



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JESSÉ PEDRO GOMES JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA EM LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO  
COM USO DE VANT: ESTUDO DE CASO NA RODOVIA FEDERAL BR-230**

JOÃO PESSOA

2018

JESSÉ PEDRO GOMES JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA EM LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAF MÉTRICO  
COM USO DE VANT: ESTUDO DE CASO NA RODOVIA FEDERAL BR-230**

Trabalho de Conclusão de Curso que apresenta à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do  
Centro de Tecnologia da Universidade Federal da  
Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção  
do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Isabelle Yruska de Lucena  
Gomes Braga

JOÃO PESSOA

2018

G633a Gomes Júnior, Jessé Pedro.

Avaliação da acurácia em levantamento aerofotogramétrico com uso de VANT: Estudo de caso na Rodovia Federal BR-230./ Jessé Pedro Gomes Júnior. – João Pessoa, 2018.  
47f. : il.

Orientação: Isabelle Yruska de Lucena Gomes Braga.  
Monografia (Graduação) – UFPB / CT.

1. Aeronave não tripulada. 2. Aerofotogrametria. 3. Drones. 4. Mapeamento. 5. Cartografia. I. Braga, Isabelle Yruska de Lucena Gomes. II. Título.

UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**JESSÉ PEDRO GOMES JÚNIOR**

### **AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA EM LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT: ESTUDO DE CASO NA RODOVIA FEDERAL BR-230**

Trabalho de Conclusão de Curso em 12/06/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Isabelle Yruska de Lucena Gomes Braga

Dra. Isabelle Yruska de Lucena Gomes Braga

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

Clóvis Dias

Dr. Clóvis Dias

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

Fábio Lopes Soares

Dr. Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

APROVADO

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Profª. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família pelo apoio em todos os momentos, compartilhando alegrias e frustrações ao longo dessa jornada. Em especial aos meus filhos Gabriel e Sofia pelo incentivo e paciência em todas minhas ausências.

A minha companheira Gabriela Lira que esteve sempre do meu lado nas horas difíceis. Por todo amor na realização dessa conquista.

A professora orientadora Dra. Isabelle Yruska, pela paciência, dedicação e por todo o conhecimento compartilhado.

Aos professores e técnicos do Curso de Engenharia Civil que me ensinaram que não há limites na capacidade de realizar mudanças.

A EBA Construtora, na pessoa dos engenheiros Marcos e Severino pela oportunidade e parceria.

Por fim, gostaria de agradecer a todas as pessoas que participaram ativamente da minha formação.

## RESUMO

Os levantamentos tradicionais a partir da aerofotogrametria apresentam um alto custo e um tempo elevado para coleta e processamento de dados. Nos dias atuais, outras tecnologias utilizadas vêm sendo desenvolvidas e aplicadas para resolver esses entraves. Dentre as tecnologias utilizadas em levantamentos topográficos de grandes áreas, os drones surgem como uma alternativa prática e de baixo custo em comparação aos levantamentos topográficos convencionais, como estação total ou receptores de satélite (GNSS) remoto. Sendo assim, torna-se relevante avaliar a qualidade posicional de um levantamento aerofotogramétrico executado com aeronaves não tripuladas (VANT), para assim poder garantir a confiabilidade dos dados e permitir que os padrões normativos de cartografia levem em consideração as variáveis envolvidas em levantamentos desse tipo, como a resolução das imagens aéreas ou cobertura do solo por obstáculos. Nesse contexto, esta pesquisa buscou avaliar a acurácia dos ortomosaicos obtidos em um processamento aerofotogramétrico com drones na Rodovia BR-230 entre o km 0 e o km 27, utilizando uma análise do posicionamento de pontos de controle em solo. Ao todo foram executados 28 voos em uma área de 431 ha com acurácia planimétrica de 14 cm. Os resultados alcançados demonstraram que essa tecnologia pode ser utilizada em projetos que exigem precisão e confiabilidade dos dados, como cartas municipais de gestão urbana ou outros trabalhos de fins cadastrais.

**Palavras-chave:** Aeronaves não tripuladas. Aerofotogrametria. Drones. Mapeamento. Cartografia.

## ABSTRACT

Traditional surveys from aerophotogrammetry show high cost and time needed to the data collecting and processing. Nowadays, other technologies have been developed and applied to address these barriers. Among the technologies used in topographic survey of large areas, drones appear as a practical and low-cost alternative compared to conventional topographic surveys, such as station or remote satellite receivers (GNSS). Therefore, it is relevant to evaluate the positional quality of an aerial photogrammetric survey performed with these unmanned aircraft (UAV), since there are no normative mapping standards do not consider such surveys. In this context, this research sought to evaluate the accuracy of the orthomosaics obtained in aerial photogrammetric processing with drones on the BR-230 Highway between km 0 and km 27, using an analysis of the positioning of control points in soil. In all, 28 flights were performed in an area of 431 ha with 14 cm planimetric accuracy. The achieved results showed that this technology can be used in projects that require data accuracy and reliability, such as municipal letters used in urban management or cadastral purposed.

**Key words:** Unmanned aircraft. Aerophotogrammetry. Drones. Mapping. Cartography.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cobertura de mapeamentos oficiais no Brasil (adaptado de DSG, 2011) .....	8
Figura 2 - Localização da área de estudo. ....	10
Figura 3 – Passeata contra ampliação na rodovia BR-230 (OLIVEIRA, 2017).....	11
Figura 4 – Teoria da trilateração espacial usada no cálculo de coordenadas dos receptores GNSS (SILVA e SEGANTINE, 2015). ....	12
Figura 5 – Linha de base em um levantamento por posicionamento relativo (SILVA e SEGANTINE, 2015). ....	13
Figura 6 – Modelos de VANT mais utilizados (PECHARROMÁN e VEIGA, 2016). ....	14
Figura 7 – Fotografias aéreas de acordo com a inclinação do sensor (ZANETTI, 2017). ....	18
Figura 8 – Conjunto de imagens ortorretificadas: Ortomosaico.....	19
Figura 9 – Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel. ....	19
Figura 10 – Recobrimentos longitudinal e lateral em um conjunto de imagens fotogramétricas (COELHO FILHO e BRITO, 2007).....	20
Figura 11 - Processamento de imagens aéreas no <i>software Agisoft Photoscan</i> . ....	22
Figura 12 – Exemplo de tiro ao alvo para interpretação do termo acurácia (MONICO, PÓZ, <i>et al.</i> , 2009).....	23
Figura 13 – GNSS <i>Rover</i> coletando dados para PCT em locais com posicionamento claro nas imagens aéreas.....	26
Figura 14 – Precisão dos dados coletados para os PCT, desenvolvidos pelo método GNSS pós-processados. ....	27
Figura 15 - Drone DJI Phantom P4 Pro, padronizado conforme regulamentação do DECEA. ....	27
Figura 16 – Planejamento do voo no <i>software</i> de controle da aeronave. ....	28
Figura 17 – Detalhe do posicionamento dos PCT no Ortomosaico do voo V020.....	31
Figura 18 – Acurácia planimétrica calculada a partir da média das discrepâncias e desvio padrão em todos ortomosaicos processados. ....	32

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
1.1	Justificativa	9
1.2	Objetivos	10
1.3	O local da pesquisa	10
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>12</b>
2.1	Sistemas globais de navegação por satélite (GNSS)	12
2.1.1	Métodos de posicionamento com a tecnologia GNSS	13
2.2	Veículos aéreos não-tripulados (VANT)	14
2.2.1	Contexto histórico	15
2.2.2	Normas e Regulamentação	15
2.3	Aerofotogrametria	17
2.3.1	Cobertura fotográfica	20
2.3.2	Processamento das imagens aéreas	20
2.4	Acurácia, precisão e tendência	23
2.5	O padrão de exatidão cartográfica	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>26</b>
3.1	GNSS	26
3.2	VANT	27
3.2.1	Etapa 1: Planejamento do voo	28
3.2.2	Etapa 2: Execução do voo	29
3.2.3	Etapa 3: Pós voo	29
3.3	Processamento dos dados	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>35</b>
	<b>APÊNDICE A – Relatório de cálculo do processamento aerofotogramétrico de todos voos executados</b>	<b>37</b>
	<b>APÊNDICE B – Ortomosaico V001 resultante do processamento aerofotogramétrico em escala 1/2000</b>	<b>45</b>
	<b>APÊNDICE C – Trecho do ortomosaico V001 resultante do processamento aerofotogramétrico em escala 1/500</b>	<b>46</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil demanda o compartilhamento de informações e projetos, em todas etapas da construção. Nesse processo, o levantamento topográfico é essencial tanto na tomada de decisões quanto ao dirimir dúvidas de execução. Porém, por se tratar de um país de proporções continentais, o Brasil não possui bases cartográficas atualizadas em todo seu território.

Segundo Assis (2001), o desenvolvimento da indústria da construção civil tem esbarrado na desatualização dos dados disponíveis relativos ao uso e ocupação do solo urbano que reflitam a dinâmica do espaço.

A situação é crítica em relação a falta de disponibilidade de mapas e bases de dados cartográficos atualizados, visto que há grande demanda por planejamento e implantação de infraestruturas, mas em contrapartida não existem políticas governamentais sistemáticas de investimentos públicos nessa área (Figura 1).

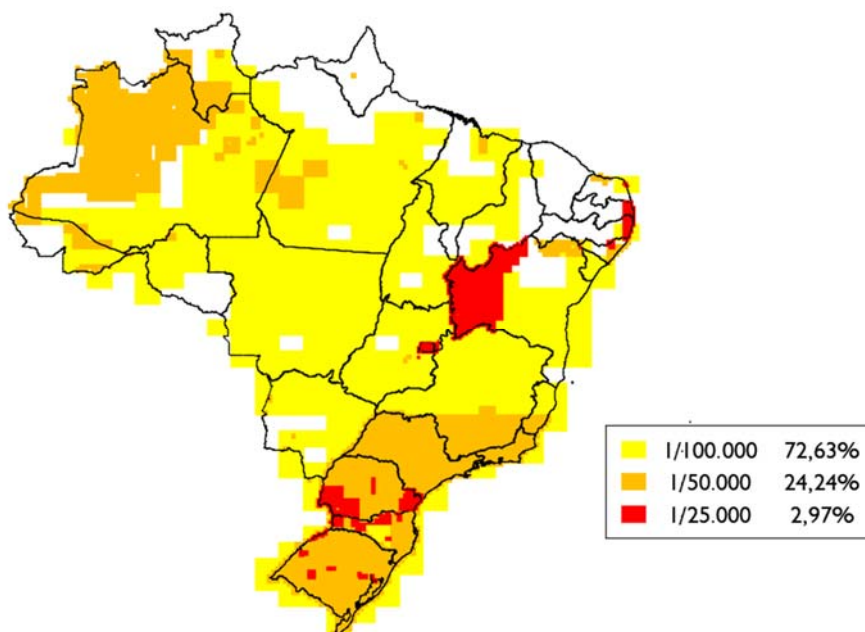


Figura 1 - Cobertura de mapeamentos oficiais no Brasil (DSG, 2011)

Conforme Figura 1, o território brasileiro está mapeado em menos de 3% na escala 1:25.000 e menos de 1% na escala 1:10.000, escalas imprescindíveis no desenvolvimento de projetos econômicos e sociais. Ainda assim, grande parte desse mapeamento foi realizado nas décadas de 60 e 70 (COBO e PAVAN, 2000).

