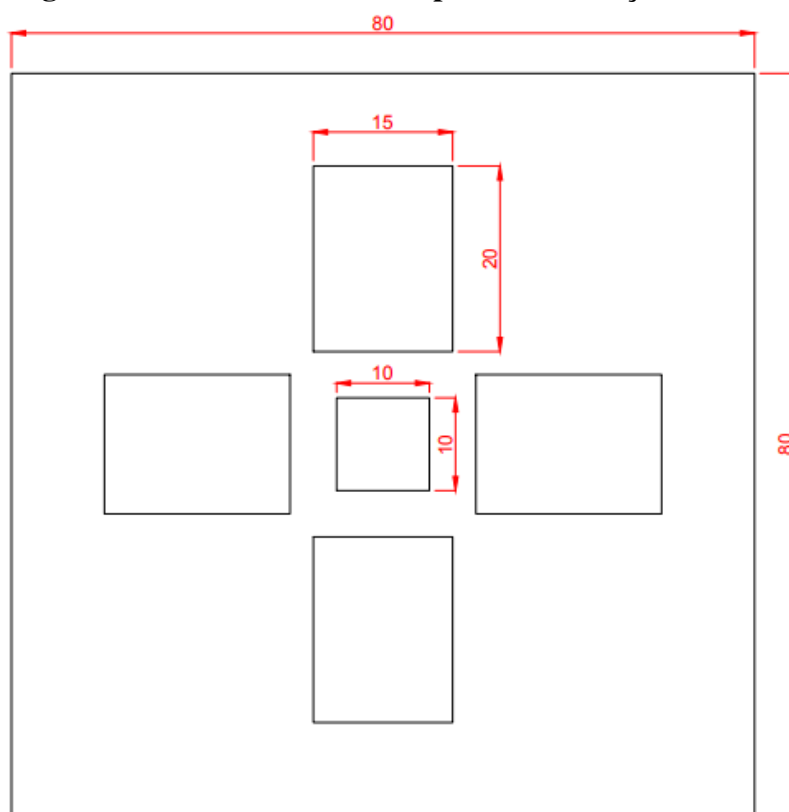
Figura 27 - Teste dos alvos.



Fonte: Autoria própria.

Outro aspecto observado foi o tamanho do alvo que melhor responderia ao imageamento. O alvo “d” foi alocado sobre a terra para testar diferentes tipos de solo, tendo em vista também que a maioria dos pontos selecionados está sobre a terra.

Após todos os testes ficou decidido empregar um alvo do tipo cruz, com 80 cm x 80 cm (Figura 28) confeccionado em E.V.A e demarcado no solo com a Cal. Esse tipo de alvo foi escolhido devido ser o mais bem identificado nas imagens, apresentando melhor relação custo-benefício, tendo em vista que foi utilizado pouco mais de 2 kg para o levantamento de todos os pontos (controle e checagem), custando aproximadamente R\$ 5,00 (valores para o mês de agosto de 2017 na cidade de Pombal-PB). Foi utilizado o E.V.A por ser um material maleável e leve, facilitando o processo logístico de demarcação dos pontos.

Figura 28 - Modelo de estêncil para demarcação de GCP.

Fonte: Autoria própria.

Para o **Levantamento Geodésico dos Pontos de Controle**, foi utilizado um par de Receptores GNSS X900 da CHC, coletor de dados LT30 CHC, base nivelante com tripé, bastão com nível de bolha, rádio transmissor de baixa frequência, antena de comunicação e um marco de concreto. Utilizou-se como base de correção o marco implementado dentro do perímetro do *campus*. A Figura 29 demonstra onde se decidiu alocar o marco de concreto.

Figura 20. Localização do marco implantado



Fonte: Autoria própria

3.3 Procedimentos do Voo

O procedimento do Voo envolve duas etapas principais. A primeira para a coleta de imagens o qual se deu à utilização do VANT. Já segunda etapa, a de escritório, envolve o processamento dos dados coletados pelo VANT para a geração do Ortomosaico e Modelo Digital do Terreno (MDT) com os *softwares PIX4D Mapper* e QGis.

Na **Coleta das Imagens** foi utilizado um VANT multirrotor da empresa chinesa *DJI Innovations*, na versão *Phantom 3 Professional* (Figura 30). Esta aeronave foi produzida visando tomadas aéreas de vídeo para produção artística. Ainda assim, ela apresenta todas as ferramentas presentes também em um multirrotor específico para aerolevantamentos. É papel neste trabalho comprovar que este tipo de aeronave é capaz de realizar mapeamento de forma eficaz.

Figura 30 – DJI Phantom 3 Professional



Fonte: A autoria própria.

O *Phantom 3 Professional* dispõe de um sistema GPS/GLONASS, além possuir um mecanismo com recurso a motores que permite manter um objeto, neste caso uma câmera, perfeitamente nivelada a um referencial com correção em três eixos, denominado de *Gimbal*.

Quanto ao equipamento de coleta de imagens, a aeronave vem com uma câmera de lentes *Field of View* (FOV), campo de visão de 94° 20 mm (equivalente ao formato de 35 mm) que faz par com uma lente de abertura $f/3.61$ com sensor fixo da Sony EXMOR de 1/2,3 polegadas com resolução máxima de 12,4 MP (4000 x 3000px). Além disso, o VANT utilizado é equipado com uma bateria de 4.480 mAh, o que lhe confere aproximadamente uma autonomia de 20 minutos. A Tabela 9 traz as informações pertinentes ao sensor, no qual foram utilizadas para definição da representação do pixel da imagem no terreno em unidades de medida, geralmente dadas em centímetros, denominada de *Ground Sample Distance* (GSD).

Tabela 9 - Informações sensor Sony EXMOR 1/2.3.

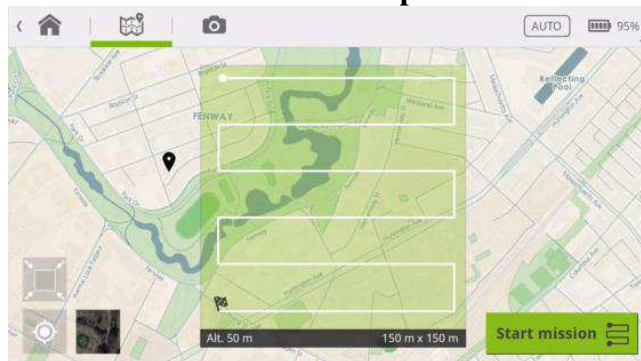
6.317 mm	Largura do Sensor
4.738 mm	Comprimento do Sensor
3,61 mm	Distância Focal
3000 px	Largura da Imagem
4000 px	Comprimento da Imagem

Fonte: Adaptado de Cunha *et al* (2016).

