
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

DANIEL QUINTINO SILVA

VIABILIDADE E ACURÁCIA DE VANT PARA O MONITORAMENTO COSTEIRO
TRIDIMENSIONAL



RECIFE

2018

DANIEL QUINTINO SILVA

**VIABILIDADE E ACURÁCIA DE VANT PARA O MONITORAMENTO COSTEIRO
TRIDIMENSIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves

RECIFE

2018

Catálogo na fonte

Bibliotecária: Neide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S586v Silva, Daniel Quintino.
Viabilidade e acurácia de VANT para o monitoramento costeiro tridimensional / Daniel Quintino Silva. – Recife, 2018.
95 folhas, il., figs., quads.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2018.

Inclui Referências, Apêndice e Anexos.

1. Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. 2. Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT. 3. Monitoramento costeiro. 4. Linha de Costa. 5. Modelo Digital de Terreno - MDT. I. Gonçalves, Rodrigo Mikosz (Orientador). II. Título.

526.1 CDD (22.ed)

UFPE/BCTG-2018 / 176

DANIEL QUINTINO SILVA

**VIABILIDADE E ACURÁCIA DE VANT PARA O MONITORAMENTO COSTEIRO
TRIDIMENSIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Área de concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves

Aprovado em: 15 / 03 / 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt (Examinador Externo)
Universidade Federal de Uberlândia

À minha família, namorada e amigos que me apoiaram até o fim
desta etapa.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Quintino e Maria Bernadete, por tudo.

À minha namorada, Isabelle Violet, a pessoa que mais me incentivou para que eu encarasse esse desafio e superasse minha insegurança, além de me aturar nos momentos mais tensos dessa caminhada.

À toda minha família e amigos em geral, pelos pequenos gestos que às vezes passam despercebidos, mas são fundamentais nos momentos mais difíceis.

Aos meus colegas e amigos de turma, pela amizade e por compartilharem os melhores e piores momentos nesta luta. Em especial Clerinho, 'nosso' Phablo e Anderssonnn, que foram verdadeiros parceiros neste período.

Ao meu orientador, Rodrigo Mikosz, que de forma brilhante me orientou e pacientemente me tranquilizou e me apoiou neste grande desafio, mesmo eu estando trabalhando longe de casa e do LACCOST no último ano do mestrado.

Aos membros das bancas, Simone Sato, Malu Aquino, Pedro Pereira e Marcio Schmidt, desde a qualificação até a defesa final contribuíram para fazer dessa dissertação a melhor possível.

A todos os docentes e profissionais de apoio do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, pelo aprendizado diário, tanto nas disciplinas quanto em simples conversas de corredor.

Ao meu irmão Diego Quintino e meu amigo Leonardo Malta, que foram cruciais ao me oferecerem a oportunidade de usar o VANT Batmap para realizar esta pesquisa. Sem eles este trabalho não teria ocorrido.

Ao CNPq pela bolsa oferecida no 1º ano do curso, que me deram tranquilidade para focar apenas nas atividades acadêmicas.

*"Se você não consegue ser feliz com poucas coisas,
não conseguirá ser feliz com muitas. "*

Pepe Mujica

RESUMO

O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) tem se tornado comum em pesquisas de diversas áreas, entretanto ainda são pouco utilizados para o mapeamento costeiro. A presente pesquisa visa avaliar o potencial do uso de um VANT para o mapeamento e monitoramento costeiro tridimensional, analisando dois elementos de extrema importância no ambiente costeiro: a posição espacial da linha de costa e o modelo digital do terreno (MDT). A ilha Coroa do Avião, localizada no município de Igarassu-PE é um banco de areia que permanece emerso durante todo o ciclo de marés e foi escolhida como área de estudo. Nela, foram realizados vários experimentos tendo como base produtos cartográficos gerados pelo VANT e por GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Entre eles encontram-se: ortofotomosaico, MDT, pontos de apoio fotogramétrico, posição da linha de costa e pontos de controle. Para analisar a viabilidade e acurácia dos dados espaciais gerados pelo VANT, foram realizadas análises da acurácia posicional absoluta dos produtos obtidos, tendo como referência a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais - ET-CQDG e o Padrão de Exatidão Cartográfica destinado a atender os Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), além do uso de estatísticas descritivas (média aritmética, valor máximo, mínimo, variância e desvio padrão). Os resultados encontrados indicam que o ortofotomosaico gerado nesta pesquisa atende a Classe A do PEC-PCD para uma escala de 1:2.000 e que a linha de costa extraída a partir deste produto obtido pelo VANT possui uma variação média de 0,64m e desvio padrão de $(\pm)0,42\text{m}$ em relação a linha de costa obtida por GNSS a qual foi utilizada como referência para esta comparação de acurácia. Já o MDT gerado pelo VANT, atende a Classe A do PEC-PCD para uma escala de 1:10.000 e apresentou na comparação com a altitude das amostras de controle obtidas com o processamento GNSS uma variação média de 0,99m e desvio padrão de $(\pm)1,12\text{m}$. Os resultados encontrados nesta pesquisa indicam a viabilidade do uso de VANT para o mapeamento costeiro, especificamente para o monitoramento de pequenas áreas de estudo como foi caso da Coroa do Avião, sendo uma alternativa a ser considerada por gestores costeiros.

Palavras-chave: Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT. Monitoramento costeiro. Linha de costa. Modelo Digital de Terreno – MDT.

ABSTRACT

The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has become common in surveys of several areas, although they are still novelty for coastal mapping. The present research aims at evaluating the potential of the use of a UAV for three-dimensional coastal mapping and monitoring, analyzing two extremely important elements in the coastal zone: the spatial position of the shoreline and the digital terrain model (DTM). The Islet Coroa do Avião, located in the municipality of Igarassu-PE, is a sandbank that remains emerged throughout the tidal cycle and was chosen as study case. In it, several experiments were carried out based on cartographic products generated by UAV and by GNSS (Global Navigation Satellite System). These include: orthophotomosaic, DTM, photogrammetric points, shoreline position and control points. In order to analyze the viability and accuracy of the spatial data generated by the UAV, analyzes of the absolute positional accuracy of the obtained products were performed, with reference to the Technical Specification for Quality Control of Geospatial Data - ET-CQDG and the Cartographic Accuracy Standard the Digital Cartographic Products (PEC-PCD), as well as the use of descriptive statistics (arithmetic mean, maximum value, minimum, variance and standard deviation). The results indicate that the orthophotomosaic generated in this research meets the Class A of the PEC-PCD for a scale of 1: 2000 and that the shoreline extracted from this product obtained by the UAV has an average variation of 0.64m and standard deviation of (\pm) 0.42m in relation to the GNSS shoreline which was used as reference for this accuracy comparison. On the other hand, the MDT generated by the UAV, meets the Class A of the PEC-PCD for a scale of 1:10,000 and presented in comparison with the altitude of the control samples obtained with GNSS processing a mean variation of 0.99 m and standard deviation of (\pm) 1.12m. The results found in this research indicate the feasibility of the use of UAV for the coastal mapping, specifically for the monitoring of small areas such as Coroa do Avião, being an alternative to be considered by coastal managers.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle – UAV. Coastal monitoring. Shoreline. Digital Terrain Model – DTM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: TIPOS DE <i>DRONES</i> : (A) ASA FIXA E (B) MULTIRROTOR.....	19
FIGURA 2- TOPOGRAFIA X FOTOGRAMETRIA COM VANT	20
FIGURA 3: CONCEITO DE PIXEL	32
FIGURA 4: GSD	33
FIGURA 5: ESCALA DE UMA FOTOGRAFIA.....	34
FIGURA 6: ORTORRETIFICAÇÃO	36
FIGURA 7: PONTO DE CONTROLE E SUA VISUALIZAÇÃO NA IMAGEM	37
FIGURA 8: RECOBRIMENTO LONGITUDINAL E LATERAL	39
FIGURA 9: DIFERENÇA ENTRE MDS E MDT	41
FIGURA 10: MAPA DE LOCALIZAÇÃO.....	44
FIGURA 11: COROA DO AVIÃO	45
FIGURA 12: BATMAP – VANT UTILIZADO	46
FIGURA 13: RECEPTORES GNSS	47
FIGURA 14: FLUXOGRAMA METODOLÓGICO	49
FIGURA 15: ÁREA A SER COBERTA E FAIXAS DE VOO	52
FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS LEVANTADOS COM GNSS	54
FIGURA 17: SINALIZAÇÃO E VISUALIZAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO	55
FIGURA 18: ORTOFOTOMOSAICO.....	67
FIGURA 19: MODELO DIGITAL DE TERRENO	69
FIGURA 20: LINHAS DE COSTA – GNSS X ORTOFOTOMOSAICO	71
FIGURA 21: TRECHOS COM DIFERENÇA ENTRE AS LINHAS MENSURADAS ..	72
FIGURA 22: DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS E MDT	75
QUADRO 1: RESUMO DA REGULAMENTAÇÃO DA ANAC	23
QUADRO 2: ESTADO DA ARTE	29
QUADRO 3: ALTURA DO VOO X COBERTURA	47
QUADRO 4: COMPARAÇÃO DE ALTURA DO VOO.....	51
QUADRO 5: PARÂMETRO DE ALINHAMENTO X TAMANHO DA IMAGEM.....	58
QUADRO 6: VALORES DE ERRO MÉDIO (EM) E ERRO PADRÃO (EP), EM METROS, NA PLANIMETRIA E ALTIMETRIA.....	65
QUADRO 7: COORDENADAS PLANIMÉTRICAS DE REFERÊNCIA E HOMÓLOGAS FOTOIDENTIFICÁVEIS.....	68