Segundo Lee (2000) o mapeamento em grande escala esteve geralmente vinculado a conservação e expansão da malha viária nacional, que por sua vez teve evolução notável a partir de fins da década de 50. O pós-guerra foi marcado pela instalação da indústria automobilística no país, efetivação de um modelo de tributação vinculado a conservação e expansão de rede de rodovias, implementação de estruturas institucionais públicas como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e os DER estaduais, chegando inclusive a formatação do Plano Nacional de Viação (BRASIL, 1973). Mas mudanças na política acabaram por extinguir o modelo de financiamento que viabilizava o desenvolvimento no setor rodoviário que por sua vez, sem recursos assegurados, reduziu consideravelmente o investimento em levantamentos topográficos e base de cartográficos dados eficientes.

Nesse cenário, os levantamentos topográficos em grande escala passaram a compor os custos diretos da iniciativa privada na fase de projeto e implantação da obra. E os equipamentos topográficos como as estações total e, mais recentemente, a tecnologia de receptores do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System*) tem sido muito utilizados e tem demonstrado muita eficiência no desenvolvimento de dados cadastrais precisos, porém com tempos operacionais muito elevados. Em compensação, a aerofotogrametria clássica (câmeras embarcadas em aeronaves tripuladas) tem sido pouco utilizada, pois demanda custos operacionais elevados apesar da alta produtividade (CASACA, MATOS e DIAS, 2007).

## **1.1 Justificativa**

Nos últimos anos, o avanço tecnológico da cartografia tem desenvolvido exponencialmente, sobretudo pela possibilidade de automação em diversos procedimentos fotogramétricos. A integração entre os sistemas de posicionamento por satélite, os sistemas inerciais e as câmeras digitais, juntamente com a capacidade de processamento alcançada pelos computadores contemporâneos tem revolucionado o mapeamento fotogramétrico (ALVES JÚNIOR, 2015).

Acompanhando esse desenvolvimento tecnológico, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) surgem como ferramentas eficientes no desenvolvimento de levantamentos topográficos, por serem equipamentos cada vez mais capazes de gerar resultados com ótima produtividade e baixos custos operacionais, muitas vezes sem a necessidade direta do contato do operador com a superfície modelada.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal dessa pesquisa foi o de avaliar a qualidade posicional dos dados adquiridos por meio de um conjunto de imagens aéreas processadas a partir de um método experimental de levantamento utilizando GNSS e VANT.

Para tanto foi delineado uma sequência de objetivos específicos de forma a cumprir tal meta, a saber:

- Conhecer as ferramentas (técnicas, tecnologias e equipamentos) envolvidas no processo de aerofotogrametria;
- Definir o método a ser executado pelo levantamento aerofotogramétrico;
- Executar as tarefas de levantamento aerofotogramétrico;
- Processar os dados;
- Tabular os dados obtidos a partir das imagens aéreas processadas.

## 1.3 O local da pesquisa

A área de estudo está inserida em uma faixa de 200m de largura, no trajeto da rodovia federal BR-230 entre os municípios de Cabedelo e João Pessoa, no Estado da Paraíba, entre o km 0,00 (porto de Cabedelo) e o km 28,00 (Viaduto Governador Ivan Bichara), ao qual está sendo executada uma obra para aumento da capacidade de tráfego, com a implantação de mais uma faixa de rolamento em cada um dos sentidos. O levantamento foi realizado durante o período de novembro de 2017 e fevereiro de 2018 (Figura 2).



Figura 2 - Localização da área de estudo.

O local proposto é uma rodovia de extrema importância para todo o Estado, devido ao escoamento de produtos e mercadorias do Porto de Cabedelo e elevado fluxo de veículos automotores.

Além disso, qualquer levantamento topográfico irá demandar um tempo maior de execução em relação ao levantamento aerofotogramétrico, com dificuldades na obtenção dos dados, visto que uma parte da população local não trata o assunto com bons olhos, principalmente no que se refere a desapropriação das edificações dentro da faixa de domínio da rodovia, e as negociações de indenização, como ilustrado pela Figura 3.



Figura 3 – Passeata contra ampliação na rodovia BR-230 (OLIVEIRA, 2017).

A Figura 3 apresenta um dos protestos de moradores de Cabedelo, o que corrobora a dificuldade em se realizar um levantamento topográfico.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sistemas globais de navegação por satélite (GNSS)

Segundo Silva e Segantine (2015), GNSS é um sistema de posicionamento global que permite determinar a posição de um receptor em qualquer lugar da Terra ou em suas proximidades, fornecendo coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z), as quais são transformadas em coordenadas geográficas (latitude, longitude, altura elipsoidal) ou coordenadas planas (leste, norte, altitude).

Atualmente coexistem quatro sistemas individuais: o americano GPS (*Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System*), que opera desde 1973; o russo GLONASS (*Globalnaya Navigacionnaya Sputnikovaya System*), que está operacional desde 1981, mas que foi disponibilizado para uso civil apenas em 2005; o único completamente civil desde sua concepção, desenvolvido e administrado pela Comunidade europeia desde 2006, o GALILEO; e, por último, o chinês BEIDU, operando desde 2008 (SILVA e SEGANTINE, 2015).

Ainda segundo Silva e Segantine (2015), para a determinação da localização geográfica de um ponto a partir do sistema GNSS são consideradas as coordenadas de 04 satélites como pontos de referência, em um método conhecido como trilateração espacial (SILVA e SEGANTINE, 2015).

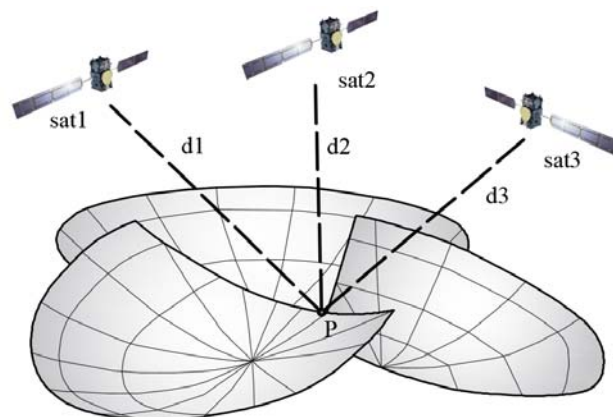


Figura 4 – Teoria da trilateração espacial usada no cálculo de coordenadas dos receptores GNSS (SILVA e SEGANTINE, 2015).

Conforme ilustrado na Figura 4, do ponto de vista meramente matemático, o método consiste em considerar as coordenadas de pelo menos 03 satélites (sat1, sat2 e sat3) e a distância destes para a antena receptora (d1, d2 e d3), sendo então possível determinar as

coordenadas da antena receptora através de um sistema de equações com 03 variáveis ( $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ). Porém, devido a necessidade de se considerar as variações no tempo de deslocamento da onda eletromagnética é necessário o rastreamento de pelo menos 04 satélites, de forma que o sistema de equações passa a tratar com 04 incógnitas ( $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$ ,  $\Delta t_i$ ) (CASACA, MATOS e DIAS, 2007).

### 2.1.1 Métodos de posicionamento com a tecnologia GNSS

Existem três métodos de posicionamento com a tecnologia GNSS (SILVA e SEGANTINE, 2015):

O posicionamento absoluto (autônomo) baseia-se na medição direta das distâncias entre a antena receptora e os satélites, e definição das coordenadas pela trilateração espacial, sendo mais simples e de baixa precisão (3 a 15 metros).

O posicionamento relativo (pós-processado) considera a operação de 02 ou mais receptores rastreando os mesmos satélites ao mesmo tempo. O princípio do método consiste em instalar um dos receptores em um ponto de coordenadas conhecidas (base), e proceder a determinação das coordenadas dos pontos remotos a partir da instalação de outro receptor (*hover*) e assim definir um vetor espacial entre os dois pontos, conhecido como linha de base. Segundo Silva e Segantine (2015), a alta precisão (menor que 1 cm), a possibilidade de processar os dados depois (pós processamento) e a possibilidade de apresentar relatórios de processamento (rastreamento), tem tornado essa técnica muito utilizada na implantação de pontos de controle da aerofotogrametria.

A Figura 5 ilustra a linha de base utilizada no método de posicionamento relativo.

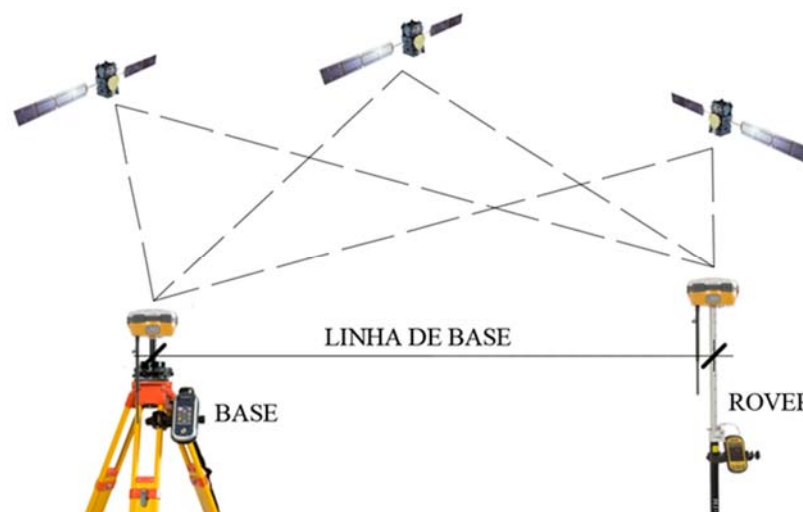


Figura 5 – Linha de base em um levantamento por posicionamento relativo (SILVA e SEGANTINE, 2015).

A linha de base, apresentada na Figura 5, permite ao método de posicionamento relativo fornecer informações pertinentes as variações de coordenadas do receptor base para assim corrigir as coordenadas do receptor *rover*.

Os receptores base devem ser posicionados em marcos localizados, e de coordenadas previamente conhecidas, com o objetivo de fornecer referencial geodésico unívoco, fixo e relativamente estável no tempo (CASACA, MATOS e DIAS, 2007).

Tem-se ainda, o posicionamento diferencial (processamento em tempo real) é muito similar ao método relativo, todavia as correções diferenciais entre as coordenadas conhecidas e as calculadas da estação base, são transmitidas para o receptor remoto durante a operação, permitindo a determinação das coordenadas o receptor remoto com precisão e em tempo real (SILVA e SEGANTINE, 2015).

## 2.2 Veículos aéreos não-tripulados (VANT)

Os VANT, conhecidos como UAV em inglês (*Unmanned aerial vehicle*) ou, popularmente, como “drones” no Brasil, são aeronaves pilotadas remotamente a partir de uma base ou plataforma que disponibiliza meios eletrônicos e computacionais, controlados ou programados para operarem autonomamente. Podem ser classificados pelo sistema aerodinâmico (asa fixa, asa rotativa, dirigíveis, ornitópteros<sup>1</sup>), tamanho, performance ou aplicação (SILVA, SOUZA, *et al.*, 2014). A Figura 6 apresenta os modelos mais utilizados.



Figura 6 – Modelos de VANT mais utilizados (PECHARROMÁN e VEIGA, 2016).

<sup>1</sup> **Ornitóptero** é uma designação genérica para qualquer aeronave que obtenha tanto a sustentação quanto a propulsão por intermédio do movimento alternativo de suas asas, semelhante as aves.