A primeira atividade da coleta das imagens é a definição do Plano de Voo. O plano foi construído no aplicativo *Pix4d Mapper*, em plataforma *Android*. Este

aplicativo é bem intuitivo e simples de se manipular, atendendo bem a todas as configurações pertinentes à realização da missão, além de ser gratuito. A Figura 31 demonstra a área de trabalho do aplicativo.

Figura 31 - Área de trabalho do aplicativo *Pix4d Mapper*.

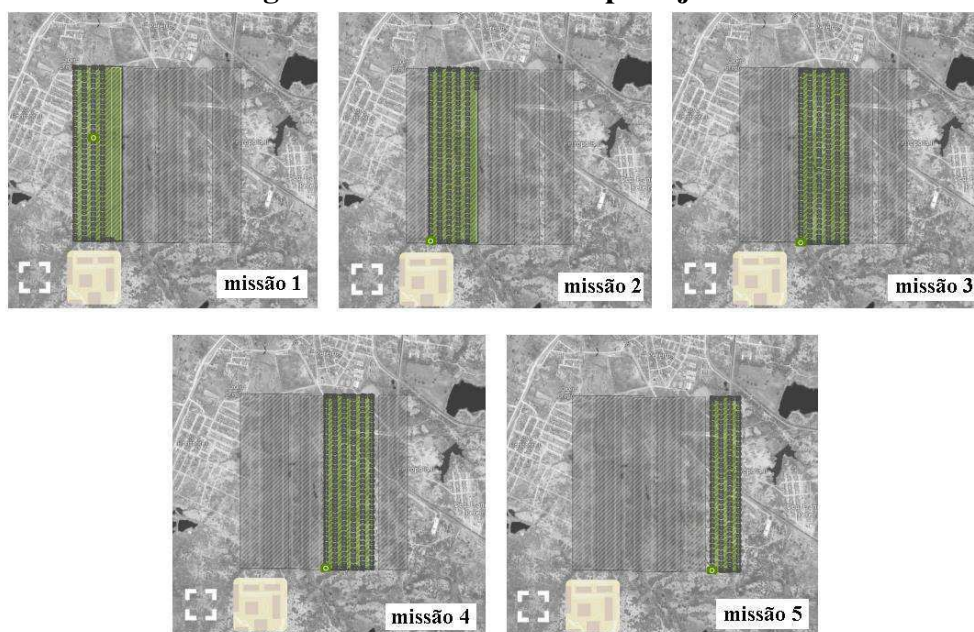


Fonte: Autoria própria.

O voo foi planejado para recobrir uma área de 75 hectares com uma margem de segurança para garantir total recobrimento nas bordas do recorte de estudo, já que a área do CCTA é de 15 hectares. Para tanto, criou-se cinco missões de voo, nas quais foram configuradas: a altura, a velocidade máxima da aeronave, o recobrimento, a extensão que as imagens seriam registradas e o ângulo das faixas de voo.

Vale salientar que as cinco missões respeitaram uma sobreposição entre um voo e outro para garantir o recobrimento de toda área com a sobreposição equivalente entre os voos (Figura 32).

Figura 32 - Missões de voo planejadas.



Fonte: Autoria própria.

Percebe-se que as linhas de voo estão colocadas no sentido do maior comprimento da área, sendo que isto foi feito para gerar um menor número de manobras do VANT, pois as manobras tendem a consumir mais bateria. Além disso, o voo foi planejado para 110 m com uma velocidade máxima de até 11 km/h e um recobrimento de 70%, tanto longitudinal quanto lateral, sempre buscando o melhor resultado possível no processo de aerotriangulação.

O tempo médio da operação foi calculado pelo aplicativo para aproximadamente 40 minutos, tempo suficientemente atendido com 3 baterias. Este valor é calculado com base nas informações pré-selecionadas de qual aeronave será utilizada. A altura de voo a 110 m foi selecionada para garantir um GSD de pelo menos 5 cm, com base nas informações do sensor apresentados na Tabela 9.

A segunda etapa do voo, a de escritório, envolveu o **processamento dos dados coletados** pelo VANT para a geração do Ortomosaico e Modelo Digital do Terreno (MDT) com os *softwares PIX4D Mapper* e QGIS.

As imagens coletadas pelo VANT foram processadas utilizando o *software Pix4d Desktop Pro* que já vem sendo utilizado amplamente em trabalhos desta natureza. O processamento deu-se em cinco passos, quais foram: 1) a seleção e *upload* das imagens no programa; 2) a geração da nuvem de pontos dispersa; 3) a geração da nuvem de pontos densa; 4) a construção da malha triangular e; 5) a exportação do MDS e da ortoimagem.

Devido à capacidade limitada de *hardware* do computador utilizado para o processamento não foi possível realizar o procedimento em seu nível máximo de resolução. Logo, todo processo foi efetuado respeitando as configurações padrões (*default*) do *software*. O Quadro 6 traz uma explicação de cada processo de maneira concisa.

Quadro 6 - Etapas do Processamento das Imagens no PIX4D.

Processo	Descrição
Seleção e <i>upload</i> das imagens	Seleção manual das fotos a fim de identificar imagens com erros de tomada (arrasto, diferenças bruscas de altitude, etc.) e descartá-las antes de carrega-las na ferramenta computacional.
Geração da nuvem de pontos dispersa	Alinhamento das tomadas aéreas e detecção de pontos homólogos entre as regiões de sobreposição das imagens criando uma nuvem esparsa de pontos.
Geração da nuvem de pontos densa (Nesta etapa do processo adicionam-se os GCP's -	Etapa de densificação dos pontos fotogramétricos, no qual são refinados os parâmetros de posição da câmera no instante da tomada de cada imagem e são calculados a partir da nuvem esparsa uma nuvem densa de pontos.

Processo	Descrição
Pontos de Controle)	
Construção da malha triangular	Gera-se uma rede irregular de triângulos (<i>Triangular Irregular Network</i> - TIN) que representa as elevações da superfície.
Exportação do MDS e da ortorectificação	Determina-se a projeção e exportam-se os resultados em formato TIFF.

Fonte: Adaptado de Cunha et al. (2016) e Zanetti (2017).

3.4 Procedimentos Pós-Voo

O processo de avaliação de acurácia posicional se deu pela comparação das discrepâncias entre os pontos de checagem coletados com o RTK e suas coordenadas homologas dos pontos extraídos da ortorectificação obtida. Verificou-se então, a partir destes valores se o desvio-padrão foi estatisticamente menor que o valor limite de PEC-PCD em questão, segundo proposto por Galo e Camargo (1994).