QUADRO 8: ERROS DAS COORDENADAS PLANIMÉTRICAS.....	68
QUADRO 9: COORDENADAS ALTIMÉTRICAS E SEUS ERROS	70
QUADRO 10: DIFERENÇA ENTRE AS LINHAS DE COSTA	73
QUADRO 11: DIFERENÇA ENTRE COTAS: AMOSTRAS X MDT	76

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações
ASPRS - *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*
BNDO - Banco Nacional de Dados Oceanográficos
BVLOS - *Beyond Visual Line Of Sight*
CAVE - Certificado de Autorização para Voo Experimental
CSV - *Comma Separated Values*
DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DSG - Diretoria de Serviço Geográfico
EM – Erro Máximo
EMQ – Erro Médio Quadrático
EP – Erro Padrão
ET-ADGV - Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-CQDG - Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
GBAS - *Ground Based Augmentation System*
GNDVI – *Green Normalized Difference Vegetation Index*
GNSS – Global Navigation Satellite System
GPS – *Global Position System*
GSD - *Ground Sample Distance*
ICA – Instrução do Comando da Aeronáutica
ISO - *International Organization for Standardization*
INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais do Brasil
LC – Linha de Costa
LIDAR - *Light Detection and Ranging*
MDE - Modelo Digital de Elevação
MDT – Modelo Digital de Terreno
MDS – Modelo Digital de Superfície
MNT - Modelo Numérico de Terreno
NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR - *Near Infra-red*

OACI - Organização de Aviação Civil Internacional

PAP-PCD - Padrão de Acurácia e Precisão de Produtos Cartográficos Digitais

PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica

PEC-PCD - Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais

PNGC - Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

PPP - Posicionamento por Ponto Preciso

RBAC-E - Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial

RBHA - Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RMR – Região Metropolitana do Recife

RPA – *Remotely Piloted Aircraft*

RPAS - *Remotely Piloted Aircraft System*

RPASP - *Remotely Piloted Aircraft Systems Panel*

RTK - *Real Time Kinematic*

SARPAS – Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS)

SBAS - *Satellite Based Augmentation System*

SCN - Sistema Cartográfico Nacional

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SISANT – Sistema de aeronaves não tripuladas

UASSG - *Unmanned Aircraft Systems Study Group*

UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

VLOS - *Visual Line Of Sight*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3	VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO – VANT	18
1.3.1	Regulamentação	20
1.4	GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM - GNSS	24
1.5	MAPEAMENTO DE ZONAS COSTEIRAS	26
1.6	LINHA DE COSTA	29
1.7	MORFODINÂMICA PRAIAL	31
1.8	FOTOGRAMETRIA	31
1.8.1	Definição e conceitos básicos	31
1.8.2	Pixel, GSD e Escala	32
1.8.3	Orientação, aerotriangulação e ortorretificação	34
1.8.4	Pontos de apoio fotogramétrico	36
1.8.5	Restituição fotogramétrica, estereoscopia e sobreposição	38
1.8.6	Modelo Digital de Terreno – MDT	40
1.9	ACURÁCIA POSICIONAL	41
2	MATERIAIS E MÉTODOS	43
2.1	ÁREA DE ESTUDO	43
2.2	MATERIAIS	45
2.2.1	VANT	45
2.2.2	Receptores GNSS	47
2.2.3	Hardwares e Softwares	48
2.3	MÉTODOS	48
2.3.1	Planejamento de voo	49
2.3.1.1	Área de cobertura, altura do voo e tamanho do GSD	50
2.3.1.2	Escolha da data e horário para o voo	52
2.3.1.3	Cumprimento da legislação	53
2.3.2	Pontos de apoio e nuvem de pontos para MDT	53
2.3.3	Sinalização dos alvos	54
2.3.4	Levantamento da Linha de Costa com GNSS	56
2.3.5	Processamento dos pontos de apoio/pontos para o MDT	56

2.3.6	Processamento fotogramétrico	56
2.3.6.1	Alinhamento das fotos	57
2.3.6.2	Marcação dos Pontos de Controle.....	58
2.3.6.3	Alinhamento das Imagens (2ª etapa).....	59
2.3.6.4	Nuvem de Pontos Densa.....	59
2.3.6.5	Classificação da nuvem de pontos	60
2.3.6.6	Criação da Malha Triangular.....	60
2.3.6.7	Modelo Digital de Elevação - MDE	61
2.3.6.8	Geração do Ortofotomosaico.....	61
2.3.7	CrITÉrios de AvaliaÇão	62
2.3.7.1	Acurácia posicional – PEC-PCD	62
2.3.7.2	Estatísticas	65
3	RESULTADOS E ANÁLISES	67
3.1	ANÁLISE DA ACURÁCIA POSICIONAL DO ORTOFOTOMOSAICO	67
3.2	ANÁLISE DO MODELO DIGITAL DE TERRENO - MDT	68
3.3	ANÁLISE COMPARATIVA DA LINHA DE COSTA – VANT X GNSS	70
3.4	ANÁLISE COMPARATIVA ALTIMÉTRICA – MDT x GNSS	75
4	CONCLUSÕES	78
5	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A - AVALIAÇÃO DE RISCO OPERACIONAL	89
	ANEXO A - TÁBUA DAS MARÉS PORTO DE RECIFE	93
	ANEXO B - CADASTRO SISANT	94
	ANEXO C - AUTORIZAÇÃO DO VOO	95

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é uma zona de transição entre o mar e o continente que apresenta vários elementos possíveis de serem mapeados e monitorados, como a linha de costa, o perfil de praia, a vegetação, o modelo digital do terreno, a batimetria do oceano e rios adjacentes, entre outras. Monitorar a área costeira é vital para gestão do meio ambiente e faz parte do conjunto de tarefas e atividades que contribuem com o gerenciamento costeiro integrado (GONÇALVES et al. 2010). Mediante o monitoramento contínuo desses elementos, profissionais responsáveis por tomar decisões passam a ter melhores condições de analisar os agentes e fatores envolvidos no comportamento de uma zona costeira.

As principais técnicas utilizadas para o mapeamento costeiro são: aerofotogrametria, imagens de satélites artificiais, LIDAR (*Light Detection and Ranging*) e o posicionamento por GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). Cada uma destas técnicas apresentam uma respectiva precisão e acurácia. Por exemplo, o LIDAR pode efetuar levantamentos em áreas costeiras com precisão vertical de 8 a 15 cm em um conjunto de pontos espaçados em menos de 1 m, sem levar em conta os processos de extração e interpretação da linha de costa (GONÇALVES, 2010). As imagens de satélites artificiais considerados de alta resolução espacial como o exemplo do IKONOS possuem dois tipos de resoluções espaciais, 1 m pancromático e 4 m multiespectral, Li et al. (2001) utilizaram essas imagens para detectar a posição espacial da linha de costa avaliando os resultados de acurácia deste produto utilizando como valor de referência para essa comparação a linha de costa extraída por processos aerofotogramétricos convencionais, ou seja, câmera fotogramétrica adaptada a um avião. White & Asmar (1999) citam a importância de imagens de satélites consideradas de baixa resolução espacial com o caso do *Landsat Thematic Mapper* (30 m de resolução espacial) para o monitoramento e o cálculo de taxas de variação da linha de costa utilizadas para identificar mudanças no ambiente costeiro. Já no trabalho de Gonçalves & Awange (2017) o GNSS e seus métodos de posicionamento entre eles o RTK (*Real Time Kinematic*), PPP (*Precise Point Positioning*) e RC (Relativo Cinemático) são comparadas para verificar a viabilidade destes para o monitoramento costeiro da linha de costa servido de suporte para o gerenciamento costeiro integrado que entre suas atividades propõe o mapeamento e

monitoramento desta feição, entre os resultados destaca-se que o GNSS é capaz de fornecer tal mapeamento com uma precisão centimétrica.

Para Turner et al. (2016) os *drones* são uma novidade para o mapeamento costeiro que trazem praticidade e agilidade à execução das atividades costeiras, além de poderem ser utilizados para diferentes tipos de estudos, tais como análises de desastres naturais, vulnerabilidade costeira, mapeamento da linha de costa, geração de perfis, entre outros.

Os Veículos Aéreos Não Tripulados - VANTs utilizados para mapeamento além de possuir diversos elementos que os diferenciam, como câmeras, autonomia, peso, hélices ou asas, devem possuir sobretudo um sistema que garanta posicionamento e estabilidade apropriada na captura das imagens, além de armazenar dados de orientação para controle geométrico das imagens. A partir destas características e utilizando-se uma metodologia efetiva, os VANTs podem ser utilizados para mapeamento topográfico e temático, permitindo a geração de produtos cartográficos de grandes escalas.

Além da área costeira, o mapeamento com VANT tem sido utilizado para outras finalidades que podem ser exemplificadas em: Ridolfi & Manciola (2018) que utilizaram essa tecnologia para monitoramento e medição do nível de água em reservatórios; Zarco-Tejada et al. (2008) realizaram a detecção remota do estresse hídrico em um pomar cítrico utilizando VANTs com câmeras multiespectrais e térmicas; Lelong et al. (2008) utilizaram VANT na agricultura de precisão, estabelecendo uma relação genérica entre o índice de área foliar e NDVI, e a absorção de nitrogênio e GNDVI; Ferreira (2017) utilizou uma modelagem tridimensional gerada a partir de um VANT para validar a quantificação do volume vivo de pilhas de granéis e analisar melhorias na logística do transporte deste material.