Entre os modelos de VANT, como apresentados na Figura 6, os mais utilizados no mercado classificam-se em aeronaves de asa fixa, que permitem maior autonomia e cobertura de áreas mais extensas (acima de 100ha em um único voo) e aeronaves de asa rotativa, com maior facilidade de operação (pouso e decolagem vertical), controles mais simples e maior possibilidade de manobras (NETO, 2017).

### 2.2.1 Contexto histórico

Historicamente, os VANT foram desenvolvidos para o emprego militar, com o objetivo de atacar alvos a grandes distâncias sem colocar pilotos em risco, e se tornaram conhecidos pelo público em geral ao serem usados em grande escala pelas forças norte-americanas para o monitoramento de inimigos, designação de alvos e até lançamento de armamentos guiados na Segunda Guerra do Golfo, iniciada em 2003. (PECHARROMÁN e VEIGA, 2016).

No Brasil, os primeiros registros de desenvolvimento de VANT são de 1982, mas o mercado civil teve início apenas nos anos 2000, impulsionado pelos avanços dos sensores óticos digitais, sistemas inerciais, eletrônica de controle e sistemas de comunicação, que permitiu agregar capacidades suficientes para o seu emprego comercial (PECHARROMÁN e VEIGA, 2016).

Segundo Munaretto (2015) apesar do início turbulento, o desenvolvimento de tecnologias embarcadas nos VANT para uso civil, vem se firmando como uma importante ferramenta na obtenção de imagens aéreas de qualidade e baixo custo, visto que a utilização e a aplicação desses novos conhecimentos, tanto no meio urbano quanto no meio rural, permitem identificar estratégias que possam aumentar a eficiência em levantamentos aerofotogramétricos.

### 2.2.2 Normas e Regulamentação

A regulamentação de operações com VANT, os distingue em função da finalidade, como sendo: Aeromodelos, para as aeronaves não tripuladas com finalidade de recreação; e RPA (*Remotely Piloted Aircraft*), para as aeronaves não tripuladas que tenham qualquer outra finalidade que não seja recreativa, tais como comercial, corporativa ou experimental (DECEA, 2016). Essa classificação sugere que os Aeromodelos têm permissão de operar apenas em aeródromos destinados para fim de recreação, enquanto os RPA, devem obedecer uma regulamentação própria.

Os RPA são ainda classificados em 03 classes de acordo com o peso máximo de decolagem do equipamento (*payload*), com diferentes níveis de exigência para as permissões de aeronavegabilidade (DECEA, 2016):

- As aeronaves Classe 1 são as RPA com *payload* acima de 150kg. Essas RPA devem passar por um processo de certificação similar ao exigido para as aeronaves tripuladas, devendo ainda obter Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) e serem identificadas com marcas de nacionalidade e matrícula;
- As aeronaves Classe 2, estão incluídas entre aquelas com *payload* entre 25kg e 150kg. As RPA incluídas nessa classe, necessitam apenas que o fabricante faça requerimento da aprovação do projeto uma única vez e a aeronave deve obter RAB e ser identificada com marcas de nacionalidade e matrícula;
- E as aeronaves Classe 3, são todas que tem *payload* abaixo de 25kg. As quais não precisam obter RAB, desde que não operem acima de 400 pés (120m) do nível do solo e o piloto mantenha contato visual direto com a aeronave. Mas ainda assim, devem ser cadastradas na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) por meio do Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT). No caso de operarem acima de 400 pés ou fora do contato visual direto com o piloto, estas aeronaves estão sujeitas as mesmas exigências das RPA Classe 2.

Em se tratando das operações de voo com RPA, estas são classificadas em função do alcance visual do piloto (DECEA, 2016):

- Operação autônoma: Aeronave opera sem intervenção do piloto no gerenciamento do voo. Este tipo de operação é proibido no Brasil;
- BVLOS (*Beyond Visual Line Of Sight*): Operação na qual o piloto não consegue manter a aeronave dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador;
- EVLOS (*Extended Visual Line Of Sight*): Operação na qual o piloto só é capaz de manter contato visual direto com a aeronave com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e precisa do auxílio de observadores de apoio;
- VLOS (*Visual Line Of Sight*): Operação na qual o piloto mantém contato visual direto com a aeronave (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos).

A Tabela 1 resume as exigências para permissões de aeronavegabilidade em função da classe da aeronave e tipo de operação de voo.

Tabela 1 – Resumo das exigências de aeronavegabilidade dos VANT (adaptado de DECEA, 2016).

Operação	RPA Classe 1	RPA Classe 2	RPA Classe 3	Aeromodelos
-				Registro SISANT da aeronave
VLOS e abaixo de 400 pés	Licenças, habilitação e certificado médico aeronáutico (CMA) para o piloto emitidos pela ANAC, Aprovação e Registro RAB da aeronave	Licenças, habilitação e certificado médico aeronáutico (CMA) para o piloto emitidos pela ANAC, Aprovação do projeto e Registro RAB da aeronave	Registro SISANT da aeronave	
VLOS ou acima de 400 pés			Licenças, habilitação e certificado médico aeronáutico (CMA) para o piloto emitidos pela ANAC, e Registro RAB da aeronave	
EVLOS				
BVLOS				
Operação autônoma	Proibido			

De acordo com a Tabela 1, observa-se que dentre as classes de RPA classificadas pelo DECEA (2016), as aeronaves Classe 3 operando em VLOS abaixo de 400 pés, têm menores exigências operacionais. Exige-se apenas que sejam registradas no SISANT, e sejam feitas as solicitações de voo nesse sistema.

### 2.3 Aerofotogrametria

Segundo Wolf e Dewitt (2004; ZANETTI, 2017) fotogrametria é a tecnologia utilizada para se obter informações eficientes sobre objetos e ambientes, através de processos de gravação, medição e interpretação de fotografias.

A fotogrametria pode ser terrestre, aérea ou orbital, dependendo da plataforma utilizada. Na fotogrametria aérea, as fotografias são classificadas pela inclinação do eixo ótico em relação ao terreno (Figura 7).

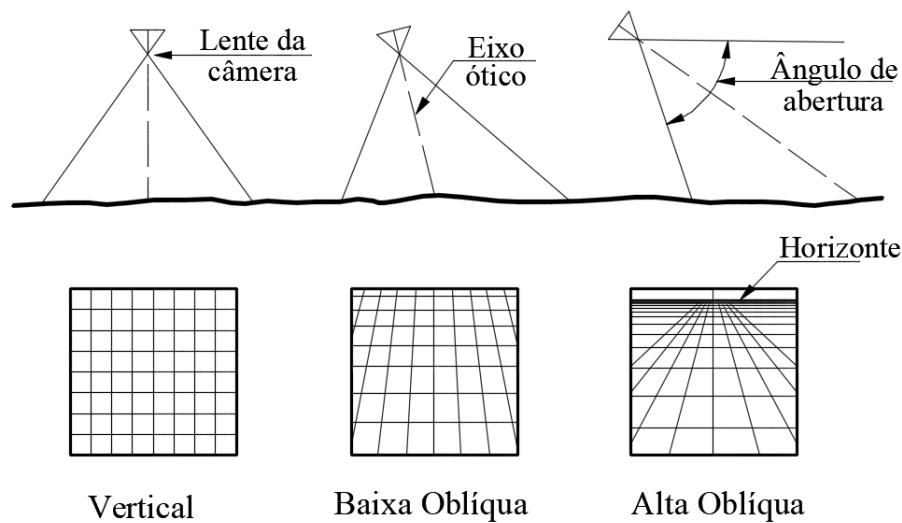


Figura 7 – Fotografias aéreas de acordo com a inclinação do sensor (ZANETTI, 2017).

Como apresentado na Figura 7, uma fotografia é considerada vertical quando o eixo focal está orientado perpendicularmente ao horizonte, com uma declinação máxima de  $3^\circ$ . Uma fotografia oblíqua é aquela onde o eixo óptico da câmara se encontra inclinado em relação ao horizonte, sendo chamada de alta oblíqua quando a inclinação do eixo permitir mostrar o horizonte e baixa oblíqua se o horizonte não for visível.

Na captação das imagens, as características geométricas são as principais diferenças entre as câmeras, de forma que são classificadas em métricas e não métricas. As câmeras métricas possuem sistema de lente de alta qualidade geométrica, dispositivo de planificação do filme e marcas de segurança nas imagens, permitindo a captação de imagens ortogonais. As câmeras não métricas são muito mais simples, não apresentam “exatidão geométrica”, nem dispositivos que garantem a obtenção de uma imagem geometricamente fidedigna (ZANETTI, 2017).

Atualmente, *softwares* de processamento de imagens, utilizando técnicas de calibração sofisticadas, tem permitido cada vez mais que câmeras não métricas apresentem boa qualidade geométrica e posicional. Aliado à grande disponibilidade desses tipos de câmera, ao baixo peso e preço, o uso dessas câmeras tem impulsionado o desenvolvimento dos VANT (COELHO FILHO e BRITO, 2007).

Dos produtos obtidos pelo processamento aerofotogramétrico, dois se destacam na obtenção de medidas planimétricas e altimétricas: o ortomosaico (Figura 8) e o modelo digital de superfície (MDS) (Figura 9).



Figura 8 – Conjunto de imagens ortorretificadas: Ortomosaico.

O ortomosaico, como apresentado na Figura 8, corresponde a um conjunto de imagens ortorretificadas por processos fotogramétricos alinhadas de forma que as dimensões planimétricas entre os elementos registrados conservam a proporção (escala) com os elementos.

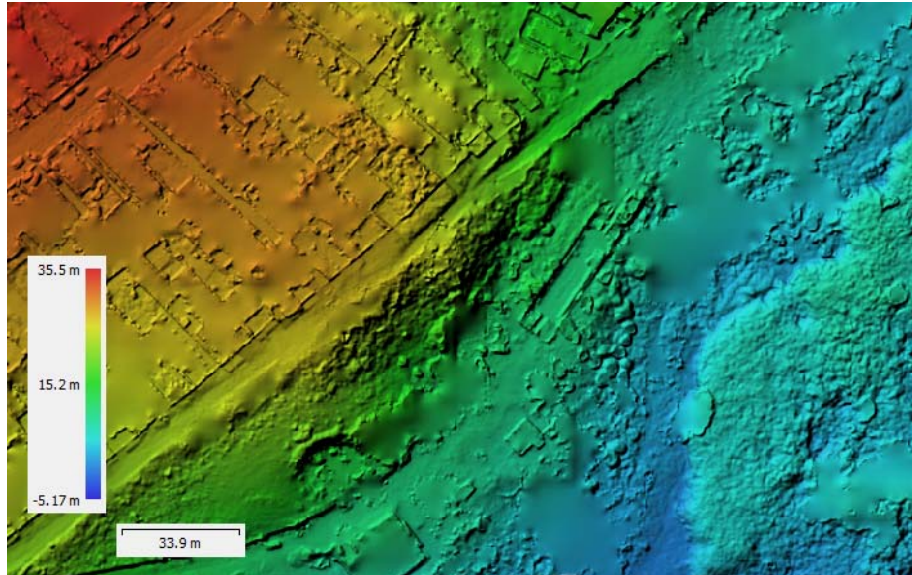


Figura 9 – Modelo digital de superfície (MDS) com indicação da altitude em função da cor do pixel.