Para o cálculo da diferença entre as coordenadas N e E obtidas pelo levantamento com o RTK e as diferenças das coordenadas obtidas na ortorectificação, adotaram-se as Equações 1 e 2:

$$\Delta E = E_{\text{RTK}} - E_{\text{ortorectificação}} \quad \text{Eq. (01)}$$

$$\Delta N = N_{\text{RTK}} - N_{\text{ortorectificação}} \quad \text{Eq. (02)}$$

Em que:

ΔE e ΔN são os valores de discrepância;

E_{RTK} e N_{RTK} são os valores das coordenadas em UTM dos pontos levantados com o RTK;

$E_{\text{ortorectificação}}$ e $N_{\text{ortorectificação}}$ são os valores das coordenadas em UTM obtidas na ortorectificação em análise.

Após a obtenção dos valores de discrepância para cada ponto analisado, calculou-se a Média dos valores de Discrepância ($\overline{\Delta E}$ e $\overline{\Delta N}$) e o Desvio-Padrão ($S_{\Delta E}$ e $S_{\Delta N}$) das discrepâncias amostrais, adaptado de Cunha et al (2016), conforme Equação 3 e 4.

$$\overline{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E}{n} \quad \text{e} \quad \overline{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N}{n} \quad \text{Eq. (03)}$$

Em que:

ΔE e ΔN são os valores de discrepância;

$\overline{\Delta E}$ e $\overline{\Delta N}$ são os valores de média das discrepância;

n é o numero de dados da amostra.

$$S_{\Delta E} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \overline{\Delta E})^2}}{n - 1} \quad \text{e} \quad S_{\Delta N} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \overline{\Delta N})^2}}{n - 1} \quad \text{Eq. (04)}$$

Em que:

s é o desvio-padrão amostral;

ΔE e ΔN são os valores de discrepância;

$\overline{\Delta E}$ e $\overline{\Delta N}$ são os valores de média das discrepâncias;

Para realização da análise de precisão, o teste estatístico recomendado por Galo e Camargo (1994) é o teste Qui Quadrado.

Este teste tem o princípio básico comparar possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para certo evento, podendo-se dizer que dois grupos se comportam de forma semelhante se as diferenças entre as frequências observadas e as esperadas em cada categoria forem muito pequenas, próximas à zero.

Sendo assim, testam-se duas hipóteses, uma nula e uma alternativa. Onde ao se aceitar a hipótese nula não existe diferença entre as frequências, demonstrando assim associação entre os grupos ou os desvios não são significativos. E a hipótese alternativa, prova o contrário.

Neste caso, comparam-se as discrepâncias obtidas com um valor de variância esperada (Equação 5), que relaciona o Erro Padrão da classe PEC desejada com a análise.

O valor σ a variância esperada, obtida por meio da Equação 5:

$$\sigma = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad \text{Eq. (05)}$$

Calculou-se então o valor do Qui Quadrado amostral (Equação 6), e comparou-se ao valor teórico obtido em tabelas estatísticas específicas.

$$X^2_{\Delta E} = \frac{S^2_{\Delta E}}{\sigma^2} \text{ e } X^2_{\Delta E} = \frac{S^2_{\Delta E}}{\sigma^2} \quad \text{Eq. (06)}$$

Após se obter o valor estatístico de X^2 calculado pela Equação 6, consultam-se a tabela estatística para o teste Qui Quadrado. Nela, com o valor do grau de liberdade e o nível de significância, que representa a máxima probabilidade de erro que se tem ao rejeitar uma hipótese, cruzam-se estes valores e se obtém o valor tabelado para comparação.

A tomada de decisão é feita comparando-se os dois valores de X^2 :

- Se X^2 calculado $>$ ou $= X^2$ tabelado: Rejeita-se H_0 ;

- Se X^2 calculado $< X^2$ tabelado: Aceita-se H_0 .

Ao aceitar-se H_0 , se aceita a hipótese de relação entre os dados, garantindo que o produto cartográfico está em conformidade com a classe PEC testada.

O objetivo na utilização desses cálculos é verificar se a variância amostral é considerada menor ou igual à variância referente à classe do PEC requerida, com 90% de confiabilidade, ou 10% de nível de significância.

Continuando no processo de verificação da qualidade do produto, é necessário realizar o teste *t student* para testar a tendência dos dados sendo obtido o valor do *t* amostral pela da Equação 7:

$$t_{calc} = \frac{\overline{\Delta X}}{s} \sqrt{N} \quad \text{Eq. (07)}$$

Em que:

$\overline{\Delta X}$ são os valores de média da discrepância;

s é o desvio-padrão amostral;

n é o número de dados da amostra.

O procedimento de análise estatístico de tendência dos dados procede analogamente ao teste Qui Quadrado. Obtém-se o valor calculado de *t* e se compara com o valor encontrado na tabela estatística específica para o teste *t de student*.

Neste caso, as hipóteses a serem testadas são se as médias são estatisticamente iguais ou se os valores diferem entre si, comprovando-se a diferente entre as médias, se determina a tendência ou não dos dados.

Aqui o valor de *t* calculado tem de ser menor que o tabelado para que a carta seja considerada livre de tendências.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para tanto, como resultado final desse trabalho construiu-se um “protocolo” metodológico para levantamento de dados matriciais (imagens) com VANT de baixo custo em recortes espaciais locais, utilizando como área de estudo a própria área do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG).

4.1 Procedimentos Pré-voos.

Após o voo extra que serviu de teste para a escolha do alvo (Figura 27) procedeu-se para a última etapa, dividindo se em dois dias de trabalho de campo. O primeiro dia foi dedicado à marcação dos GCP's no campo e o levantamento do marco geodésico que serviu de base para a correção de todos os outros pontos de controle levantados.

Optou-se por materializar os pontos no primeiro dia de operação, para garantir o acesso e localização a todos os pontos no momento do levantamento com GNSS (Figura 30). Até porque, alguns pontos planejados não puderam ser demarcados, devido à dificuldade de acesso observada na etapa de campo, para tanto se utilizou o GPS/GLONAS *Garmin Etrex 30* no apoio a navegação.

A Figura 33 demonstra os pontos inicialmente planejados e onde foram realmente levantados. Vale salientar que esta capacidade de manter o planejamento em constante atualização é parte do operador quando vai ao campo.

Figura 33 - Materiais e equipamentos utilizados para marcação dos Pontos de Controle.



Fonte: Elaboração própria e <https://www.garmin.com/pt-BR>, acessado em 20/08/2017.

Figura 34 - Pontos planejados x Pontos materializados.



● Pontos de controle planejados ✕ Pontos de controle materializados

Fonte: Autoria própria.