Uma vez comprovada a capacidade de se realizar mapeamentos através de um VANT, a presente pesquisa visa contribuir para identificar o potencial do uso de VANTs para o mapeamento e monitoramento costeiro tridimensional considerando informações horizontais através da posição espacial da linha de costa bem como verticais com a extração do Modelo Digital do Terreno - MDT tendo como estudo de caso a Ilhota Coroa do Avião, localizada próximo à Ilha de Itamaracá, mas pertencente ao município de Igarassu, em Pernambuco.

Segundo Mendonça (2005), local passou a se manter emerso em todo o ciclo da maré a partir da década de 70, onde antes existia um banco de areia só emerso nas marés de sizígia.

O desafio desta pesquisa é verificar a qualidade cartográfica geométrica do mapeamento da linha de costa e do modelo digital do terreno obtidos pelo VANT, analisando desta forma se os mesmos atendem as necessidades para o monitoramento costeiro.

Esta verificação foi realizada através da análise da acurácia posicional dos produtos gerados, utilizando o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) como referência e comparando os dados obtidos pelo VANT com os dados obtidos através de levantamentos geodésicos GNSS. No mapeamento da linha de costa, a comparação foi realizada com a linha de costa obtida através do método relativo cinemático através do Posicionamento por Ponto Preciso - PPP. Para comparar as informações altimétricas obtidas pelo MDT gerado pelo VANT, foram utilizados receptores GNSS na coleta das coordenadas planialtimétricas de diversas amostras ao longo da superfície da praia.

A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos desta dissertação de mestrado.

1.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a viabilidade de um VANT para mapeamento em áreas costeiras, levando em consideração informações tridimensionais a respeito da linha de costa e modelo digital do terreno, considerando como estudo de caso a Coroa do Avião em Pernambuco.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar a acurácia posicional absoluta dos produtos obtidos pelo VANT: ortofotomosaico e MDT, utilizando como parâmetro o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).
- ✓ Obter a linha de costa vetorizada através de fotointerpretação a partir do ortofotomosaico gerado pelo VANT.

- ✓ Comparar a linha de costa vetorizada com a obtida em campo por GNSS utilizando a técnicas de Posicionamento por Ponto Preciso – PPP no modo cinemático, considerada como referência.
- ✓ Obter o Modelo Digital de Terreno - MDT produzido pelo VANT.
- ✓ Avaliar a qualidade do MDT a partir dos pontos com coordenadas planialtimétricas obtidas através do levantamento GNSS.

1.3 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO – VANT

O termo “*drone*” originado da língua inglesa e que em português significa zangão é um apelido para o equipamento que também pode ser chamado de Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT, devido ao barulho da (s) hélice (s) que se assemelha ao zumbido de um zangão. Este termo vem sendo utilizado comumente pelos usuários e pela imprensa para designar todo objeto voador não tripulado.

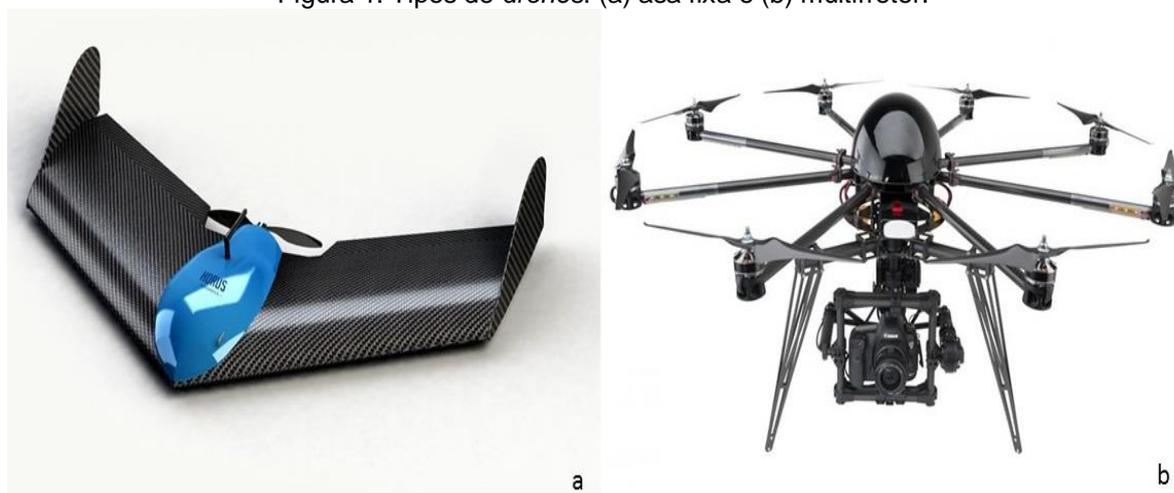
No Brasil, segundo a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, a terminologia mais adequada para este tipo de aeronave varia de acordo com a sua finalidade. No caso de uma aeronave não tripulada utilizada para fins recreativos ou de competição, estas devem ser chamadas de aeromodelos. Já uma aeronave utilizada para uso comercial ou corporativo deve ser chamada de VANT.

Dentro da classe dos VANT’s existe outra subdivisão. Quando este é programado e não permite mais a intervenção externa durante o voo, deve se chamar “Aeronave Autônoma”. Já quando o controle do VANT pode ser realizado remotamente por um piloto durante o voo, este deve ser chamado de RPA (*Remotely-Piloted Aircraft*). Como no Brasil a aeronave autônoma tem o seu uso proibido, tratemos a partir daqui apenas das RPA, ou ainda, Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada - RPAS, usado para se referir ao conjunto representado pela RPA e demais componentes necessários para a sua operação.

De forma geral, um *drone* pode ser classificado basicamente quanto ao tipo de asa ou hélice e quanto ao seu peso. Quanto ao tipo de asa, dois tipos dominam atualmente o mercado: asas fixas e multirrotores.

As aeronaves com asas fixas (Figura 1a) utilizam estruturas deflectoras de ar para conseguir sua sustentação a partir da diferença de pressão gerada por esta deflexão. E é justamente a sua aerodinâmica que contribui para uma melhor eficiência na geração de energia, obtendo vantagens em voos mais longos. Já os *drones* multirrotores (Figura 1b) normalmente contam com quatro (quadricópteros), seis (hexacópteros) ou oito (octacópteros) hélices, são mais fáceis de manejar, porém costumam possuir baixa autonomia de voo, tendo em vista que são baseados apenas na energia fornecida por suas baterias. Entretanto, com o avanço dessa tecnologia, já são encontrados *drones* híbridos, isto é, que possuem mais de um tipo de estrutura para decolagem e pouso, como visto em Bertel (2017) e Dias (2017).

Figura 1: Tipos de *drones*: (a) asa fixa e (b) multirrotores.



Fonte: Doctor Drone (2016)

Quanto ao peso, a classificação será descrita no próximo item 1.3.1 1.3.1 Regulamentação, que trata da regulamentação destas aeronaves.

Uma das principais vantagens do uso de VANTs para mapeamento é que quando comparado aos meios tradicionais, o custo benefício pode para alguns casos ser considerado melhor, principalmente porque este dispensa a necessidade de uma grande equipe de campo para realizar o levantamento. Nesse contexto, a Figura 2 resume uma comparação de desempenho em um levantamento de uma mesma área, com técnicas topográficas consideradas tradicionais com a fotogrametria através de VANTs, realizada pela empresa DronEng em parceria com a EJECArt. Neste exemplo são apresentados os resultados do levantamento em relação à acurácia alcançada e

são expostos o tempo gasto em campo, tempo no escritório, profissionais envolvidos no levantamento e número de pontos coletados, em ambos os métodos.

Figura 2- Topografia versus Fotogrametria com VANT



Fonte: DronEng & EJECAART (2016)

Como pode ser visto na Figura 2, a fotogrametria leva uma série de vantagens, como ter levado apenas 30 min de trabalho em campo, contra mais de 8h da topografia, utilizar menos profissionais e coletar mais pontos. Por outro lado, a topografia gastou apenas 2h30min de tempo em escritório, contra mais de 5h da fotogrametria e obteve uma acurácia milimétrica, enquanto a fotogrametria alcançou uma acurácia centimétrica.

1.3.1 Regulamentação

Em 1944, representantes de 52 nações reuniram-se para debater sobre a aviação civil internacional. Neste encontro foi assinada a Convenção sobre Aviação Civil Internacional (Doc 3700) e estabelecida a Organização de Aviação Civil Internacional - OACI, agência especializada das Nações Unidas responsável pela promoção do desenvolvimento seguro e ordenado da aviação civil mundial, por meio do estabelecimento de normas e regulamentos necessários para a segurança, eficiência e regularidade aéreas, bem como para a proteção ambiental da aviação (ANAC, 2016).

A preocupação com as aeronaves pilotadas remotamente já ficava explícita no Artigo 8º do DOC 3700:

“Nenhuma aeronave, capaz de ser voada sem piloto, deve ser voada sem piloto sobre o território de um Estado Signatário sem autorização especial emitida por esse Estado e de acordo com os termos de tal autorização. Cada Estado Signatário compromete-se a assegurar que o voo dessa aeronave sem piloto em regiões abertas às aeronaves civis deva ser tão controlado de modo a evitar perigo para as aeronaves civis” (OACI,1944).