O MDS representado na Figura 9, indica as informações de relevo (altitudes) em função de um gradiente de cores apresentado nos pixels da imagem, correspondendo as altitudes da superfície modelada e da mesma forma que o ortomosaico, apresentam imagens ortorretificadas.

### 2.3.1 Cobertura fotográfica

Segundo Coelho Filho e Brito (2007), a aerofotogrametria clássica pressupõe que duas imagens aéreas adjacentes longitudinalmente no sentido do voo (na mesma faixa), devem manter superposição (recobrimento longitudinal) de 60% e ainda, duas imagens aéreas adjacentes lateralmente (duas faixas consecutivas) devem manter superposição (recobrimento lateral) de 30% (Figura 10).

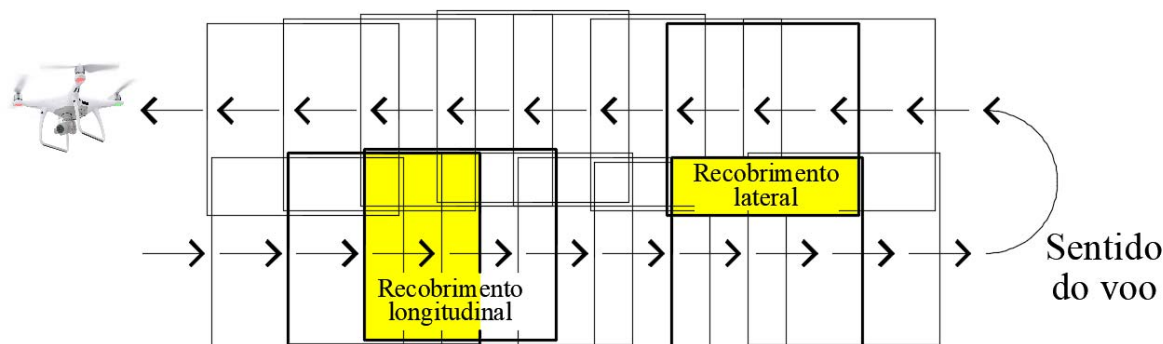


Figura 10 – Recobrimentos longitudinal e lateral em um conjunto de imagens fotogramétricas (COELHO FILHO e BRITO, 2007).

Entretanto, a utilização dos VANT como plataformas aéreas sujeitam o processamento a uma maior influência de turbulências e rajadas de vento, que tiram a aeronave do percurso ou da perpendicularidade com o horizonte. Todas interferências no voo diminuem a capacidade de sobreposição, devendo dessa forma, os recobrimentos serem corrigidos para 80% tanto longitudinalmente quanto lateralmente (SILVA, SOUZA, *et al.*, 2014).

### 2.3.2 Processamento das imagens aéreas

Para processar os dados aerofotogramétricos várias técnicas de processamento de dados são importantes para que seja possível transformar um grupo de fotografias comuns, em um mosaico de imagens ortogonais (ortorretificadas).

Nesse ponto, é importante compreender, inicialmente, que ao tirar uma foto, através de uma câmera fotográfica não métrica, alguns efeitos fornecem características tridimensionais indesejáveis à cena. Estes efeitos são chamados efeitos passivos (KIRNER e TORI, 2004), entre os quais:

- Perspectiva: Faz com que objetos de mesmo tamanho devem aparecer maiores na foto, quanto mais próximos da câmera estiverem;

- Iluminação: Quando aplicado à cena adiciona à imagem uma visualização melhor da forma dos objetos presentes, contribuindo com o aumento do grau de realismo;
- Oclusão: Esse efeito é responsável por esconder parcial ou integralmente objetos que estejam por de trás de outros. Com isto, observa-se a ordem dos objetos em termos de distância à câmera;
- Sombra: Uma sombra de um objeto está sempre no plano de apoio e se o objeto está a uma distância na imagem da sombra, conclui-se que o objeto não está no plano de apoio;
- Gradiente da textura: Indica direções de projeção, definindo pontos de fuga, e com isto, define uma noção de profundidade.

Além das características inerentes a uma fotografia única, ao considerar pares ou grupos de imagens que possuem sobreposição de assuntos, a estereoscopia é uma importante ferramenta de compreensão do espaço. Está relacionada à capacidade de enxergar em três dimensões, isto é, de perceber a profundidade. O princípio de funcionamento da maioria dos dispositivos estereoscópicos é o oferecimento de imagens distintas aos olhos esquerdo e direito do observador, proporcionando sensação de profundidade, tal qual quando se observa um objeto real (MALARD, 2008). Já em um sistema informatizado, a estereoscopia permite fundir as imagens em um modelo tridimensional, com características de profundidade e relevo.

No processo de tratamento de dados aerofotogramétricos é importante também corrigir os erros referentes ao sistema de posicionamento da aeronave, principalmente em se tratando de aeronaves com dimensões extremamente reduzidas como os VANT. Isso porque estes sofrem maior interferência do vento e de turbulências, comparando com as aeronaves comuns (aviões). Para tanto é introduzido no processamento, dados precisos de georreferenciamento. Essas coordenadas coletadas em solo são chamadas Pontos de Controle de Terra (PCT), e servem para criar uma interligação entre os sistemas tridimensionais da imagem e do terreno existente.

Em se tratando de um sistema automatizado, todo o processamento acontece em um fluxo contínuo. Existem vários *softwares* que desenvolvem esse processamento, entre os quais o *Agisoft PhotoScan* (Figura 11) e *Pix4D Mapper* se destacam como os mais utilizados entre as versões comerciais (NETO, 2017). Em geral, os *softwares* de aerofotogrametria utilizam um fluxo de trabalho que considera os efeitos passivos das imagens, a estereoscopia, calibração da

câmera e referenciamento dos Pontos de Controle em Terra (PCT), para gerar um modelo tridimensional e, a partir deste, processar os produtos finais (Figura 11) (AGISOFT LLC, 2006).

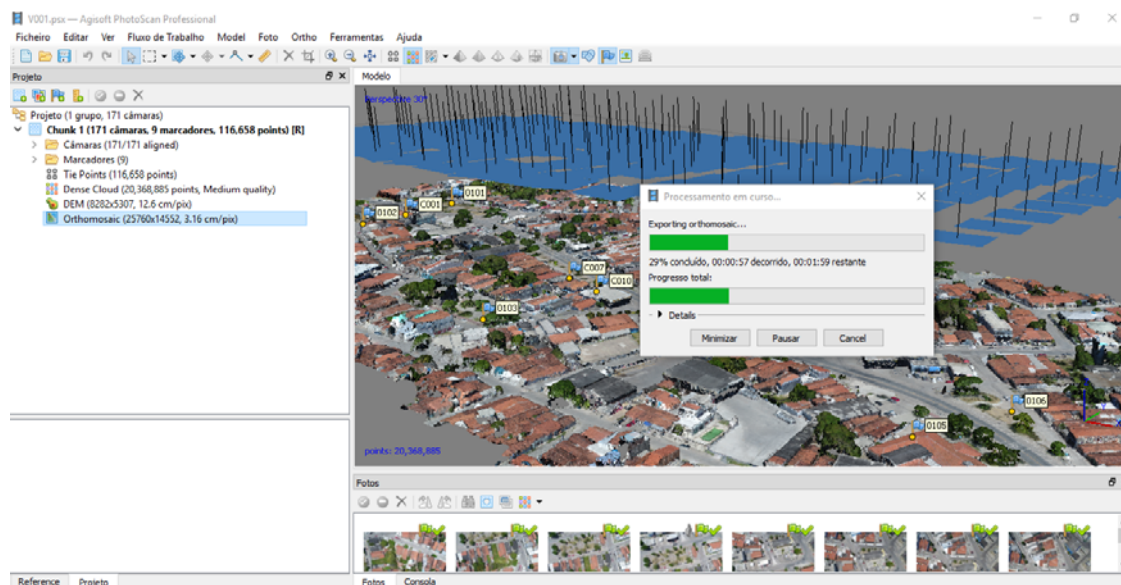


Figura 11 - Processamento de imagens aéreas no *software Agisoft Photoscan*.

Para chegar a um resultado satisfatório, o fluxo de trabalho utilizado pelos *softwares* em geral, considera o desenvolvimento das seguintes etapas:

- Alinhamento das imagens: Etapa em que o *software* analisa pixels comuns em pares de fotografias para combiná-los, bem como avalia a posição da câmera em cada imagem para assim aplicar calibrações automáticas. Como resultado, forma-se uma nuvem de pontos esparsas representando o terreno;
- Densificação em nuvem de pontos: Com base nas posições e imagens estimadas da câmera, uma nuvem de pontos mais densa passa a ser construída, podendo ainda ser editada e classificada.
- Georreferenciamento e posicionamento de pontos de controle: A maioria dos *softwares* permitem a intervenção do usuário nessa etapa para o cadastramento de pontos de controle e posicionamento das imagens;
- Desenvolvimento dos produtos finais como modelo digital de superfície (MDS) e ortomosaico: Nessa etapa os *softwares* desenvolvem os produtos finais, seja ao definir uma malha de pontos tridimensionais a partir da nuvem de pontos e assim apresentar o MDS, seja aplicando a textura das imagens ortorretificadas e agrupando-as em um mosaico para apresentar o ortomosaico. Algumas versões de *softwares* ainda desenvolvem vetorização

de dados automatizados, como reconhecimento de feições ou definição de curvas de nível.

## 2.4 Acurácia, precisão e tendência

Segundo Rodrigues e Gonçalves (2010), o conceito de acurácia expressa o grau de proximidade de uma estimativa com o parâmetro para qual ela foi estimada, ou seja, o valor mais provável. Enquanto que para Dalmolin (2002), a precisão trata do desvio padrão entre as amostras, ou seja, o grau de consistência de uma grandeza comparada à sua média. Apesar das similaridades, os conceitos são diferentes quando se trata de dados georreferenciados, visto que mesmo amostras estando consistentes em relação à sua média (pequeno desvio padrão), o conjunto dos dados podem não estar próximo a local definido como correto.

A Figura 12 ilustra o conceito de acurácia.

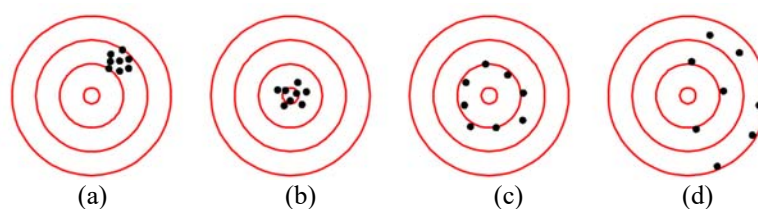


Figura 12 – Exemplo de tiro ao alvo para interpretação do termo acurácia (MONICO, PÓZ, *et al.*, 2009).

A Figura 12 compara o centro do alvo ao valor mais provável de uma coordenada e os pontos marcados em preto a valores observados. Nesse contexto, a Figura 12a apresenta alta precisão, mas os dados são tendenciosos em relação ao centro, e o conjunto tem baixa acurácia. A Figura 12b apresenta alta acurácia, porque as observações são precisas e sem tendência. A Figura 12c apresenta baixa acurácia, porque mesmo sem tendência, os dados não são precisos (baixa consistência). A Figura 12d apresenta a menor acurácia entre os exemplos, devido à baixa precisão e existência de tendência (MONICO, PÓZ, *et al.*, 2009).