Os pontos de checagem seguiram a mesma metodologia e estão apresentados na Figura 35. Assim como o resultado dos pontos materializados em campo como podemos acompanhar na mesma figura.

Figura 35 - Pontos de checagem coletados.



Fonte: Autoria própria.

Além da marcação dos alvos, no primeiro dia foi feita a implantação do marco pelo método geodésico de levantamento por GNSS (Figura 36). Decidiu-se por colocar uma base geodésica no perímetro do *campus* tendo em vista o marco mais próximo está a 20 quilômetros de distância. Isto não seria um problema, porém, acredita-se que um marco geodésico dentro dos limites do CCTA é importante devido a sua utilização para futuros trabalhos, não só acadêmicas, mas para quem precisar fazer uso da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Além disso, há a segurança do marco em termos de depredação e vandalismo.

Figura 36 – a) Marco utilizado, b) Implementação e c) nivelamento da base.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Autoria própria

O receptor GNSS captou por pouco mais de seis horas com taxa de gravação configurada para 01 segundo. Vale salientar que o referencial geodésico trabalhado foi o que preconiza o IBGE para o nosso território, SIRGAS 2000, na Zona 24 Sul em projeção UTM.

A demarcação dos pontos de apoio e checagem foi feita em *Real Time Kinematic* (RTK), ou seja, Posicionamento Cinemático em Tempo Real, com correções instantâneas, com base no marco geodésico supracitado como referência para transmissão e correção em tempo real das coordenadas da estação móvel, também chamada de *Rover*. A maior distância entre base e *rover* não ultrapassou 1,5 km. Podemos ver na Figura 37 a base e na Figura 38 o *rover* montados em detalhe.

Figura 37 - Receptor CHC X900 trabalhando como base.



Fonte: Autoria própria.

Figura 38 - Rover configurado com bastão de nível e coletora CHC LT-30.



Fonte: Autoria própria.

O receptor foi montado sobre tripé com base nivelada ao marco, trabalhando com um rádio de baixa frequência e antena para aumentar o alcance do sinal. O outro receptor foi montado sobre o bastão para deslocamento ponto a ponto. O *rover* foi configurado pela coletora CHC LT-30 (figura 36), observando sempre a solução fixa dos vetores, o que corresponde a ótimo nível de conexão base/*rover*.

Como alerta, Dias et al. (2014), ainda que seja em tempo real, as coordenadas tem ser corrigidas junto aos valores da análise contínua visando a distribuição dos erros. Este processamento foi conduzido em *software* específico *Hcrinex*.

O tempo de rastreamento e os detalhes da implementação do marco utilizado para correção encontram-se despostos no Quadro 7 e foram obtidos enviando os dados registrados para o IBGE, que após um dia enviou os dados corrigidos.

Quadro 7 - Sumário processamento do marco.

Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2017/08/05 13:01:43,00
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2017/08/05 19:12:16,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHCX900B NONE
Órbitas dos satélites:¹	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena³(m):	1,377
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,88 GPS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,70 GPS

Fonte: Aatoria própria.

Já as coordenadas com respectivos erros obtidos para o marco final para a projeção SIRGAS 2000, zona UTM 24 sul, podem ser verificadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Coordenadas geométricas do marco e desvio padrão.

	Latitude (gms)	Longitude (gms)	Alt. Geo (m)	UTM N (m)	UTM E (m)
Na data do levantamento	-6° 46' 55,7341"	-37° 48' 06,8849"	176,54	9250170.274	632399.862
Em 2000.4	-6° 46' 55,7406"	-37° 48' 06,8831"	176,54	9250170.074	632399.917
Desvio padrão (σ)	0,001	0,002	0,004		
Altitude Ortométrica (m): 184,53					

Fonte: Aatoria própria.

Percebe-se que o desvio padrão (σ) ficou dentro do aceitável, atendendo aos padrões de posicionamento geodésicos, que para rastreamentos com linha de base até 5 km é de cinco a dez minutos de rastreamento e precisão entre cinco e dez milímetros. O tempo recomendado pelo IBGE (2008) é de pelo menos 4 (quatro) horas de rastreio, tendo o projeto realizado rastreamento por pouco mais de 6 (seis) horas, os resultados esperados foram atendidos.

Quanto aos pontos de controle, esses têm a finalidade de oferecer as coordenadas consideradas como verdade real (verdade terrestre) para correção fotogramétrica. O cuidado ao se tomar os pontos é a ação mitigadora de erros sistêmicos, sendo assim, foi respeitado o rastreamento durante 5 minutos para cada ponto e, atentando ao nivelamento do bastão, aferiram-se os pontos.

Foram coletados ao todo 20 pontos de apoio, sendo 12 de controle e 8 para checagem de acurácia dos produtos, como apresentado na Tabela 11. Todos os pontos foram catalogados, ver exemplo na Figura 39, e encontram-se anexados ao final do trabalho.

Tabela 11 - Pontos de apoio coletados com RTK.


Ponto	Norte (m)	Este (m)	Elev (m)	Erro Horizontal	Erro Vertical	Status	Nº SAT
PA1	9250028.3801	632573.9563	177.3526	0.007	0.007	FIXO	16
PA2	9250194.1590	632455.4677	173.3202	0.007	0.007	FIXO	17
PA3	9250163.2630	632177.7261	173.8257	0.007	0.007	FIXO	15
PA4	9249620.6427	632116.6638	174.9744	0.007	0.007	FIXO	18
PA5	9249794.7355	632565.3522	182.0912	0.007	0.007	FIXO	18
PA6	9249863.2709	632384.9707	178.1912	0.007	0.008	FIXO	16
PA7	9249845.2963	632132.0711	174.2656	0.007	0.008	FIXO	17
PA8	9250059.7794	632398.4483	180.5265	0.007	0.008	FIXO	16
PC1	9250358.9960	632009.6500	170.4690	0.007	0.007	FIXO	17
PC2	9250262.0366	632263.5979	172.4363	0.007	0.007	FIXO	16
PC3	9250277.4340	632563.7357	172.8708	0.007	0.007	FIXO	16
PC4	9249983.4800	632621.6494	178.4619	0.007	0.007	FIXO	16
PC5	9249942.7881	632167.9283	172.9375	0.007	0.008	FIXO	17
PC6	9250091.7443	632452.5452	178.5863	0.007	0.008	FIXO	17
PC7	9249676.6485	632112.0292	175.0974	0.007	0.008	FIXO	16
PC8	9249856.8585	632288.2440	174.3406	0.007	0.008	FIXO	16
PC9	9249775.9081	632570.5869	182.3808	0.007	0.008	FIXO	15
PC10	9249499.9109	632077.3175	175.6503	0.016	0.019	FIXO	17
PC11	9249637.4237	632314.8172	177.9644	0.007	0.008	FIXO	16
PC12	9249603.7456	632635.5567	188.3741	0.007	0.007	FIXO	18

(PA_n – Ponto de Apoio; PC_n - Ponto de Controle; Norte (m) e Este (m) são as coordenadas planimétricas x e y dadas em metros; Elev (m) – Elevação dada em metros; Nº SAT – Número de Satélites sendo captados no presente momento do levantamento dos pontos)

Fonte: Autoria própria.