O Brasil é um dos países signatários mais atuantes na OACI e participa diretamente dos seus principais painéis e grupos de estudos. Com representantes do DECEA e da ANAC, tem participado das reuniões no *Unmanned Aircraft Systems Study Group* - UASSG (Grupo de estudos de Sistemas de Aeronaves não Tripuladas, em português) e do *Remotely Piloted Aircraft Systems Panel* - RPASP (Painel de sistemas de aeronaves não tripuladas, em português) desde o princípio e tem contribuído ativamente nos trabalhos desenvolvidos (BRASIL, 2015).

Devido à rápida popularização dos *drones* nos dias atuais, os órgãos responsáveis pela aviação civil de diversos países em todo o mundo intensificaram os estudos e trabalhos para compreender esta atividade e integrar sua atuação junto ao espaço aéreo local.

Atualmente no Brasil, um VANT é considerado aeronave e, portanto, está sujeito à legislação aeronáutica (Lei nº. 7.565/86). Assim, nenhum VANT civil pode operar no território nacional sem autorização da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, do Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA, da Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL e, em alguns casos, de outros órgãos como o Ministério da Defesa.

Por possuírem transmissores de radiofrequência que podem causar interferências dos *drones* em outros serviços, a exemplo das comunicações via satélite, a ANATEL exige que o drone a ser utilizado seja homologado junto ao órgão. Assim, no processo de homologação são verificadas as características técnicas de transmissão dos equipamentos.

Quanto à competência de legislar sobre os procedimentos para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro, temos como órgão competente o DECEA, que em dezembro de 2016 atualizou a Instrução do Comando da Aeronáutica 100-40 (ICA 100-40) que

havia sido lançada em novembro de 2015, e tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso seguro ao Espaço Aéreo Brasileiro por Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas.

A ICA 100-40 oferece diversas orientações a serem tomadas em um voo com VANT de acordo com suas características (altura, peso, local, entre outros). Mediante a observação de todos esses aspectos, o responsável deve obter uma solicitação de autorização para a operação do RPAS no espaço aéreo brasileiro. Para isso, deve-se acessar o SARPAS, um sistema desenvolvido com o objetivo de facilitar essa solicitação.

Já a ANAC, em maio de 2017, publicou o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial - RBAC-E nº 94, que regulamenta o uso de aeronaves não tripuladas no Brasil para uso civil. O objetivo do órgão é que as operações passem a ocorrer a partir de regras mínimas, preservando-se um nível de segurança das pessoas e de bens de terceiros. Ao mesmo tempo, o normativo pretende contribuir para o desenvolvimento sustentável e seguro para esse segmento da aviação. Por se tratar de um regulamento especial, está sujeito a alterações que vierem a ser necessárias (ANAC, 2017).

Um conceito importante que é utilizado por diversos órgãos e é utilizado para diferenciar algumas situações de voos na RBAC-E nº94 é o de *Beyond Visual Line Of Sight* - BVLOS e *Visual Line Of Sight* - VLOS. Uma operação BVLOS é aquela na qual o piloto não consegue manter a RPA dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador. Já uma operação VLOS ocorre quando o piloto mantém o contato visual direto com a RPA (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos).

No regulamento, a ANAC divide as RPA em três classes, de acordo com o peso máximo de decolagem:

- ✓ Classe 1 – RPA: Peso máximo de decolagem maior que 150 kg;
- ✓ Classe 2 – RPA: Peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg;
- ✓ Classe 3 – RPA: Peso máximo de decolagem de até 25 kg;

Segue no Quadro 1 um resumo das exigências requeridas para cada classe definida na regulamentação.

Quadro 1: Resumo da Regulamentação da ANAC

	RPA CLASSE 1	RPA CLASSE 2	RPA CLASSE 3
Registro da aeronave?	Sim	Sim	Sim
Aprovação ou autorização do projeto?	Sim	Sim	Apenas BVLOS ou acima de 400 pés
Limite de idade para operação?	Sim	Sim	Sim
Certificado médico?	Sim	Não	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 m horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. O limite de 30 m não precisa ser observado caso haja uma barreira mecânica suficientemente forte para isolar e proteger as pessoas não envolvidas e não anuentes. 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: Adaptado de ANAC (2017)

Como na presente pesquisa o VANT a ser utilizado se enquadra como um RPA de Classe 3, a seguir será explanado com mais detalhes as condições que devem ser atendidas para que o voo seja realizado dentro dos critérios estabelecidos no regulamento da ANAC.

- ✓ Idade mínima de 18 anos para pilotar ou auxiliar a operação como observador.
- ✓ Somente os equipamentos com peso máximo de decolagem acima de 250 g precisam ser cadastrados na ANAC por meio do Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT), disponível em: sistemas.anac.gov.br/sisant.
- ✓ O cadastro vai gerar uma identificação que deverá ser confeccionada e material não inflamável, ser legível e ficar acessível na aeronave.
- ✓ Pilotos não precisam de documento emitido pela ANAC e são considerados devidamente licenciados, caso não pretendam voar acima de 400 pés.
- ✓ Só é permitido operar um único sistema de RPA por vez.
- ✓ É obrigatório possuir seguro com cobertura de danos a terceiros para pilotar aeronaves com peso máximo de decolagem superior a 250g.

- ✓ Fazer uma avaliação de risco operacional para operações com aeronaves com peso máximo de decolagem superior a 250g.
- ✓ É permitida a troca do piloto remoto em comando durante a operação.
- ✓ Não é necessário registrar os voos.
- ✓ Operar apenas em áreas distantes de terceiros (no mínimo 30 metros horizontais). Essa restrição está dispensada caso haja anuência das pessoas próximas à operação ou exista uma barreira mecânica capaz de isolar e proteger as pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. Aeronaves com peso máximo de decolagem de até 250 g estão dispensadas dessa exigência.
- ✓ As operações só poderão ser iniciadas se houver autonomia suficiente da aeronave para realizar o voo e para pousar em segurança no local previsto, levando-se em conta as condições meteorológicas conhecidas.
- ✓ Não é permitido operar drones sob efeito de substâncias psicoativas e todos os operadores estão sujeitos às regras quanto ao uso de álcool e de drogas constantes do item 91.17 do Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica RBHA 91.
- ✓ Portar a certidão de cadastro junto a ANAC, o seguro, a avaliação de risco e o manual de voo do equipamento nas operações com aeronaves com peso máximo de decolagem acima de 250 g.

Na presente pesquisa foram respeitadas todas as normas em vigor para a execução do voo. Nos anexos podem ser vistos todos os documentos necessários para realizar o voo, em cumprimento com as normas da ANATEL, DECEA e ANAC.

1.4 GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM - GNSS

O conceito de GNSS é empregado para designar todo sistema que permite a um usuário obter seu posicionamento tridimensional através de satélites artificiais, desde sistemas de augmentação (*Satellite Based Augmentation System* - SBAS e *Ground Based Augmentation System* - GBAS), que melhoram o desempenho do posicionamento, até os diversos sistemas existentes: *Global Position System* - GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU/COMPASS, ressaltando que os dois últimos estão em estado de implementação.

No âmbito do levantamento da altimetria através do GNSS é importante ressaltar que a altitude determinada não está relacionada ao nível médio dos mares (ou ao geoide, que seria uma superfície coincidente ao nível médio dos mares não

perturbado), e sim a um elipsoide de referência (modelo geométrico, logo, com dimensões conhecidas, utilizado para representar a forma da terra). Assim, para se obter a altitude ortométrica (geoidal) a partir da altitude geométrica (elipsoidal), faz-se necessário saber a ondulação geoidal de um determinado ponto.

De acordo com Monico (2008), o posicionamento GNSS pode ser absoluto, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, quando as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. Quanto ao objeto a ser posicionado, este pode estar em repouso (estático) ou em movimento (cinemático).

Quanto aos métodos de levantamento GNSS empregados nos estudos de ambientes costeiros, o método relativo cinemático, estático rápido com *Real Time Kinematic* - RTK e o Posicionamento por Ponto Preciso – PPP serão abordados de forma especial.

Segundo Seeber (2003) o nível de precisão do método relativo cinemático com pós-processamento é de cerca de 10 cm e pode chegar a alguns centímetros se as condições forem favoráveis (boa geometria dos satélites, sem multicaminho, curta distância a partir do processamento de linha de base, etc.)

Gonçalves et al. (2010), Martins et al. (2013), Mendonça et al. (2014) e Farias (2014) são exemplos de pesquisas que utilizaram o método relativo cinemático (pós-processado) para extrair a posição da linha de costa em diversas praias brasileiras.

Em relação ao método PPP, Monico (2008) afirma que:

Este é um método oriundo do Posicionamento por Ponto Simples, que obtém a localização de uma estação a partir observações de pseudodistância, derivadas do código civil, fixando-se a órbita e demais parâmetros dos satélites aos valores calculados com base nas mensagens de navegação (efemérides transmitidas). Já o PPP caracteriza-se quando se utilizam as observáveis pseudodistância ou fase da onda portadora, ou ambas, coletadas por receptores de simples ou dupla frequência, com efemérides precisas.

Zumberge et al. (1997) mostraram que a partir desse método é possível obter precisão de poucos centímetros tanto para a componente horizontal como para a componente vertical. Sendo assim, o PPP pode ser utilizado em casos onde se espera uma alta acurácia.

Farias (2014) obteve precisão centimétrica quando comparou o método PPP com outros métodos de posicionamento GNSS no mapeamento da linha de costa na praia de Boa Viagem, no Recife-PE. Já a equipe formada pelo Departamento de Oceanografia, Departamento de Engenharia Cartográfica e Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade, utilizou, também de forma satisfatória, o método PPP para mapeamento da linha de costa de todo o estado de Pernambuco, no ano de 2014.