A Geodésia tem como principal objetivo representar a forma da Terra. Dados georreferenciados envolvem métodos e instrumentos que apresentam erros associados. Qualquer medida realizada contém erros, não sendo possível avaliar exatidão para o valor verdadeiro de um posicionamento ou localização na Terra. Existe sim, um valor mais provável, sendo obtido por instrumentos que possuam menores erros associados ao processo de posicionamento (RODRIGUES e GONÇALVES, 2010).

A teoria dos erros define que existem três tipos de erros (DALMOLIN, 2002):

- Erros sistemáticos são inerentes ao método. Geralmente são causados por fontes conhecidas, como o instrumento utilizado, o método de observação ou causas ambientais. Seus efeitos podem ser minimizados;
- Erros aleatórios ou acidentais ocorrem por causas incoerentes ou temporais, variando durante operações sucessivas, de forma imprevisíveis. Seus efeitos podem ser avaliados e compensados;
- Erros grosseiros são frequentemente causados pela imperícia do operador, erro de formato ou de identificação que podem ser perceptíveis com observações redundantes. Devem ser retirados em avaliações redundantes.

Na prática, o nível de acurácia de dados georreferenciados depende dos equipamentos e da técnica utilizada para minimizar os efeitos dos erros aleatórios e sistemáticos. Segundo Rodrigues e Gonçalves (2010), os GNSS operando em posicionamento relativo, são equipamentos capazes de fornecer coordenadas com altíssima precisão, e segundo Monico (2009) um conjunto de dados de GNSS, por serem autônomos e independentes, apresentam acurácia tanto quanto a menor precisão alcançada no conjunto de coordenadas observados.

Dessa forma, o processamento aerofotogramétrico com coordenadas geográficas utilizando pontos de controle, considera nula a hipótese de tendência e a precisão é considerada com base nas discrepâncias entre as coordenadas observadas no ortomosaico  $(x_0, y_0)$  e a referência dos marcos georreferenciados com GNSS  $(x_r, y_r)$  (Equação 1), de onde obtêm-se as estatísticas como média (Equação 2) e desvio padrão (Equação 3), conforme o número de elementos de amostra (PCT).

$$\Delta xy = \sqrt{(x_0 - x_r)^2 + (y_0 - y_r)^2} \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

$$\overline{\Delta xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta xy \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

$$S_{\Delta xy} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta xy - \overline{\Delta xy})^2} \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

## 2.5 O padrão de exatidão cartográfica

O Decreto n.º 89.817 (BRASIL, 1984), estabelece instruções reguladoras para a cartografia nacional, através de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e

apresentação de documentos cartográficos em todo território brasileiro. Entre os vários procedimentos a serem seguidos, um trata da garantia de exatidão dos resultados, tomando como referência o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), de forma que 90% dos pontos definidos em uma carta, quando testados no terreno, não devem apresentar erro superior ao estabelecido.

O decreto regulamenta ainda a classificação dos produtos finais em classes, conforme sua precisão. De forma que a classe “A” se refere a um erro menor que 0,5 mm na escala apresentada, a classe “B” está relacionada para erros menores que 0,8 mm na escala apresentada e a classe “C” para erros menores que 1,0 mm na escala apresentada (BRASIL, 1984).

Na época de publicação do decreto, o principal objetivo foi o de assegurar a exatidão cartográfica de produtos impressos, observando as peculiaridades de cada escala de representação. Com a evolução tecnológica, as demandas dos usuários indicaram a necessidade de serem estabelecidos novos padrões de qualidade para os produtos cartográficos. Nesse cenário, o Ministério da Defesa, através da Diretoria de Serviços Geográficos (DSG, 2011), lançou norma específica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais, no qual atribuiu um sistema de classes comparado ao apresentado no decreto n.º 89.817, denominado a partir daí, como “Padrão de Exatidão Cartográfica para os Produtos Cartográficos Digitais” (PEC-PCD).

A Tabela 2 simplifica algumas precisões exigidas em função da escala a ser apresentada, relacionando o Decreto n.º 89.817 (BRASIL, 1984) e a norma da Diretoria de Serviços Geográficos do Ministério da Defesa (2011).

Tabela 2 – Classificação de dados cartográficos planimétricos conforme PEC e PEC-PCD (DSG, 2011)

PEC	PEC-PCD	Escala do produto cartográfico				
		1:250	1:500	1:1.000	1:2.000	1:5.000
-	A	0,07m	0,14m	0,28m	0,56m	1,40m
A	B	0,125m	0,25m	0,50m	1,00m	2,50m
B	C	0,20m	0,40m	0,80m	1,60m	4,00m
C	D	0,25m	0,50m	1,00m	2,00m	5,00m

De acordo com a Tabela 2, observa-se que a classificação PEC-PCD se sobrepõe a antiga PEC, visto que considera as mesmas condições de avaliação de precisão, sendo ainda mais detalhista.

### 3 METODOLOGIA

O presente tópico apresenta os materiais e métodos empregados desde a concepção dos planos de voo, preparação dos equipamentos e execução dos levantamentos, bem como a metodologia de avaliação da acurácia dos modelos obtidos por meio de GNSS e VANT.

#### 3.1 GNSS

O levantamento para a determinação das coordenadas dos PCT foi realizado utilizando-se de um par de receptores de dupla frequência L1/L2 da marca *Hi-target*, modelo V30, com capacidade de rastreamento de satélites GPS e GLONASS. Para o pós-processamento dos dados obtidos foi utilizado o *software GNSS Solutions* versão 3.10.07.

Para tanto tornou-se necessária a utilização de uma estação de referência (base), a partir de marcos de concreto pré-existentes, localizados e distribuídos ao longo da rodovia, com o objetivo de fornecer referencial geodésico unívoco, fixo e relativamente estável no tempo.

As coordenadas dos PCT foram determinadas a partir do posicionamento relativo estático, de forma a ser possível garantir resultados necessários ao processamento das imagens, utilizando como *rover* um receptor com tempo de rastreamento de seis minutos (Figura 13).



Figura 13 – GNSS Rover coletando dados para PCT em locais com posicionamento claro nas imagens aéreas.

O total de 156 PCT, coletados conforme Figura 13, serviram de referência para avaliação dos ortomosaicos desenvolvidos durante o processamento dos dados aerofotogramétricos. Apresentando erros posicionais conforme segue na Figura 14.

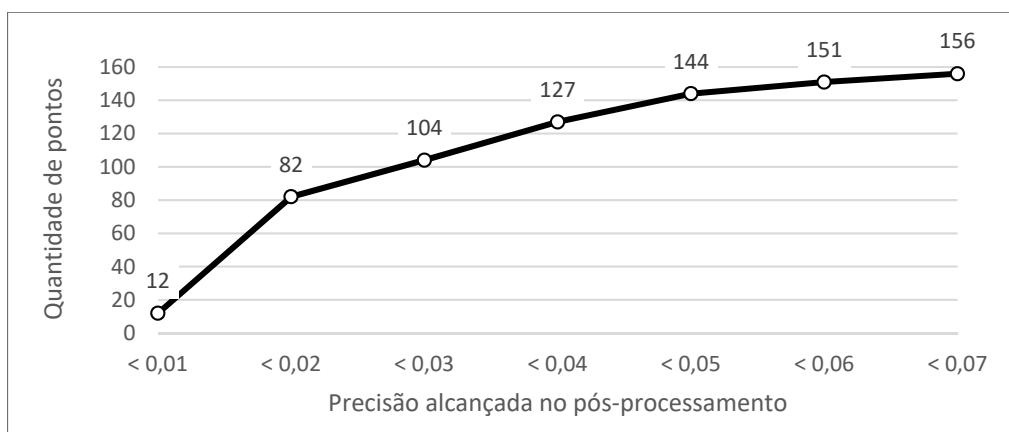


Figura 14 – Precisão dos dados coletados para os PCT, desenvolvidos pelo método GNSS pós-processados.

Analisando a Figura 14, observa-se que o levantamento por GNSS apresentou níveis de precisão bastante satisfatórios, visto que o erro posicional absoluto máximo foi menor que 7 cm em todos os pontos coletados, e de 2 cm em pelo menos 50% dos pontos coletados.

### 3.2 VANT

Dentre as opções de plataformas aéreas disponíveis, optou-se pelo modelo apresentado na Figura 15, com o intuito de simplificar o processo de regulamentação e operacionalização, como também de minimizar os custos operacionais.



Figura 15 - Drone DJI Phantom P4 Pro, padronizado conforme regulamentação do DECEA.

Como pode-se observar na Figura 15, a aeronave utilizada é de asa rotativa, desenvolvido pela empresa DJI, modelo *Phantom4 Pro*, classificado como RPA Classe 3. Suas principais características são: envergadura de 35 cm, alcançando velocidade de cruzeiro de 10

km/h, com peso total de 1,38 kg, com capacidade de operar a uma distância de até 5 km da base, utilizando bateria de LiPo de 4 células, 15,2 V e 5.350mAh, com autonomia de 20 minutos de voo, tempo suficiente para recobrir até 20 ha por voo, voando a 120 m de altura e recobrimento longitudinal e lateral das fotos em 80%.

Para captura das imagens o *Phantom4 Pro* é equipado com uma câmera digital de pequeno formato não métrica OEM, de 12,4 Mpx (4000 x 3000 pixels), sensor CMOS de 1/2,3", distância focal de 20 mm e abertura f/2,8, com estabilização óptica, velocidade de obturação máxima de 1/8000 s, com cartão de memória de 32 Gb.

A metodologia utilizada na aquisição e processamento dos dados, foi dividida em três etapas e baseou-se em Silva, Souza *et al.* (2014):

### 3.2.1 Etapa 1: Planejamento do voo

A etapa de planejamento de voo envolveu a definição da área a ser sobrevoada, e em seguida verificação das condições necessárias para realização do voo, que consistiu na previsão meteorológica para o dia de execução do voo, definição do horário de realização do voo com objetivo de minimizar a existência de sombras (janela de voo) e requerimento de autorização de voo ao DECEA.

Com todas as condições de voo garantidas, passou a ser desenvolvido o plano voo (Figura 16) a ser executado pelo piloto automático do VANT, com base nos seguintes dados de entrada: Altitude de voo = 100 m; Recobrimento lateral = 80%; Recobrimento frontal = 80%; Direção de voo longitudinal em relação à área.

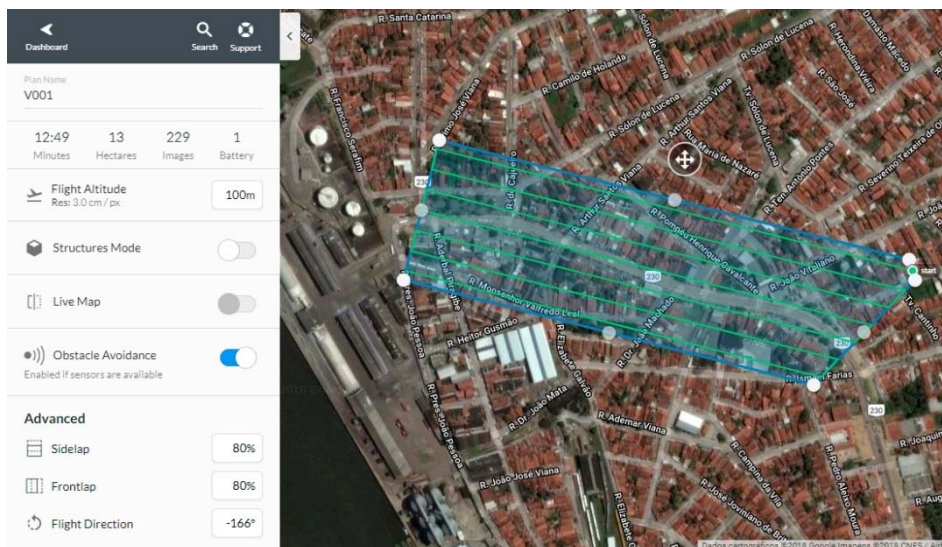


Figura 16 – Planejamento do voo no *software* de controle da aeronave.