Como pode ser percebido na Tabela 11, os erros horizontais e verticais nos pontos coletados com o RTK foram em média 7 mm. Apenas o ponto PC10 apresentou uma discrepância no valor, com 1,6 cm. Porém, ainda assim foi um valor que ficou dentro da tolerância estabelecida. Todos os pontos foram coletados com o *status* FIXO, e com pelos menos 15 satélites rastreados.

Figura 39 - Ficha catalográfica dos pontos de controle e checagem.

Cadastro do Ponto de Controle			
Nome do projeto:	TCC Gustavo	Município:	Pombal-PB
Nome do ponto:	PA7	Data levantamento:	06/08/2017
Coordenadas			
Geograficas decimais		UTM	
Longitude:	-37,80204034	Este:	632132,0711
Latitude:	-6,784925244	Norte:	9249845,2963
Altit. Ortométrica (H):	174,2656	Erro horizontal:	0.007
Datum:	SIRGAS 2000	Erro vertical:	0.008
Zona UTM:	24S	Solução de captação:	FIXO
Descrição do ponto:	Área de solo raso e exposto. Ponto de checagem.		
Foto do ponto			

Fonte: Autoria própria.

4.2 Procedimentos do Voo

Após a definição do plano de voo, partiu-se para a execução do mesmo. Como recomendado pelo próprio aplicativo, elevou-se a aeronave a alguns metros do solo e em seguida procedeu-se com o início da missão semiautônoma (Figura 40).

Figura 40 - Calibragem e voo *DJI Phantom 3 Pro*.

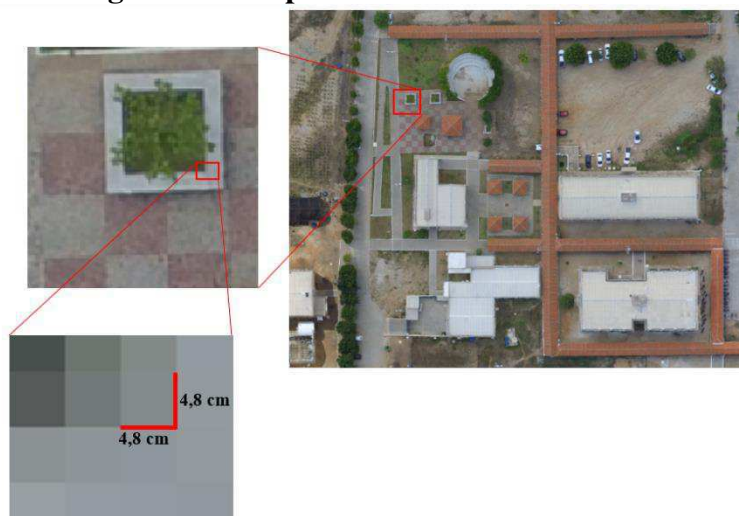


Fonte: Aatoria própria.

Seguindo o plano de voo previamente planejado, os voos foram realizados dia 06/08/2017, com operação sendo iniciada por volta de onze horas da manhã. Este horário foi escolhido buscando o menor recobrimento por sombra nas imagens. Após a realização de três, das cinco missões pré-determinadas, a aeronave apresentou problemas inviabilizando a continuação da operação naquele dia. No dia seguinte, 07/08/2017, foram concluídas as outras duas missões com sucesso, porém o voo só pode ser realizado por volta de 13:00 h.

O voo recobriu uma área total de 108 hectares, dos 75 hectares previstos anteriormente pelo programa, tendo obtido um valor de GSD final de 4,8 cm (Figura 41).

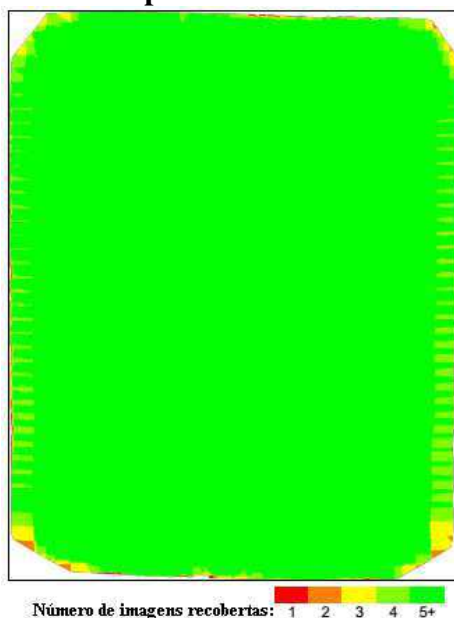
Figura 41 - Mapa de recobrimento da área.



Fonte: Autoria própria.

Cada missão durou em média 15 minutos. O levantamento aéreo total não levou mais que uma hora e meia, obtendo uma quantidade total de 984 imagens. O grau de recobrimento da imagem ficou em níveis ótimos de aceitação, estando toda a região de interesse recoberta por cinco ou mais imagens, como se pode ver na Figura 42.

Figura 42 - Mapa de recobrimento da área.



Fonte: Dados da pesquisa.