Sendo assim, para a presente pesquisa, foi escolhido o método PPP processadas utilizando serviço *on line* IBGE-PPP, para levantar a linha de costa da área de estudo, tendo em vista que é um método mais rápido, prático e que já demonstrou obter um nível de precisão satisfatória para esse tipo de mapeamento (GONCALVES & AWANGE, 2017). Já para o levantamento dos pontos de apoio fotogramétrico e para o conjunto de pontos que depois foram utilizados para validar o Modelo Digital de Terreno – MDT, foi utilizado o método de posicionamento estático rápido RTK (*Real Time Kinematic*), método que corrige em tempo real as coordenadas obtidas pelo receptor móvel.

Assim, baseado na literatura pesquisada, espera-se obter uma precisão centimétrica nos dados coletado em campo com GNSS, o que dará possibilidade do mesmo ser utilizado como parâmetro posicional na comparação com a linha de costa extraída a partir do VANT.

1.5 MAPEAMENTO DE ZONAS COSTEIRAS

A zona costeira com suas diversas feições constitui um ambiente complexo que possui diversos elementos com características peculiares. Por possuir uma dinâmica diferente de outras áreas, é fundamental que este tipo de ambiente seja monitorado e mapeado de forma especial (GONÇALVES, 2010).

Neste âmbito, a cartografia costeira surge como complemento indispensável para, através de diversas técnicas métodos e equipamentos, se estude as formas, o comportamento e os efeitos que essas feições podem causar em uma determinada área. Entre as técnicas utilizadas para auxiliar ao mapeamento costeiros encontram-se: videogrametria, batimetria, sensoriamento remoto (fotogrametria, imagens de satélites e LIDAR) e GNSS.

A tecnologia *Light Detection and Ranging* - LIDAR se baseia na emissão de pulsos laser que refletem no alvo de interesse e calculam o tempo entre o pulso emitido e o refletido para obter medidas com alta acurácia. Apesar de ser considerada uma tecnologia com um custo alto, diversos estudos em áreas costeiras usando essa tecnologia foram desenvolvidos, como: Nijland et al. (2016) que utilizaram modelo obtidos pela tecnologia LIDAR para realizar o mapeamento e a classificação morfológica em *British Columbia*, no Canadá; Carneiro (2011) que realizou o monitoramento das dunas do município de Rio do Fogo – RN, Brasil, utilizando o sistema de mapeamento LIDAR aerotransportável; e Stoker et al. (2011) que utilizaram LIDAR em escala regional para monitoramento e modelagem dos efeitos causados pelo furacão Katrina, nos Estados Unidos, entre outros estudos.

Outra tecnologia utilizada para mapeamento de feições costeiras é a videogrametria, utilizando imagens gravadas por uma câmera digital que permitem capturar milhões de pixels a cada tomada de cena. Bio et al. (2014) utilizaram a videogrametria para o mapeamento do relevo (geração do modelo digital do terreno) e a vegetação presente na área do estuário de Douro, em Portugal; Já Pereira et al. (2011) utilizaram a videogrametria combinada com levantamento de dados em campo para caracterizar o padrão de deposição de lama na zona de arrebentação, descrevendo as consequências da lama na dinâmica próxima à costa da Praia do Cassino, Rio Grande - RS.

Os usos de imagens de satélites em estudos costeiros também são bastante comuns, tendo em vista as aplicações possíveis, a quantidade e variação dos tipos de sensores e a disponibilidade, que atualmente está bastante facilitada, inclusive contando com uma gama enorme de imagens disponibilizadas de forma gratuita.

Dentre as possíveis aplicações e estudos utilizando imagens de satélites de áreas costeiras, encontra-se Lignon et al. (2009) que utilizaram uma séries históricas de imagens Landsat para avaliar a dinâmica natural e os impactos antrópicos ocorridos em manguezais do Estado de São Paulo; Shalaby e Tateishi (2007) que utilizaram imagens multiespectrais para a mapeamento das mudanças da cobertura vegetal e do uso do solo na costa do Egito; Peláez & McGowan (1986) que utilizaram imagens de satélites para determinar os padrões de pigmento de fitoplâncton na Califórnia; e Stoffle et al. (1994) estudaram os recifes de corais e algas marinhas da República Dominicana, fazendo uso de imagens multiespectrais.

Levantamentos geodésicos utilizando o GNSS são bastante utilizados para mapeamento da zona costeira por oferecer agilidade, repetibilidade e acurácia adequada para que análises nos mais diversos elementos costeiros sejam realizadas de forma eficiente.

De acordo com Mendonça et al. (2014), o uso de GNSS para monitorar áreas costeiras brasileiras tem sido relatado por diversos pesquisadores, como por exemplo: Mendonça (2005) e Mendonça et al. (2006) que aplicaram tecnologia GNSS para mapear a linha de costa para estudos morfológicos da Coroa do Avião, em Igarassu, Mallmann (2008) que utilizando GNSS e outras técnicas apresentou uma proposta metodológica para estimar a vulnerabilidade nas praias do litoral sul de Pernambuco, Rollnic (2008) que com apoio do GNSS e outras técnicas analisou a dinâmica das ondas, circulação e transporte de sedimentos na zona costeira das praias da região metropolitana de Recife, e Gregório (2009) que analisou alguns aspectos da linha de costa em Recife. Mais recentemente, Gonçalves et al., (2012a, b) estudaram a tendência de regressão linear simples, a estimativa robusta e redes neurais artificiais utilizando dados temporais a partir de diferentes fontes e demonstraram a importância de escolher um modelo probabilístico. Silva et al. (2013) utilizaram a lógica *fuzzy* para modelar e produzir um mapa temático que contém a vulnerabilidade da erosão costeira, enquanto Gonçalves et al., (2013) simularam o efeito das sombras dos edifícios construídos perto da costa, mostrando a importância de preservar as distâncias entre praias urbanas e a praia.

Entrando no uso de VANTs para mapeamento de forma geral, observa-se que à medida que esse tipo de aeronave vai se popularizando, aplicações em diversas áreas vão acontecendo. Na gestão de áreas costeiras não é diferente, e alguns estudos em todo o mundo vêm mostrando a capacidade dos VANTs em realizar levantamentos para mapear diversos alvos, com diversas finalidades. Alguns exemplos seguem no Quadro 2:

Quadro 2: Estado da Arte

AUTORES	TÍTULO	RESUMO	PAÍS	ANO
Vousdoukas et al.	<i>A semi automatic technique for Rapid Environmental Assessment in the coastal zone using Small Unmanned Aerial Vehicles (SUAV)</i>	Analisaram a viabilidade do uso de imagens obtidas por VANTs para obter informações sobre a morfologia da praia, localização de canais e dimensão das zonas de surfe	Polônia	2011
Lucieer et al.	<i>Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography</i>	Uso de imagens e MDE obtidos por VANT para monitoramento de encostas na Tasmânia, Austrália.	Austrália	2014
Pérez-Alberti & Trenhaile	<i>An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain</i>	Uso de drones para análise temporal da linha de costa em duas praias do norte da Espanha	Espanha	2014
Turner et al.	<i>UAVs for coastal surveying</i>	Uso de VANTs para a avaliação dos danos após a ocorrência de tempestades no litoral de Nova Gales do Sul, Austrália.	Austrália	2016
Silalahi et al.	<i>Implementing Remote Sensing and Drone Mapping Technology for Land Management in Indonesia's Boundary Zone.</i>	Comparação do uso de imagens de satélites e de drones para o mapeamento da área costeira na Indonésia	Indonésia	2016
Holman et al	<i>Surf Zone Characterization Using a Small Quadcopter: Technical Issues and Procedures</i>	Uso de um VANT de pequeno porte para identificação e caracterização de ondas em uma zona de surfe	EUA	2016

Fonte: O Autor (2017)

1.6 LINHA DE COSTA

Devido a sua importância nas questões ambientais, as zonas costeiras foram pauta da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, a Rio 92. A Agenda 21, documento básico do encontro tem um capítulo específico (Cap. 17) que trata da proteção dos oceanos e das zonas costeiras. Nele, propõe-se que todos os países

realizem observações sistemáticas, façam estudos costeiros que identifiquem as áreas críticas, procurem se antecipar às intervenções antrópicas e acompanhem os projetos nela desenvolvidos (MENDONÇA, 2010).

Segundo o Relatório Técnico do mapeamento da linha de costa do estado de Pernambuco (2014):

Uma forma de realizar eficientemente o gerenciamento costeiro é investir no monitoramento geodésico da linha de costa, que desempenha um papel essencial para o planejamento territorial. A linha de costa é caracterizada por ser uma área de transição entre o continente e o oceano. Trata-se de uma zona bastante dinâmica e complexa sujeita a diversos processos geomorfológicos.

De acordo com Mendonça (2014) foram desenvolvidos vários estudos envolvendo o conceito de linha de costa e sua modelagem tanto a nível nacional no Brasil (TANAJURA et al., 2011; GONÇALVES et al., 2010; ALMEIDA, 2008; ROCHA et al., 2008; RIBEIRO, 2005; ANGULO, 1996), e globalmente (SMITH e CROMLEY, 2012; JACKSON et al., 2012; BAPTISTA et al., 2011; STOCKDON et al., 2002; THIELER e DANFORTH, 1994, entre outros).