Em seguida foram avaliados os locais considerados como Pontos de Controle de Terra, os quais foram identificados nas fotografias aéreas.

### 3.2.2 Etapa 2: Execução do voo

Esta etapa foi iniciada a cada voo, a partir da checagem dos equipamentos tais como bateria, cartão de memória, comunicação da estação de controle com a aeronave, e na hipótese de detecção de algum problema que inviabilizasse o levantamento, por medida de segurança, a operação era cancelada.

Após esta verificação, iniciava-se o aplicativo de controle da aeronave, fazendo checagem de voo e decolagem automática, passando a executar o plano de voo elaborado na etapa anterior. Vale salientar que durante esta fase o VANT opera de forma automática, mas não autônoma, sendo possível a intervenção do operador a qualquer momento. Toda a operação do VANT era controlada pela estação de solo, a qual recebia em tempo real o vídeo da câmera da aeronave e os dados de telemetria (altitude, velocidade, localização e carga da bateria).

Após executar o plano de voo a aeronave retorna a base e realiza o pouso automático, mas é recomendável que o piloto assuma o comando e realize o pouso manualmente por segurança. Sendo realizados todos os voos, foram observados os dados de execução dos voos, conforme descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos voos realizados.

Característica	Valores médios observados
Resolução espacial (GSD)	0,02 m
Velocidade média	10 km/h
Área média	15,4 ha
Distância percorrida média	5,67 km
Número de linhas (faixas)	07
Número médio de fotografias	221

### 3.2.3 Etapa 3: Pós voo

Após a finalização do voo, tornou-se necessário avaliar se a trilha de voo foi gravada sem interrupções, bem como verificar se durante o voo, devido ao vento, o VANT não se distanciou demasiadamente da linha planejada, causando perda no recobrimento lateral das fotografias. Com a aquisição de todos os dados, fez-se necessário gerenciar os dados obtidos de modo criterioso para garantir a integridade do resultado final.

### 3.3 Processamento dos dados

A partir das imagens coletadas, iniciou-se a fase de processamento. Para tanto foram utilizados 03 computadores (Processador Intel i5 2,2GHz, Memória RAM 12Gb, Placa de vídeo dedicada 2Gb) e *software Agisoft PhotoScan Professional* versão 1.4.1.5925, em um fluxo de trabalho composto pelo alinhamento das câmeras, cadastro dos PCT, densificação da nuvem de pontos, criação dos MDE, e por fim criação dos ortomosaicos.

A Tabela 4 descreve o resumo dos dados obtidos nessa etapa, em todos os voos processados.

Tabela 4 – Resumo do processamento dos blocos fotogramétricos.

<b>Ortomosaico</b>	<b>Quant. de Imagens</b>	<b>Quant. de PCT</b>	<b>Tempo total de processamento</b>
V001	171	06	9h09min
V002	203	06	8h56min
V003	216	05	7h57min
V004	199	06	4h23min
V005	202	06	9h25min
V006	204	08	13h05min
V007	235	06	11h40min
V008	236	06	10h09min
V009	226	06	6h23min
V010	220	05	10h00min
V011	225	08	6h07min
V012	206	07	5h15min
V013	225	06	8h34min
V014	226	06	8h34min
V015	221	06	9h40min
V016	224	05	4h23min
V017	220	06	4h28min
V018	212	06	10h24min
V019	228	07	6h00min
V020	255	06	14h17min
V021	221	06	8h21min
V022	224	06	4h12min
V023	239	06	3h34min
V024	211	06	2h33min
V025	241	06	11h17min
V026	235	06	3h26min
V027	239	05	6h17min
V028	229	05	8h01min

A partir da Tabela 4, foram levantadas uma média de 221 imagens com um tempo de processamento médio de 7 horas e 43 minutos por voo.

## 4 RESULTADOS

O voo que apresentou um maior erro planimétrico foi o voo V028, o qual apresentou 12,27 cm de acurácia posicional. Para tanto foram consideradas as coordenadas encontradas, tanto nos 06 Pontos de controle em Terra (PCT) georreferenciados, quanto no ortomosaico, para as mesmas feições observadas pelo GNSS, conforme apresentado pela Figura 17.

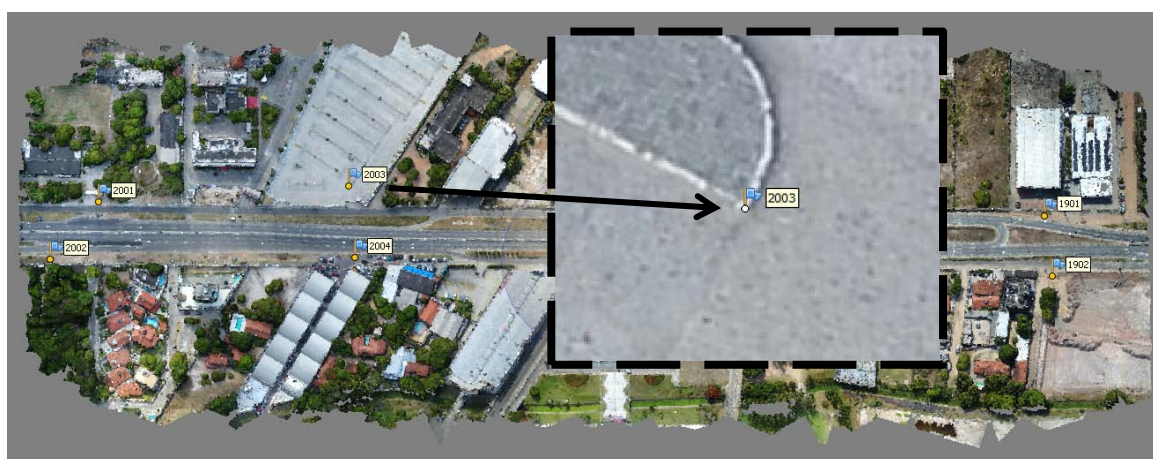


Figura 17 – Detalhe do posicionamento dos PCT no Ortomosaico do voo V020.

De acordo com a Figura 17, o posicionamento dos PCT nas imagens ortorretificadas permite que sejam comparadas as coordenadas encontradas no ortomosaico, com as coordenadas do levantamento por GNSS.

A partir dessas coordenadas, foram calculadas as discrepâncias e os dados foram tabulados para todos os voos (APÊNDICE A). A Tabela 5 apresenta o relatório de cálculo para o voo V028.

Tabela 5 – Relatório de cálculo da precisão a partir das discrepâncias para V028.

Voo	PCT	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta xy$	$\overline{\Delta xy}$	$S_{\Delta xy}$
V028	2701	-10.117	-6.347	11.94	12.27	1.59
	2801	-8.041	-11.071	13.68		
	2802A	-5.023	-8.408	9.79		
	2803	5.200	-11.100	12.26		
	2804	14.867	12.765	19.60		

Como pode-se observar na Tabela 5, as discrepâncias comparadas nos 04 PCT levantados para o V028, permitiu avaliar a média das discrepâncias planimétricas ( $\overline{\Delta xy}$ ) que foi

de 12,27 cm e o desvio padrão ( $S_{\Delta xy}$ ) em 1,59 cm, de forma a definir a precisão planimétrica a partir desses dados.

A Figura 18 apresenta o resultado das médias das discrepâncias e desvio padrão entre os PCT, calculado para cada um dos voos processados.

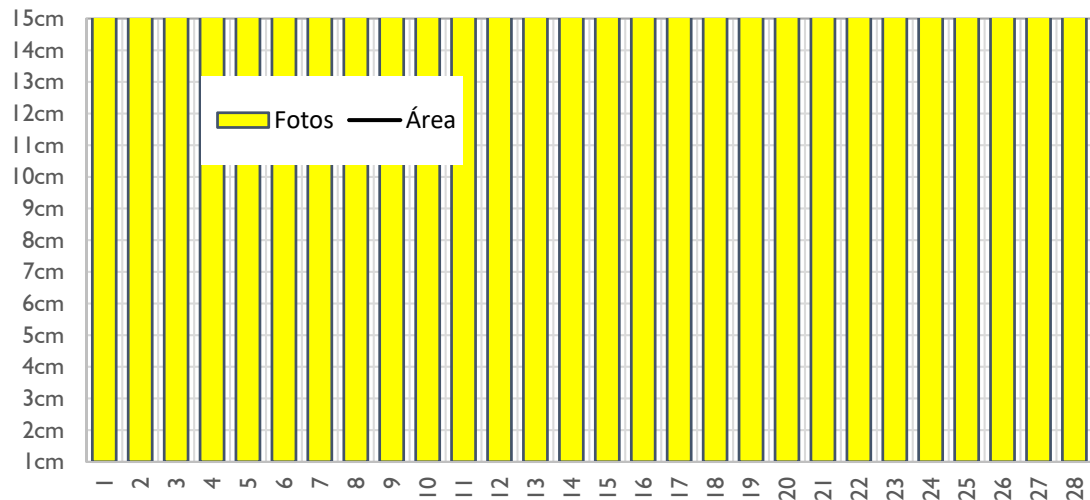


Figura 18 – Acurácia planimétrica calculada a partir da média das discrepâncias e desvio padrão em todos ortomosaicos processados.

Avaliando a Figura 18, pode-se observar que os voos V014 e V024 obtiveram o menor erro planimétrico, obtendo 3,9 cm de discrepância média no plano “xy”. Além disso, comparando os resultados alcançados, a média de acurácia entre todos voos processados foi de 7,4 cm.

É possível avaliar ainda que os resultados, quando tabulados em ordem de precisão, apresentaram distribuição uniforme entre as discrepâncias médias e o desvio padrão regular, variando entre 1,5 e 6,0 cm.

Seguindo as recomendações da PEC-PCD, os resultados garantem que todos os ortomosaicos desenvolvidos, podem ser apresentados como base de dados para cartas topográficas em escala de 1:500, o qual exige 14 cm de acurácia planimétrica.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de uma tecnologia pouco utilizada, ainda não existem metodologias padronizadas para os processos de aerofotogrametria com VANT. Durante a pesquisa, a metodologia utilizada se mostrou eficiente, mesmo apresentando algumas dificuldades durante seu planejamento, as quais devem ser evitadas em trabalhos desse tipo.

Por se tratar de uma área com dimensões desproporcionais (28 km de extensão e 200 m largura), a definição dos planos de voo exigiu um particionamento fracionado de modo a diminuir a desproporcionalidade nas áreas de execução dos voos e adaptação ao modelo de aeronave escolhida, pois, por se tratar de um equipamento gerenciado por sinal de rádio, a quantidade de sinais similares transmitidos em regiões urbanizadas pode prejudicar a comunicação.

Além disso, a distribuição dos pontos de controle (PCT) foi revisada em algumas situações para garantir que fossem visíveis nas imagens aéreas e, assim serem bem avaliadas pela comparação com as coordenadas do levantamento com GNSS.