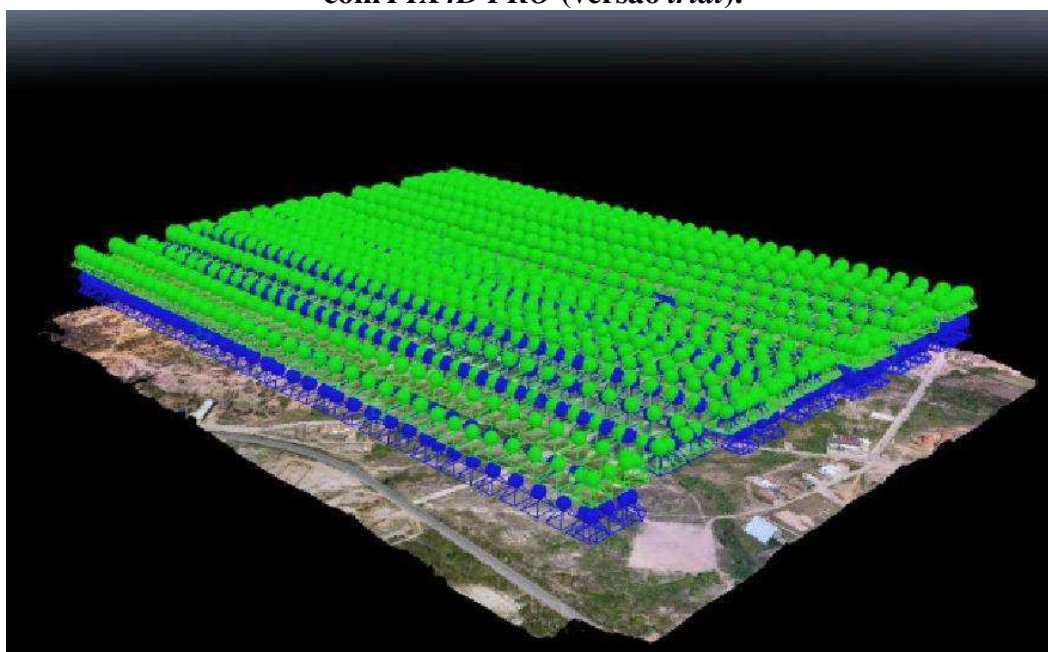
Percebe-se que as regiões periféricas tendem a apresentar menor número de recobrindo, sobre tudo próximo aos vértices do polígono de interesse, apresentando de duas a três imagens recobertas garantindo assim a estereoscopia, porém diminui o

número de pontos homólogos por imagem, que acaba por gerar maiores discrepâncias no produto final.

Seguindo as etapas descritas na metodologia (Quadro 6) procedeu-se com a seleção das imagens que foi feita a partir de alguns critérios, quais foram: a) eliminação das imagens que apresentaram tomadas em angulação menor que 90° ; b) eliminação de qualquer imagem que apresentasse algum tipo de arrasto ou defeito ou falha nos *pixels* gerando algum tipo de distorção na imagem, ou ainda; c) eliminação de imagens que não fosse pertinente incluir no processamento por se encontrar muito além das bordas do polígono de interesse. Desta forma, saiu-se de um número inicial de 926 imagens para 828 imagens que iniciaram o procedimento.

Após a etapa da seleção e *upload* das imagens partiu-se para a geração das nuvens de pontos dispersa e densa. Na nuvem dispersa ocorre o alinhamento das tomadas aéreas e detecção de pontos homólogos entre as regiões de sobreposição das imagens criando uma nuvem esparsa de pontos. (Figura 43).

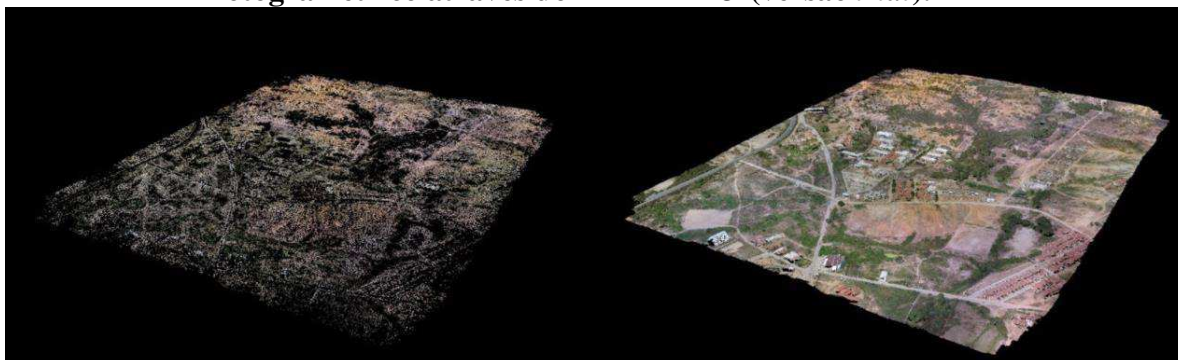
Figura 43 - Alinhamento das tomadas aéreas dentro do processo fotogramétrico com PIX4D PRO (versão trial).



Fonte: Autoria própria

Já na etapa das nuvens densa, ocorre uma densificação dos pontos fotogramétricos, no qual são refinados os parâmetros de posição da câmera no instante da tomada de cada imagem e é calculada a partir da nuvem esparsa essa nova nuvem, agora mais densa e corrigida pelos Pontos de Controle (Figura 44).

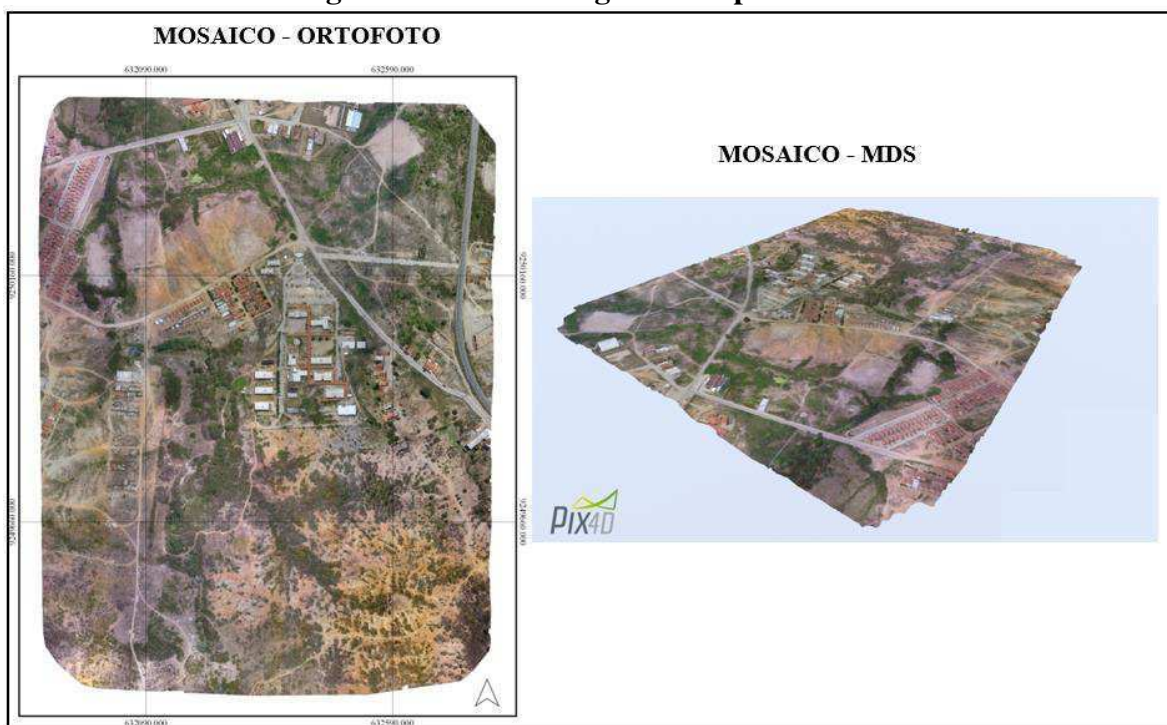
Figura 44 - Geração das Nuvens Esparsa e Densa gerada no processo fotogramétrico através do *PIX4D PRO* (versão *trial*).