Ao pesquisar a respeito das diversas definições de linha de costa e como identificar e mapear essa feição, BOAK & TURNER (2005) concluem que esse conceito é tão dinâmico quanto a própria linha de costa. Diferentes técnicas de coleta, condições específicas em cada zona costeira estudada e diferentes aplicações deste dado dificultam e tornam improvável que um conceito único se adeque a todas situações. Os mesmos autores analisam ainda diversos indicadores utilizados por diversos pesquisadores para delimitação da linha de costa em zonas costeiras de todo o mundo. Entre eles, foram muito usados: topo ou base de uma falésia, parede de deslizamento de terra, vegetação, dunas, crista da praia, berma da praia e linha de alcance máximo das ondas.

A respeito das diversas técnicas de coleta, ao citar: fotografias terrestres históricas, mapas e cartas costeiras, fotografias aéreas, GNSS, sensoriamento remoto, imagens multiespectrais/hiperespectrais, LIDAR, sensores de microondas e videogrametria, BOAK & TURNER (2005) afirmam que o surgimento de novos métodos deve contribuir para análise de tendências na área estudada em maior

resolução temporal, ou seja, com uma frequência que possibilite o acompanhamento desta feição a fim de determinar a sua variabilidade.

1.7 MORFODINÂMICA PRAIAL

Morfodinâmica praial é o estudo das formas e da dinâmica das praias em resposta a variações das condições ambientais. O que determina a morfodinâmica do sistema praial é a influência mútua entre a energia das ondas, dos ventos e das correntes com os sedimentos das praias (WRIGHT & SHORT, 1984).

De acordo com Gomes (2004), por serem ambientes de transição entre o oceano e o continente, as praias sofrem modificações causadas tanto pelos processos continentais quanto por processos marinhos, desenvolvendo, dessa forma, aspectos sedimentares e morfodinâmicos distintos.

Ainda segundo Gomes (2004), estas modificações no ambiente praial, ou morfodinâmica costeira, são objeto de estudos desde a década de 50, quando Bascom publicou, em 1951, um dos primeiros estudos relacionando a energia de onda incidente, o perfil de praia e o diâmetro do sedimento.

Nesse sentido, a geração de um MDT oferece aos especialistas a representação do relevo continental da zona costeira, permitindo assim, a realização de diversas análises sobre o comportamento do ambiente praial diante das modificações ocorridas ao longo do tempo.

1.8 FOTOGRAMETRIA

1.8.1 Definição e conceitos básicos

A fotogrametria é, segundo a *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos (ASPRS, 1980).

Ao longo dos anos, devido ao avanço tecnológico, esta ciência vem passando por uma série de transformações. Além de computadores cada vez mais capacitados e câmeras digitais com lentes cada vez mais potentes, os diversos tipos de meio

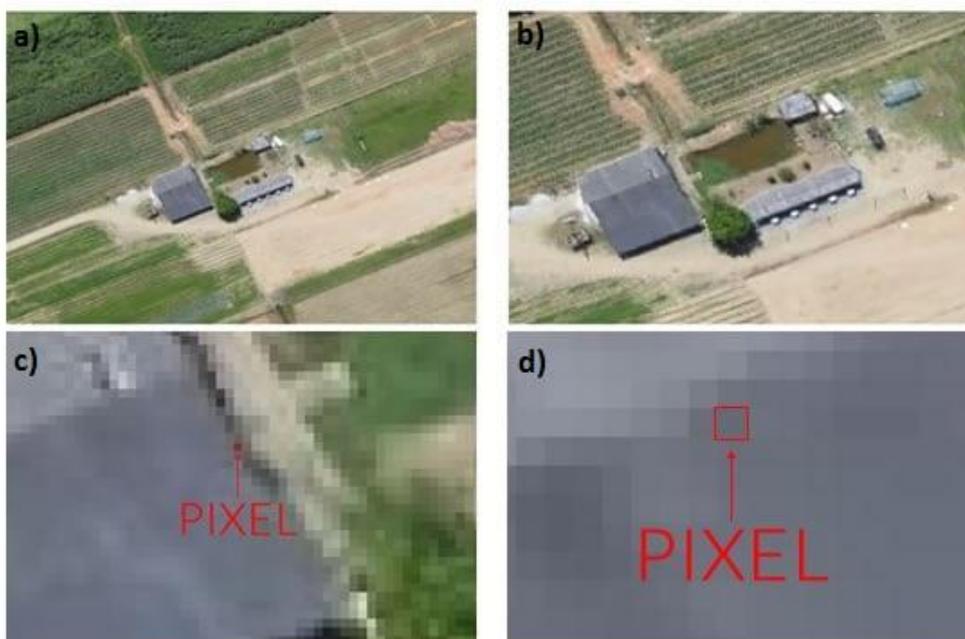
transportes aéreos, como balões, helicópteros, aviões e mais recentemente os VANTs revolucionaram a forma de se obter informações confiáveis a partir imagens fotográficas, principalmente de aéreas, isto é, a aerofotogrametria.

Dentro do âmbito da aerofotogrametria, alguns conceitos são essenciais para se entender o processo de obtenção das imagens aéreas e adequação destas para que seja possível a obtenção de medidas de objetos com qualidade cartográfica. A seguir serão abordados temas como pixel, GSD e sistema inercial.

1.8.2 Pixel, GSD e Escala

Um pixel é a menor unidade de uma imagem digital. O valor referente a energia refletida por cada objeto fotografado é armazenado em um pixel, que em um conjunto irão formar uma imagem digital. A seguir segue uma demonstração prática (Figura 3) de como um pixel se apresenta em uma imagem, desde a imagem sem aproximação (a), passando por duas etapas de aproximação (b e c), até conseguirmos observar cada pixel que formam a mesma. (d)

Figura 3: Conceito de Pixel

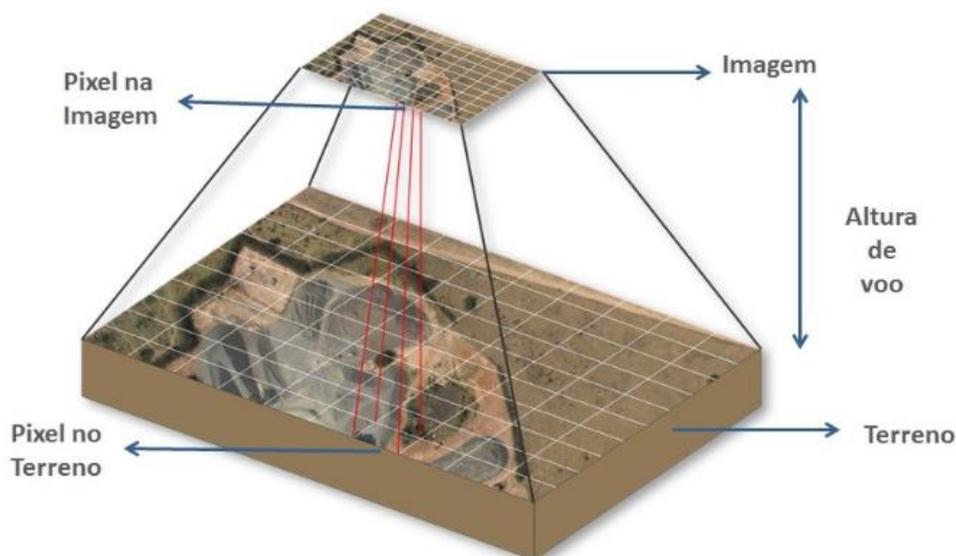


Fonte: Horus Aeronaves (2016)

A partir do conceito de pixel, apresenta-se o *Ground Sample Distance* – GSD, que é simplesmente a representação do pixel no terreno, ou seja, o tamanho da área

de uma feição que é registrada por um pixel. Para exemplificar este conceito, segue a Figura 4.

Figura 4: GSD

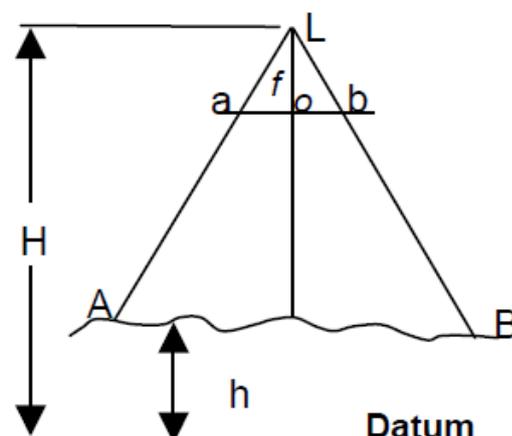


Fonte: DronEng (2015)

Escala é a relação entre as dimensões de um desenho ou mapa e a medida constatada no terreno. Segundo Tommaselli (2009), um mapa é uma projeção ortográfica da superfície do terreno. Conseqüentemente, todos os pontos no mapa estão em suas verdadeiras posições horizontais. Isto significa que a escala de um mapa é uniforme em qualquer posição.

A Figura 5 mostra um corte em uma fotografia aérea vertical com o centro perspectivo da câmara (lentes) em L , que é chamada a estação da câmara. A altitude da câmara sobre o datum vertical é chamada de altitude de voo (H). O terreno é considerado plano com uma altitude h em relação ao datum. O ponto 'o' é o ponto principal da fotografia; a distância L_o , da foto até as lentes, é chamada de distância focal. (TOMMASELLI, 2009)

Figura 5: Escala de uma fotografia



Fonte: TOMMASELLI (2009)

Sendo assim, ainda segundo Tommaselli (2009), a escala da fotografia é a relação entre as distâncias ab/AB . Dos triângulos semelhantes, temos que:

$$ab/AB = f / (H-h) \text{ e portanto: } E_h = f / (H-h)$$

Onde E_h é a escala para a altitude h , f é a distância focal e H é altitude de voo.