Apesar de todas as dificuldades encontradas, o potencial de utilização da plataforma VANT na obtenção de ortomosaicos foi evidente. Ressaltando ainda que em toda a área recoberta pelo aerolevanteamento é possível determinar as coordenadas tridimensionais de qualquer ponto, gerando feições cadastrais como edificações, faixa de rolamento da rodovia, infraestrutura existente, etc.

De acordo com as precisões alcançadas pelos produtos gerados a partir de um levantamento aerofotogramétrico com plataforma VANT, a norma PEC-PCD define que os dados possam ser utilizados em cartas topográficas na escala 1:500. Tal nível de acurácia permite sua utilização na obra de ampliação da rodovia BR-230, conforme a meta proposta inicialmente. E ainda mais, os resultados possibilitam que outros levantamentos aerofotogramétricos como esse possam fornecer material de qualidade para fins cadastrais, como cartas municipais utilizadas em gestão urbana ou levantamentos de áreas extensas, com agilidade e eficiência.

Recomenda-se, assim, que futuros trabalhos sejam focados na comparação das variáveis envolvidas no processo em relação aos resultados alcançados. Torna-se importante avaliar como o aumento de PCT ou sua distribuição pode influenciar na acurácia dos ortomosaicos; ou ainda como os elementos de produtividade durante o processo influenciam na qualidade posicional, como o recobrimento das imagens aéreas ou a velocidade da aeronave durante o voo.

A carência de informações pode ser superada pelo uso de novas tecnologias, as quais vem sendo inseridas nos levantamentos topográficos. A padronização das regulamentações e processos em aerofotogrametria com VANT e as análises sobre as metodologias voltadas ao desempenho destes equipamentos, começam a ganhar a empatia de técnicos e acadêmicos. Dar o primeiro passo em direção a assimilação dessa tecnologia foi bastante gratificante.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGISOFT LLC. **Suporte de uso do software Agisoft PhotoScan**. St. Petersburg: [s.n.], 2006.
- ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise dos produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais do estado de goiás**. Goiânia: UFG, 2015.
- ASSIS, R. R. D. **Utilização de imagens orbitais e aéreas no estudo da ocupação e planejamento urbano**. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2001.
- BRASIL. Lei n. 5.917. **Plano Nacional de Viação**, Brasília, 10 set 1973.
- BRASIL. Decreto n.º 89.817. **Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**, 20 junho 1984.
- CASACA, J. M.; MATOS, J. L. D.; DIAS, M. B. **Topografia geral**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- COBO, A.; PAVAN, A. J. Mapeamento do Brasil: Empresas x Governo. **InfoGEO**, 2000.
- COELHO FILHO, L. C. T.; BRITO, J. L. N. E. S. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: UERJ, 2007.
- DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Curitiba: UFPR, 2002.
- DECEA. **ICA 100-40: Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. Brasília: Ministério da defesa, 2016.
- DSG. **Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais (ET-ADGV)**. 2ª. ed. Brasília – DF: Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia, 2011.
- KIRNER, C.; TORI, R. **Realidade virtual: conceitos e tendências**. São Paulo. 2004.
- LEE, S. H. **Projeto Geométrico de Estradas**. Florianópolis: UFSC, 2000.
- MALARD, M. L. **Princípios teóricos da estereoscopia**. Belo Horizonte - MG: Escola de Arquitetura da UFMG, 2008.
- MONICO, J. F. G. et al. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, 2009. ISSN 1982-2170.
- MUNARETTO, L. **VANT e DRONES**. São Paulo. 2015.
- NETO, M. S. Droneng: drones e engenharia. **Curso de mapeamento aéreo express**, 2017. Disponível em: <<https://cursos.droneng.com.br/curso/mapeamento-aereo-express/>>. Acesso em: 12 jan 2018.
- OLIVEIRA, J. Jornal da Paraíba. **Moradores de Cabedelo protestam contra obra da 3ª faixa da BR-230**, 2017. Disponível em: <[http://www.jornaldaparaiba.com.br/vida\\_urbana/moradores-de-cabedelo-protestam-contra-obra-da-3a-faixa-da-br-230.html](http://www.jornaldaparaiba.com.br/vida_urbana/moradores-de-cabedelo-protestam-contra-obra-da-3a-faixa-da-br-230.html)>. Acesso em: 17 jan 2018.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. Diálogos Setoriais União Européia - Brasil. Brasília - DF, p. 92. 2016.

RODRIGUES, D. D.; GONÇALVES, R. P. **Topografia. Planimetria para engenheiros, agrimensores e cartógrafos**. Viçosa: UFV, 2010.

SILVA, G. G. D. et al. **Veículos aéreos não tripulados com visão computacional na agricultura: aplicações, desafios e perspectivas**. Ponta Porã: 2º Seminário Internacional de Integração e Desenvolvimento Regional, 2014.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SOPCHAKI, C. H.; PAZ, O. L. D. S. D.; GRAÇ, N. L. S. D. S. Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. **RAOEGA: O espaço geográfico em análise**, Curitiba, v. 43, p. 200 - 214, Fev 2018. ISSN eISSN: 2177-2738.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry with Application in GIS**. 3ª. ed. USA: McGraw-Hill, 2004.

ZANETTI, J. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT**. Viçosa: UFV, 2017.

**APÊNDICE A – RELATÓRIO DE CÁLCULO DO PROCESSAMENTO  
AEROFOTOGRAMÉTRICO DE TODOS VOOS EXECUTADOS**

Voo	PCT	xR	yR	x0	y0	$\Delta x$ (cm)	$\Delta y$ (cm)	$\Delta xy$	$\overline{\Delta xy}$	$S_{\Delta xy}$
1	0101	296984.093	9229086.056	296984.124	9229086.006	3.109	-4.976	5.87	6.64	3.18
	0102	296982.363	9228997.274	296982.404	9228997.266	4.117	-0.751	4.19		
	0103	297234.145	9228899.294	297234.116	9228899.306	-2.909	1.210	3.15		
	0104	297353.483	9228993.623	297353.439	9228993.702	-4.414	7.877	9.03		
	0105	297482.802	9228891.936	297482.792	9228891.878	-0.973	-5.841	5.92		
	0106	297513.899	9228930.625	297513.827	9228930.717	-7.226	9.200	11.70		
2	0105	297482.802	9228891.936	297482.917	9228891.897	11.547	-3.907	12.19	10.06	2.09
	0106	297513.899	9228930.625	297513.966	9228930.695	6.669	6.956	9.64		
	0201	297600.221	9228568.135	297600.115	9228568.191	-10.575	5.555	11.95		
	0203	297687.571	9228249.298	297687.605	9228249.360	3.427	6.195	7.08		
	0204	297814.532	9228238.499	297814.614	9228238.452	8.184	-4.686	9.43		
3	0203	297687.571	9228249.298	297687.570	9228249.299	-0.078	0.090	0.12	5.12	4.27
	0204	297814.532	9228238.499	297814.533	9228238.408	0.147	-9.136	9.14		
	0301	297791.284	9227815.618	297791.281	9227815.731	-0.290	11.258	11.26		
	0302	297923.051	9227962.242	297923.030	9227962.211	-2.149	-3.148	3.81		
	0303	297957.016	9227482.084	297957.032	9227482.073	1.565	-1.135	1.93		
	0304	297957.016	9227482.084	297957.058	9227482.069	4.217	-1.502	4.48		

4	0401	297912.645	9227495.010	297912.741	9227494.918	9.612	-9.211	13.31	11.73	4.17
	0402	297998.588	9227177.043	297998.549	9227177.068	-3.910	2.494	4.64		
	0403	297974.052	9227187.368	297973.926	9227187.396	-12.631	2.808	12.94		
	0404	298098.401	9226771.373	298098.379	9226771.254	-2.241	-11.902	12.11		
	0501	297986.370	9226751.482	297986.490	9226751.582	12.028	9.981	15.63		
5	0404	298098.401	9226771.373	298098.389	9226771.326	-1.234	-4.680	4.84	4.92	4.91
	0501	297986.370	9226751.482	297986.359	9226751.506	-1.106	2.370	2.62		
	0503	298052.958	9226450.655	298052.972	9226450.685	1.404	3.049	3.36		
	0504	298005.532	9226086.615	298005.529	9226086.610	-0.290	-0.461	0.54		
	0505	298062.007	9226080.155	298061.875	9226080.148	-13.233	-0.657	13.25		
6	0504	298005.532	9226086.615	298005.532	9226086.567	-0.017	-4.803	4.80	4.13	1.68
	0505	298062.007	9226080.155	298061.975	9226080.148	-3.233	-0.657	3.30		
	0601	298078.100	9226009.747	298078.117	9226009.803	1.671	5.625	5.87		
	0602	297922.112	9225979.332	297922.160	9225979.309	4.762	-2.284	5.28		
	0603	297955.895	9225416.881	297955.886	9225416.879	-0.877	-0.228	0.91		
	0605	297967.819	9225577.177	297967.772	9225577.157	-4.674	-1.977	5.07		
	0606	298094.704	9225619.969	298094.729	9225619.996	2.475	2.702	3.66		
7	0603	297955.895	9225416.881	297955.780	9225416.862	-11.483	-1.879	11.64	9.79	2.89
	0604	298022.544	9225364.525	298022.593	9225364.517	4.888	-0.828	4.96		
	0701	297664.947	9224696.016	297665.046	9224696.042	9.933	2.638	10.28		
	0702	297749.428	9224663.039	297749.435	9224663.117	0.667	7.800	7.83		
	0703	297775.127	9225095.436	297775.015	9225095.426	-11.244	-1.049	11.29		

	0704	297939.971	9225087.020	297939.871	9225087.099	-9.986	7.893	12.73		
8	0701	297664.947	9224696.016	297664.956	9224696.071	0.854	5.495	5.56	5.65	3.50
	0702	297749.428	9224663.039	297749.422	9224663.160	-0.638	12.135	12.15		
	0801	297353.009	9224045.366	297353.002	9224045.346	-0.668	-1.958	2.07		
	0802	297430.899	9224024.313	297430.889	9224024.344	-1.007	3.052	3.21		
	0803	297546.612	9224477.214	297546.584	9224477.166	-2.751	-4.790	5.52		
	0804	297643.260	9224428.781	297643.299	9224428.817	3.947	3.650	5.38		
9	0801	297353.009	9224045.366	297353.005	9224045.329	-0.402	-3.724	3.75	8.11	2.93
	0802	297430.899	9224024.313	297430.841	9224024.339	-5.764	2.572	6.31		
	0901	297053.161	9223350.741	297053.049	9223350.769	-11.182	2.828	11.53		
	0902	297141.276	9223311.350	297141.321	9223311.403	4.521	5.258	6.93		
	0903	297062.968	9223543.185	297063.065	9223543.159	9.749	-2.615	10.09		
	0904	297234.687	9223553.340	297234.785	9223553.320	9.845	-1.951	10.04		
10	0901	297053.161	9223350.741	297053.111	9223350.715	-5.012	-2.637	5.66	5.10	1.69
	0902	297141.276	9223311.350	297141.332	9223311.363	5.610	1.272	5.75		
	1001	296691.274	9222681.903	296691.264	9222681.925	-0.978	2.151	2.36		
	1002	296797.387	9222639.375	296797.407	9222639.406	2.021	3.124	3.72		
	1003	296949.032	9222958.672	296949.009	9222958.736	-2.276	6.354	6.75		
	1004	296897.277	9223007.849	296897.219	9223007.875	-5.777	2.582	6.33		
11	1001	296691.274	9222681.903	296691.258	9222681.939	-1.580	3.624	3.95	6.03	2.56
	1002	296797.387	9222639.375	296797.352	9222639.353	-3.456	-2.173	4.08		
	1101	296409.700	9221972.053	296409.663	9221972.024	-3.687	-2.890	4.68		