Fonte: Autoria própria.

A etapa final do processamento de dados coletados e a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e da Ortofoto (Figura 45), ambos necessários para a extração de diferentes produtos e informação, tais como: hipsometria, declividade, geração de curvas de nível, dentre outros, quando integrados com *software* de Geoprocessamento, como é o caso do QGis.

Figura 45 - Modelo digital de superfície.



Fonte: Autoria própria

4.3 Procedimentos Pós-Voo

O procedimento pós-voo deu-se pela Avaliação da Qualidade Posicional (Planimétrica) e Altimétrica obtida para os Produtos Cartográficos Digitais gerados com base nos Padrões de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD).

Sendo assim, a Tabela 12 apresenta os valores de discrepância encontrados para as coordenadas “Este” e “Norte” nas coordenadas planimétricas.

Tabela 12 - Valores de discrepância entre as coordenadas planimétricas.

Pontos	Valores obtidos com RTK		Valores obtidos na ortofoto		Discrepância	
	NORTE (ref.)	ESTE (ref.)	NORTE	ESTE	ΔN	ΔE
PA1	632573,956	9250028,38	632573,8000	9250028,4250	0,1563	-0,0449
PA2	632455,468	9250194,159	632455,4000	9250194,2430	0,0677	-0,0840
PA3	632177,726	9250163,263	632177,8000	9250163,4130	-0,0739	-0,1500
PA4	632116,664	9249620,643	632116,7000	9249620,6810	-0,0362	-0,0383
PA5	632565,352	9249794,736	632565,2000	9249794,7740	0,1522	-0,0385
PA6	632384,971	9249863,271	632384,9000	9249863,2850	0,0707	-0,0141
PA7	632132,071	9249845,296	632132,1000	9249845,3050	-0,0289	-0,0087
PA8	632398,448	9250059,779	632398,4000	9250059,7880	0,0483	-0,0086

Fonte: Autoria própria.

Procederam-se então aos testes nos quais foi detectada uma tendência para os dados das coordenadas “Este”, enquanto que as coordenadas “Norte” estão em conformidade, ou seja, não são tendenciosas (Tabela 13).

Tabela 13 - Análise de tendência pelo teste *t student*.

Parâmetro	Norte ()	Este ()
Média	0,0445	-0,0484
Desvio-padrão	0,085570568	0,048016082
Valor CALCULADO DE <i>t</i>	1,471717675	-2,850305831
Valor TABELADO de <i>t</i> ($\alpha=0,1$)	1,895	1,895
Tendência	Sem tendência	Com tendência

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 13 se percebe que a presença de tendência nas coordenadas “Este” pode ter se dado pelo fato da aeronave obter as imagens em movimento. Outra razão ao se analisar é o fato dos planos de voo terem sido realizados da direita para esquerda, sentido este em que se apresentaram as tendências, podendo de alguma forma ter interferido no resultado final.

Segundo Barreto et al. (2002), esta região paraibana tem ventos predominantemente no sentido leste, e esta particularidade pode ter sido outra hipótese da geração de tendências para coordenadas “Este” (BARRETO, 2002).

Para a análise e enquadramento quanto ao PEC-PCD, foi utilizado o cálculo Qui Quadrado, testando os valores para as escalas de 1:1000 e 1:5000. Os resultados estão nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Análise de precisão escala 1:1000.

Escala 1:1000	Norte (x)	Este (y)
$X^2_{CLASSE A}$	3,547	1,116
$X^2_{CLASSE B}$	1,139	0,358
$X^2_{TABELADO}$	2,833	2,833
Classe PEC-PCD	B	A

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 15 - Análise de precisão escala 1:5000.

Escala 1:5000	Norte (x)	Este (y)
$X^2_{CLASSE A}$	0,1418	0,0446
$X^2_{CLASSE B}$	0,0455	0,0143
$X^2_{TABELADO}$	2,833	2,833
Classe PEC-PCD	A	A

Fonte: Autoria própria.

Nota-se na Tabela 14 que, para a escala 1:1000, as coordenadas Norte (x) não passaram no teste estatístico, o que faz com que a ortoimagem seja classificada como PEC-PCD Classe B para a essa escala do produto. Já para escala 1:5000, na Tabela 15, ambas as direções foram aceitas na classe A, levando a ortoimagem a ser classificada quanto à escala 1:5000, como PEC-PCD Classe A.

Vale salientar que o valor de variância esperado para o cálculo do X^2 , que tem erro padrão igual a 0,17 para classe A, é de 0,1202. Se o valor de erro padrão fosse apenas dois décimos maiores (0,20, por exemplo) a variância esperada iria pra 0,1414, valor este que já elevaria a classificação de B para A. Isto demonstra como os erros, por menor que possam parecer, podem gerar discrepâncias no produto final.

Quanto aos valores de altimetria, estes foram testados utilizando a mesma metodologia proposta para a análise de acurácia planimétrica. Os valores estatísticos encontram-se dispostos nas Tabelas 16 e 17. Estes valores referem-se à equidistância das curvas de nível de 1 m.

Tabela 16 - Análise de tendências para os dados altimétricos.

Parâmetro	Altitude
Média	-0,0114
Desvio-padrão	0,05354
$T_{calculado}$	-0,604
$T_{tabelado} (\alpha=0,1)$	1,895
Tendência	Sem tendência

Fonte: Autoria própria.

A análise de tendência obteve resultado satisfatório para os valores planimétricos, ficando o valor de t bem abaixo do valor de referência. As utilizações

dos pontos de apoio aqui surtiram efeito positivo, podendo assim inferir que os mesmos foram bem distribuídos e atenderam ao seu propósito.

Tabela 17 - Análise de precisão altimétrica com equidistância de 1m.

Equidistância: 1m		Altitude
$X^2_{\text{CLASSE A}}$		1,389
$X^2_{\text{CLASSE B}}$		0,00362
X^2_{TABELADO}		2,833
Classe PEC-PCD		A

Fonte: Aatoria própria.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O produto gerado neste trabalho ficou classificado no PEC-PCD na Classe B para a escala 1:1000 e na Classe A para escala 1:5000. Assim como em outros trabalhos encontrados na literatura, as coordenadas na direção “Este” apresentaram “tendência”. A recorrência deste tipo de discrepância pode vir a ser material de estudo para futuros trabalhos.