1.8.3 Orientação, aerotriangulação e ortorretificação

Para que a partir da fotografia obtida, medidas possam ser tomadas de forma precisa, é necessário que a fotografia seja registrada conservando o eixo ótico da câmera o mais vertical possível. Segundo Wolf et al. (2014) uma fotografia é considerada vertical quando o eixo focal estiver orientado perpendicularmente ao horizonte com um ângulo de inclinação de no máximo 3° (perpendicular) à superfície da terra.

Outro processo pela qual um levantamento aerofotogramétrico deve passar para que seja possível realizar medições com qualidade cartográfica são os processos de orientação interior e exterior.

O processo de orientação interior consiste na reconstrução do feixe perspectivo, ou seja, o referenciamento da imagem em relação à câmara. Em síntese,

as imagens obtidas se encontram isoladas umas das outras e salvas meramente como arquivos digitais, sem nenhuma informação métrica, então faz-se necessário reconstituir o sistema interno câmara-imagem correspondente ao momento em que as fotografias foram obtidas (COELHO & BRITO, 2007).

Já o processo de orientação exterior é necessário para se obter a posição e altitude do sensor ao coletar cada imagem fotográfica em relação ao referencial do espaço-objeto. Pode-se dizer, então, que uma imagem está orientada exteriormente se são conhecidos seus seis parâmetros de orientação exterior: as coordenadas tridimensionais no espaço-objeto para o centro de perspectiva (X_0, Y_0, Z_0) e os ângulos de rotação representados pelas letras gregas ω (*ômega*), φ (*phi*) κ (*kappa*) (COELHO & BRITO, 2007).

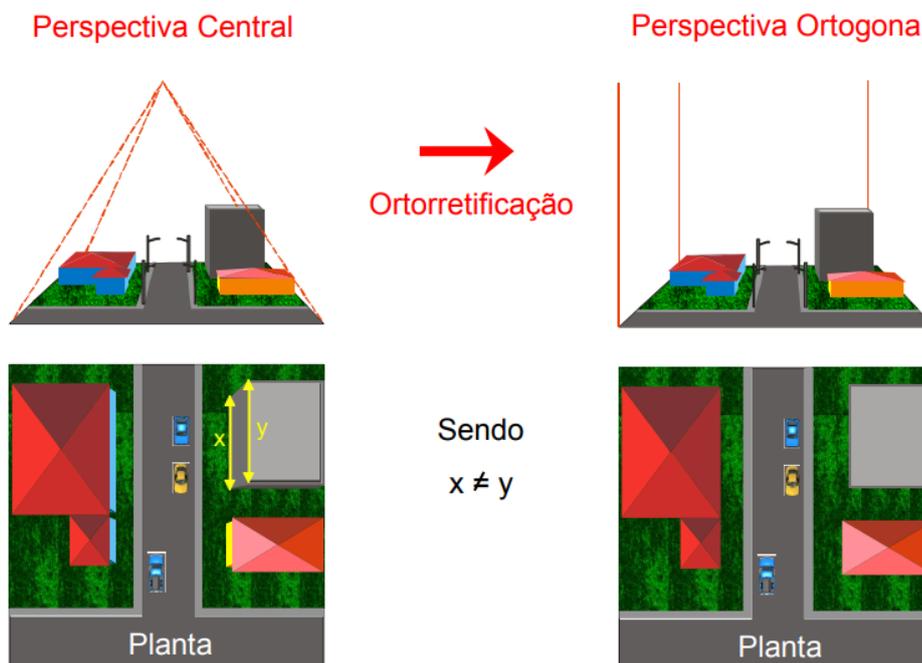
Após a realização da orientação interior e exterior, as informações obtidas podem ser usadas para executar a aerotriangulação.

A aerotriangulação consiste na técnica fotogramétrica, pelo qual as coordenadas do terreno podem ser determinadas com base nas coordenadas medidas em fotografias. A aerotriangulação utiliza um ajuste geral por método dos mínimos quadrados com injunção de pesos para orientar adequadamente as imagens. (JENSEN, 2009).

O conceito de ortorretificação é de extrema importância quando se pretende utilizar as fotografias para medição de objetos. Isso porque as imagens adquiridas por câmaras convencionais encontram-se em perspectiva central, que possui erros devido à rotação do sensor e deslocamentos devido ao relevo, inerentes à perspectiva cônica. Já em uma projeção ortogonal a imagem se encontra em um sistema que não possui desvios nem distorções relativas ao relevo. (COELHO & BRITO, 2007).

Assim, o processo de ortorretificação é o responsável por transformação da projeção central na imagem em projeção ortogonal ao plano, possibilitando que as feições nela contidas sejam apresentadas em suas verdadeiras posições e conseqüentemente apresentadas em um documento cartográfico. Esse processo é demonstrado na Figura 6.

Figura 6: Ortorretificação



Fonte: Adaptada de Coelho & Brito (2007)

1.8.4 Pontos de apoio fotogramétrico

Pontos de controle são pontos identificáveis no terreno, que devem ter suas coordenadas x , y e z levantadas da forma mais precisa possível, formando uma rede, suficientemente densa, que será usada no processamento e permitirá um melhor controle no georreferenciamento da imagem, implicando conseqüentemente em uma maior precisão dos produtos finais obtidos.

Os pontos de controle podem ser naturais, quando estes alvos já existam no local a ser sobrevoado/fotografado, ou artificiais, quando se faz necessária a pré-sinalização do ponto no terreno com algum material que seja nítido o suficiente para serem identificados com facilidade nas fotografias registradas, como na Figura 7.

Figura 7: Ponto de controle e sua visualização na imagem



Fonte: O Autor (2016)

A obtenção desses pontos torna-se fundamental para um mapeamento de alta precisão, uma vez que no caso do VANT, o sistema de posicionamento presente no mesmo é de navegação, isto é, se apenas esse sistema fosse utilizado no processamento dos dados a precisão obtida nos produtos gerados seria em torno de 5 a 10 metros.

A precisão dos produtos obtidos em um levantamento aerofotogramétrico não pode ser maior do que a precisão obtida nos pontos de controle levantados (WOLF et al. 2014). Assim, por sua importância, a fase de controle deve ser cuidadosamente planejada e executada, caso o levantamento destes pontos de controle não sejam realizados corretamente, todo o trabalho aerofotogramétrico pode se tornar inválido.

Dentro deste planejamento devem ser observados a precisão exigida, e conseqüentemente o tipo de equipamento e de técnica a serem utilizados para o levantamento das coordenadas tridimensionais de todos os pontos de controle definidos.

Quanto ao número de pontos de controle e a distribuição dos mesmos, não existe na comunidade científica uma definição ou algo que indique exatamente esses parâmetros. Segundo WOLF et al. (2014) pelo fato de no processo de georreferenciamento do ortofotomosaico, o software utilizar pontos homólogos, isto é,

pontos que são identificados em várias fotografias (devido à sobreposição das mesmas) para realizar a aerotriangulação, não é necessária uma rede tão densa de pontos de controle. De toda forma, é unânime a opinião de que quanto mais pontos de controle utilizados, melhor a precisão resultante.

Além dos pontos de controle, também podem ser utilizados em um levantamento aerofotogramétrico, pontos de verificação. Estes pontos apresentam as mesmas características dos pontos de controle, sendo que não são utilizados no processamento do bloco fotogramétrico e sim na verificação do produto final.

De forma prática, após realizar o processamento das imagens registradas, inclusive utilizando os pontos de controle levantados no terreno, se obterá um ortofotomosaico que se espera ter coordenadas da imagem bem próximas com as coordenadas reais do terreno. São justamente os pontos de verificação, que também foram levantados de forma precisa no campo, mas não foram utilizados no processamento, que serão capazes de dizer qual a confiabilidade das medições a serem realizadas na imagem.

1.8.5 Restituição fotogramétrica, estereoscopia e sobreposição

Segundo Coelho & Brito (2007) a restituição fotogramétrica objetiva a interpretação das diversas feições naturais ou artificiais manifestas no terreno, extraindo-as geograficamente referenciadas – coordenadas no espaço-objeto –, a fim de compor a base cartográfica de uma região geográfica em uma dada escala.

No âmbito dessa extração de informações, para que informações tridimensionais sejam obtidas a partir das imagens fotogramétricas (bidimensionais) é necessário o entendimento do conceito de visão estereoscópica e sobreposição de imagens.

Visão estereoscópica é basicamente a capacidade do ser humano de visualizar um objeto em três dimensões. A partir dessa capacidade, o conceito de paralaxe estereoscópica é fundamental para que possamos observar um objeto em três dimensões em uma fotografia aérea.