	1102	296531.831	9221934.301	296531.895	9221934.354	6.380	5.283	8.28		
	1103	296533.430	9222320.488	296533.445	9222320.440	1.541	-4.824	5.06		
	1104	296661.763	9222260.325	296661.676	9222260.377	-8.725	5.172	10.14		
12	1101	296409.700	9221972.053	296409.631	9221971.981	-6.858	-7.225	9.96	4.34	3.35
	1102	296531.831	9221934.301	296531.873	9221934.279	4.206	-2.217	4.75		
	1201	296110.197	9221265.033	296110.205	9221265.010	0.762	-2.285	2.41		
	1202	296209.321	9221247.306	296209.332	9221247.310	1.108	0.403	1.18		
	1203	296198.126	9221495.541	296198.120	9221495.526	-0.602	-1.490	1.61		
	1204	296361.365	9221592.171	296361.313	9221592.138	-5.169	-3.270	6.12		
13	1201	296110.197	9221265.033	296110.230	9221264.987	3.266	-4.589	5.63	7.37	3.13
	1202	296209.321	9221247.306	296209.342	9221247.322	2.077	1.568	2.60		
	1301	295793.823	9220546.107	295793.899	9220546.126	7.577	1.851	7.80		
	1302	295870.430	9220558.799	295870.478	9220558.750	4.810	-4.925	6.88		
	1303	295974.859	9220933.662	295974.782	9220933.723	-7.668	6.127	9.82		
	1304	296062.654	9220886.895	296062.566	9220886.822	-8.847	-7.290	11.46		
14	1301	295793.823	9220546.107	295793.758	9220546.074	-6.530	-3.289	7.31	3.87	2.11
	1302	295870.430	9220558.799	295870.469	9220558.778	3.896	-2.144	4.45		
	1401	295582.419	9219803.237	295582.446	9219803.200	2.698	-3.671	4.56		
	1402	295639.142	9219816.309	295639.117	9219816.331	-2.505	2.188	3.33		
	1403	295634.717	9220239.278	295634.705	9220239.278	-1.234	0.050	1.24		
	1404	295687.128	9220184.186	295687.149	9220184.197	2.085	1.092	2.35		
15	1401	295582.419	9219803.237	295582.465	9219803.157	4.570	-8.029	9.24	9.12	3.94

	1402	295639.142	9219816.309	295639.159	9219816.325	1.677	1.625	2.34		
	1501	295593.510	9219144.489	295593.402	9219144.412	-10.840	-7.693	13.29		
	1502	295652.085	9219109.820	295652.177	9219109.876	9.235	5.578	10.79		
	1503	295577.430	9219354.654	295577.315	9219354.682	-11.524	2.770	11.85		
	1504	295608.514	9219236.705	295608.575	9219236.744	6.056	3.883	7.19		
16	1501	295593.510	9219144.489	295593.569	9219144.355	5.937	-13.390	14.65	7.72	4.19
	1502	295652.085	9219109.820	295652.030	9219109.835	-5.464	1.499	5.67		
	1601	295658.020	9218263.605	295658.090	9218263.637	7.033	3.193	7.72		
	1602	295683.697	9218281.502	295683.629	9218281.520	-6.804	1.785	7.03		
	1603	295627.012	9218622.614	295626.977	9218622.608	-3.464	-0.594	3.51		
17	1601	295658.020	9218263.605	295658.004	9218263.547	-1.554	-5.760	5.97	5.77	4.20
	1602	295683.697	9218281.502	295683.577	9218281.449	-12.045	-5.341	13.18		
	1701	295711.413	9217532.992	295711.419	9217532.963	0.594	-2.908	2.97		
	1702	295740.077	9217534.703	295740.058	9217534.775	-1.943	7.221	7.48		
	1703	295636.865	9217961.152	295636.851	9217961.144	-1.447	-0.808	1.66		
	1704	295734.014	9217948.140	295734.047	9217948.133	3.300	-0.659	3.37		
18	1701	295711.413	9217532.992	295711.405	9217532.938	-0.754	-5.406	5.46	10.70	5.01
	1702	295740.077	9217534.703	295740.019	9217534.719	-5.815	1.583	6.03		
	1801	295754.352	9216718.506	295754.296	9216718.613	-5.568	10.654	12.02		
	1802	295805.616	9216682.608	295805.492	9216682.736	-12.358	12.822	17.81		
	1803	295754.833	9217007.781	295754.961	9217007.706	12.777	-7.511	14.82		
	1804	295793.060	9217012.305	295793.125	9217012.353	6.544	4.757	8.09		

19	1801	295754.352	9216718.506	295754.353	9216718.533	0.126	2.736	2.74	5.65	3.76
	1802	295805.616	9216682.608	295805.649	9216682.607	3.302	-0.095	3.30		
	1901	295807.375	9216117.099	295807.418	9216117.096	4.263	-0.342	4.28		
	1902	295861.311	9216129.221	295861.320	9216129.257	0.892	3.624	3.73		
	1903	295788.998	9216333.579	295788.943	9216333.531	-5.455	-4.772	7.25		
	1904	295845.999	9216278.681	295845.898	9216278.606	-10.125	-7.534	12.62		
20	1901	295807.375	9216117.099	295807.329	9216117.157	-4.643	5.805	7.43	10.44	6.14
	1902	295861.311	9216129.221	295861.323	9216129.194	1.219	-2.687	2.95		
	2001	295865.852	9215258.822	295865.719	9215258.872	-13.285	5.041	14.21		
	2002	295921.073	9215219.615	295921.095	9215219.657	2.210	4.215	4.76		
	2003	295832.628	9215484.683	295832.523	9215484.817	-10.529	13.391	17.03		
	2004	295896.797	9215495.466	295896.889	9215495.333	9.233	-13.341	16.22		
21	2001	295865.902	9215258.822	295865.774	9215258.857	-12.780	3.548	13.26	7.51	3.34
	2002	295921.073	9215219.615	295921.094	9215219.646	2.060	3.079	3.70		
	2101	295934.512	9214600.874	295934.562	9214600.874	4.989	-0.043	4.99		
	2102	295986.418	9214634.580	295986.345	9214634.591	-7.285	1.130	7.37		
	2103	295882.333	9214956.163	295882.398	9214956.139	6.504	-2.446	6.95		
	2104	295948.485	9215010.398	295948.399	9215010.379	-8.557	-1.949	8.78		
22	2101	295934.512	9214600.874	295934.577	9214600.844	6.480	-3.006	7.14	8.99	2.56
	2102	295986.418	9214634.580	295986.333	9214634.598	-8.522	1.849	8.72		
	2201	296244.219	9214152.108	296244.082	9214152.089	-13.661	-1.868	13.79		
	2202	296336.979	9214162.687	296337.038	9214162.726	5.873	3.949	7.08		

	2203	296164.358	9214313.681	296164.414	9214313.631	5.613	-5.048	7.55		
	2204	296264.232	9214289.707	296264.327	9214289.722	9.546	1.487	9.66		
23	2201	296244.219	9214152.108	296244.155	9214152.139	-6.398	3.097	7.11	8.17	1.53
	2202	296336.979	9214162.687	296337.030	9214162.620	5.099	-6.692	8.41		
	2301	296436.646	9213411.540	296436.598	9213411.601	-4.817	6.054	7.74		
	2302	296520.718	9213477.959	296520.762	9213477.908	4.435	-5.125	6.78		
	2303	296375.158	9213858.865	296375.178	9213858.974	2.006	10.877	11.06		
	2304	296404.705	9213944.524	296404.781	9213944.504	7.648	-2.041	7.92		
24	2301	296436.655	9213411.544	296436.640	9213411.548	-1.549	0.421	1.60	3.91	3.09
	2302	296520.698	9213477.961	296520.788	9213477.941	9.036	-1.960	9.25		
	2401	296433.718	9212913.538	296433.739	9212913.539	2.076	0.107	2.08		
	2402	296570.465	9212838.543	296570.453	9212838.535	-1.235	-0.781	1.46		
	2403	296537.755	9213085.504	296537.726	9213085.516	-2.900	1.239	3.15		
	2404	296610.230	9213091.379	296610.221	9213091.438	-0.851	5.861	5.92		
25	2401	296433.718	9212913.538	296433.736	9212913.538	1.812	-0.018	1.81	9.83	6.14
	2402	296570.465	9212838.543	296570.403	9212838.424	-6.182	-11.936	13.44		
	2501	296194.410	9212331.641	296194.410	9212331.735	-0.019	9.443	9.44		
	2502	296283.350	9212322.768	296283.477	9212322.797	12.748	2.937	13.08		
	2503	296269.340	9212738.415	296269.221	9212738.545	-11.903	13.006	17.63		
	2504	296382.238	9212705.733	296382.263	9212705.708	2.525	-2.483	3.54		
26	2501	296194.410	9212331.641	296194.318	9212331.702	-9.243	6.080	11.06	7.03	5.14
	2502	296283.350	9212322.768	296283.452	9212322.680	10.163	-8.844	13.47		

	2601	296085.017	9211712.019	296085.055	9211712.008	3.812	-1.130	3.98		
	2602	296106.155	9211700.294	296106.155	9211700.294	0.000	0.000	0.00		
	2603	296199.516	9212054.891	296199.458	9212054.968	-5.761	7.658	9.58		
	2604	296295.955	9212051.252	296295.954	9212051.211	-0.058	-4.057	4.06		
27	2601	296085.017	9211712.019	296084.893	9211711.996	-12.408	-2.316	12.62	8.20	5.76
	2602	296106.155	9211700.294	296106.155	9211700.294	0.000	0.000	0.00		
	2701	295476.964	9211395.492	295476.924	9211395.476	-3.997	-1.555	4.29		
	2703	295813.222	9211620.167	295813.315	9211620.232	9.295	6.543	11.37		
	2704	295832.877	9211596.923	295833.003	9211596.907	12.612	-1.613	12.71		
28	2701	295476.964	9211395.492	295476.863	9211395.429	-10.117	-6.347	11.94	12.27	1.59
	2801	295185.999	9210785.331	295185.919	9210785.220	-8.041	-11.071	13.68		
	2802A	295232.285	9210755.927	295232.235	9210755.843	-5.023	-8.408	9.79		
	2803	295268.279	9211176.910	295268.331	9211176.799	5.200	-11.100	12.26		
	2804	295303.737	9211175.918	295303.886	9211176.046	14.867	12.765	19.60		

# APÊNDICE B - ORTOMOSAICO V001 RESULTANTE DO PROCESSAMENTO AEROFOTOGRAFÊMICO EM ESCALA 1/2000

9229200

9229200

9229000

9229000

9228800

9228800

297000

297200

297400

297600

0007000

0007200

0007400

0007600



Sistema de Coordenadas  
SIRGAS 2000 UTM Zone 25S

1:2.000



# APÊNDICE C – TRECHO DO ORTOMOSAICO V001 RESULTANTE DO PROCESSAMENTO AEROFOTOGRAFÊMICO EM ESCALA 1/500



Sistema de Coordenadas  
SIRGAS 2000 UTM Zone 25S

1:500