Deve-se sempre se atentar que o nível de acurácia posicional de um produto cartográfico digital depende diretamente da sua finalidade (para qual aplicação será utilizado o produto gerado). Sendo assim, definir qual nível de erro é admitido para o tipo de projeto que vai ser realizado é tarefa primária em qualquer trabalho desta natureza, para que não ocorra descarte desnecessariamente de produtos PEC-PCD de Classe B, C ou até mesmo inferiores.

A demonstração de que é possível se realizar um trabalho de mapeamento aéreo com uma aeronave pilotada remotamente, de baixo custo que não foi desenvolvida para tal finalidade provavelmente é viável desde que sejam adotadas todas as etapas descritas no protocolo metodológico abordadas neste trabalho.

Partindo do pressuposto de que criar possibilidades para aplicação de novas e promissoras tecnologias é papel primordial da academia, o objetivo deste trabalho cumpriu esse intento, já que a produção de um protocolo metodológico para levantamento de dados matriciais com veículos aéreos não tripuláveis demonstrou resultados satisfatórios e promissores, principalmente no tocante à utilização dos produtos finais para estudos em pequenos recortes espaciais, por exemplo, trabalhos de Cadastramento Multifinalitário, monitoramento sistêmico de pequenas áreas, bem como, estudo da área urbana.

No tocante ao trabalho em questão, todos os aspectos relacionados ao mapeamento com VANT puderam ser abordados. Desde a etapa pré-voo, passando pela etapa do voo e finalizando com a etapa do pós-voo. Os resultados obtidos neste TCC apontaram que o levantamento de dados matriciais com VANT's pode sim fazer parte de um projeto de mapeamento aéreo de excelente qualidade (acurácia posicional e altimétrica), resolução espacial (escala de visualização) e resolução temporal (periodicidade do levantamento) de baixo custo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I. C. **ESTUDO SOBRE O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA MAPEAMENTO AÉREO COM FINS DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS VIÁRIOS**. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2014.

ALMEIDA, I. C. **ESTUDO SOBRE O USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT) PARA MAPEAMENTO AÉREO COM FINS DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS VIÁRIOS**. 2014. 136 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2014.

ALVES JÚNIOR, L. R. et al. Validação de Ortomosaicos E Modelos Digitais de Terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n. 7, p.1453-1466, nov. 2015.

ANAC (Org.). **Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor**: Norma cria condições para operações mais seguras. 2017. Disponível em: <www.anac.gov.br/drones>. Acesso em: 20 ago. 2017.

ARANA, José Milton. **INTRODUÇÃO À GEODÉSIA FÍSICA**. 2009. Disponível em: <<http://www2.fct.unesp.br/docentes/carto/arana/Apgfis.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000**: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: Abnt, 2000.

BATISTA, G. **Apostila introdutória de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Taubaté: Universidade de Taubaté, 2003. 52p. Disponível em: <<https://goo.gl/XPpnyf>> Acesso em: 06 Ago. 2017.

BRASIL. LEI Nº 7.565, DE 19 DE DEZEMBRO DE 1986. Dispõe sobre o Código Brasileiro de Aeronáutica.

BRASIL. Ministério da Defesa Portaria Normativa nº 606, de 11 de junho de 2004. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 14 jun. 2004. Seção 2, p.8.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Ed. UERJ. 2007. 196 p.

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

COSTA JUNIOR, J. D. **O USO DE VANT NO MONITORAMENTO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DO RIO M'BOICY**. 2017. 50 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (GEOGRAFIA - BACHARELADO) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2017.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, DECEA. Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. **ICA100-40/2017**. Disponível em: <<https://goo.gl/Qajuop>> Acesso em: 01/08/2017.

DIAS, G. M.; PETER, J. C.; PEREIRA, M. **LEVANTAMENTO DE LIMITES DE IMÓVEL RURAL COM USO DE VANT, ELDORADO DO SUL - RS**. 2014. 160 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **ET-CQDG: NORMA DA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA CONTROLE DE QUALIDADE DE DADOS GEOESPACIAIS**. 1 ed. Brasil: Boletim do Exército Nº 7, 2016. 94 p.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p.175-181, jan. 2006.

EASTMAN, J.R. IDRISI for Windows: **Introdução e Exercícios tutoriais**. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS, Centro de Recursos Idrisi, 1998. p.240.

ELACHI, C. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**. Nova York, EUA: Wiley, 1987.

GALVÃO, G. M. **ACURÁCIA DA MOSAICAGEM GERADA POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO UTILIZADO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO**. 2014. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JÚNIOR, L. R. A.; CÔRTEZ, J. B. R.; FERREIRA, M. E.; SILVA, J. R. **Validação de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT**. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17 (SBSR), 2015, João Pessoa, PB. Anais. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 2157-2164.

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/l31MqN>> Acesso em: 10 Ago. 2017.

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato**. Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

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

MENDES, C. A. B. **Planejamento Nacional de Recursos Hídricos Baseado no uso de Técnicas de Geoprocessamento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2000.

PATIAS, P. 2001. **Photogrammetry and Visualization Technical Report, ETH Zurich**. Acessado em: 12 de Ago. de 2017.

PAULA, J. C. **DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADRIRROTOR PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS AÉREAS EM ALTA DEFINIÇÃO**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PAULA, V. M. G. . **BQM-1BR - O VANT a jato brasileiro**. UFJF Defesa, Juiz de Fora, p. 1 - 3, 03 Ago. 2009.

PEREIRA, O. J.; TAMAMARU, R. Geração de modelos digitais de elevação com base em técnicas de estereoscopia digital, por meio de imagens VANT: Subsídio a identificação de manchas de desmatamento em áreas de preservação permanente. Foz do Iguaçu: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto – SBSR**, 2013.

PRATA, Luiz. **Indústria de drones decola no Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://cio.com.br/tecnologia/2016/11/17/industria-de-drones-decola-no-brasil/>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

ROCHA, R. S. **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas** –. 128f. : il. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Florianópolis, SC – BR, 2002. <http://www.ufrgs.br/engcart/tese_RochaRS.pdf>

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 88p.

SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso da Estatística Espacial** (Viçosa, MG). Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JR, J. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira**. Boletim de Ciências Geodésicas (Online), v. 22/4. 2016.

SANTOS, D. R. Capítulo I. In: **Fotogrametria I**. Curitiba: Ufpr, 2014. p. 1-41.

SATO, S.S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais**. Disponível em: <<https://goo.gl/Wwdfvk>>. Acesso em: 01 Ago. 2017.

SILVA NETO, M. **Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com Drone?** Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar-no-mapeamento-aereo-com-drone-2/>>. Acesso em: 20 Ago. 2017