Coelho & Brito (2007) definem paralaxe estereoscópica como o deslocamento aparente da posição de um corpo ou objeto em relação a um ponto ou sistema de referência, causado pela mudança do ponto de observação. Assim, os mesmos autores concluem que aplicando a paralaxe em imagens fotográficas que se

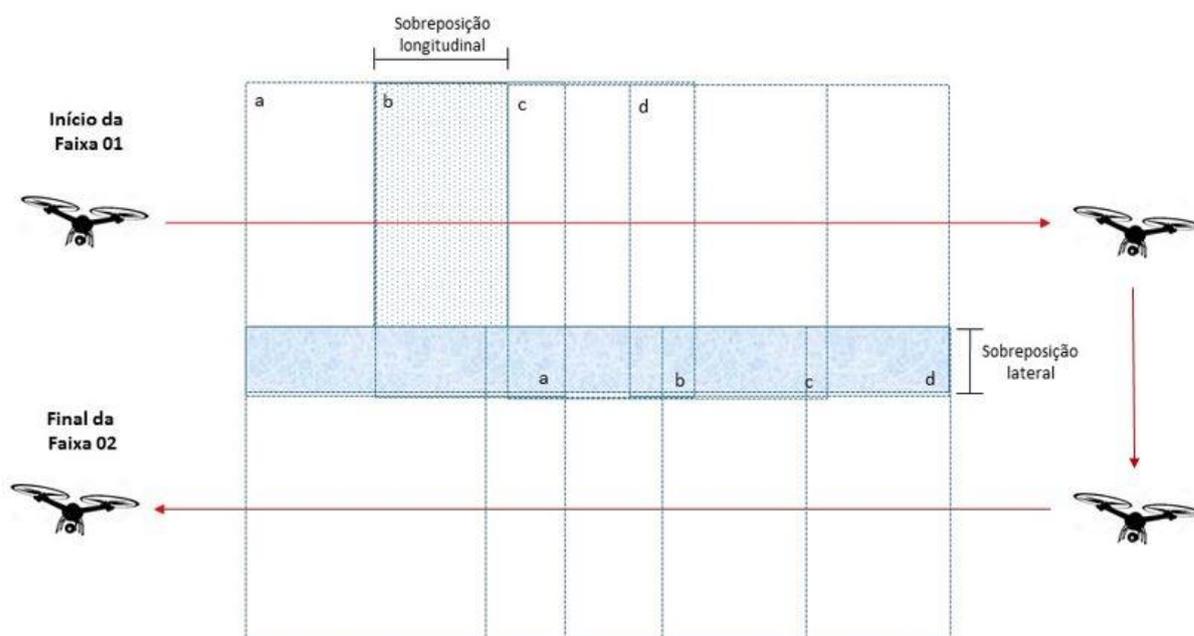
superponham, os alvos fotografados aparecem deslocados de suas verdadeiras posições nas imagens que formam o par estereoscópico.

O conhecimento da paralaxe estereoscópica é, portanto, fundamental para o mapeamento fotogramétrico topográfico, uma vez que é por intermédio desse conceito que a fotogrametria cumprirá seu papel de reconstruir o espaço-objeto (o relevo do terreno, por exemplo) a partir da visualização estereoscópica do mesmo e de imagens fotográficas (espaço-imagem) do terreno ou objeto de interesse (COELHO & BRITO, 2007)

Utilizando então o conceito de estereoscopia e paralaxe, aplica-se na fotogrametria aérea, a técnica de recobrimento aerofotogramétrico, que utiliza imagens sobrepostas longitudinalmente e lateralmente para que seja possível extrair informações tridimensionais de uma imagem aérea.

Para o recobrimento longitudinal é sugerido então uma sobreposição de pelo menos 60% entre cada fotografia. Já no recobrimento lateral é sugerido uma sobreposição de pelo menos 30% (Ver Figura 8).

Figura 8: Recobrimento longitudinal e lateral



Fonte: O Autor (2017)

1.8.6 Modelo Digital de Terreno – MDT

Segundo Câmara et al. (2001), um Modelo Numérico de Terreno - MNT é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar e informações meteorológicas são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT.

O processo de geração de um modelo numérico de terreno pode ser dividido em duas etapas: a aquisição das amostras ou amostragem e a geração do modelo propriamente dito ou interpolação (CÂMARA et al. 2001).

A amostragem compreende a aquisição de um conjunto de amostras que representam a variação de um fenômeno espacial de interesse. Na definição de uma amostragem representativa, deve-se considerar a quantidade e também o posicionamento das amostras em relação ao comportamento do fenômeno a ser modelado. Uma superamostragem de altimetria numa região plana significa redundância de informação enquanto que poucos pontos em uma região de relevo movimentado significam escassez de informações (CÂMARA et al. 2001).

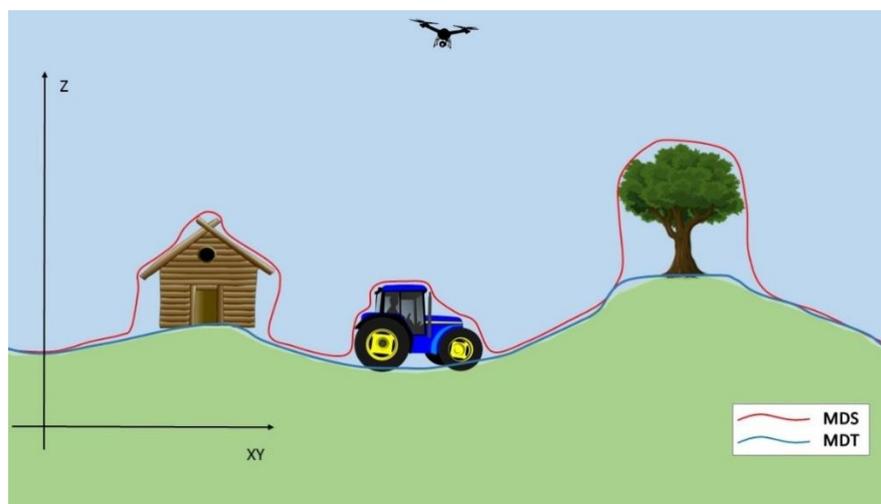
Já a interpolação ou geração do modelo, compreende a elaboração de um modelo matemático que possui funções de interpolação que simulam o comportamento da superfície terrestre a partir das amostras coletadas.

Um MNT é então, um modelo digital que a partir de uma amostragem dentro da área de interesse consegue representar o comportamento de um determinado fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre.

Dentro deste conceito, encontramos dois termos bastante utilizados e que são de fundamental importância quando a obtenção de um MNT é através de fotografias aéreas: Modelo Digital de Superfície – MDS e Modelo Digital de Terreno – MDT.

O MDS representa a superfície terrestre considerando ainda quaisquer objetos existentes sobre a mesma. Assim, se em uma superfície houver presença de árvores ou edificações, por exemplo, a superfície representada será a do topo destas feições. Já o MDT representa a superfície real do terreno (a cota do terreno). A representação dessa diferença pode ser vista na Figura 9.

Figura 9: Diferença entre MDS e MDT



Fonte: O Autor (2017)

Quando as amostras são obtidas através de levantamentos aéreos, o MDS é o produto básico gerado, pois todos os objetos que se encontram acima do solo são registrados. Para se obter o MDT nessa situação é necessário um processo chamado de filtragem.

A filtragem é um processo que exclui os pontos obtidos referentes a objetos acima do solo, possibilitando que a interpolação seja realizada apenas com os pontos referentes ao terreno. Esse procedimento pode ser realizado de forma automática, por meio de algoritmos, ou de forma manual onde o próprio operador delimita os elementos a serem filtrados.

No presente trabalho, o interesse será a geração de um MDT, pois a linha de costa e o relevo do ambiente praial se caracterizam sempre pela cota do terreno.

1.9 ACURÁCIA POSICIONAL

A Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais do Brasil - INDE foi instituída pelo Decreto Presidencial nº 6.666, de 27 de novembro de 2008 (Brasil, 2008) e é definida como o conjunto integrado de tecnologias, políticas, coordenação e padrões necessário para promover o acesso e disseminação de dados geoespaciais produzidos por órgãos públicos do Poder Executivo. Dentro deste contexto, sob responsabilidade da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG, foi

consolidada em 2016 a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG,2016).

A ET-CQDG é uma especificação em conformidade com a norma ISO 19157:2013, posto que os procedimentos de avaliação descritos nesta especificação seguem os passos descritos na norma ISO, e também descreve como reportar a qualidade dos produtos usando procedimentos padronizados. O objetivo desta especificação técnica é fornecer uma forma padronizada para avaliar a qualidade dos produtos de conjuntos de dados geoespaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) do Brasil (ET-CQDG,2016).

Usando os conceitos da ISO 19157, os elementos da qualidade estão agrupados em cinco categorias: completude, consistência lógica, acurácia temporal, acurácia temática e acurácia posicional. Segundo García-Balboa (2011) essas categorias agrupam elementos de qualidade similares que descrevem se os dados estão completos (Completude), se estão na posição correta (Acurácia posicional), se os atributos estão corretos (Acurácia temática) e se cumprem com todas as regras lógicas (Consistência lógica). Na presente pesquisa, será utilizado o elemento de qualidade acurácia posicional. Assim, a seguir este será mais detalhado.

A acurácia posicional diz respeito à qualidade da posição geográfica das coordenadas do conjunto de dados geoespaciais. A ET-CQDG trata apenas da acurácia absoluta, que se refere ao caso em que há discrepância entre as coordenadas da representação da feição e as coordenadas das feições na fonte de maior precisão.

Maranhão (2013) afirma que a acurácia posicional é obtida a partir do cálculo das diferenças entre as coordenadas de feições em uma fonte de maior referência e seus pontos homólogos no produto a ser avaliado, comparando o desvio padrão obtido com o valor correspondente à escala do produto e verificando se o produto possui acurácia posicional mínima exigida.

Mais detalhes sobre os critérios utilizados para análise da acurácia posicional serão apresentados na seção dos critérios de avaliação, mais especificamente no item 0 Acurácia Posicional – PEC-PCD.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A costa do estado de Pernambuco possui uma extensão linear de 187 km, representa 4% da área do território do estado, e abriga 43,8% da população. De acordo com a 2ª versão do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC II, a Zona Costeira do Estado está dividida em três setores: o setor Norte - Goiana, Itaquitanga, Itapissuma, Itamaracá, Igarassu, Araçoiaba, Abreu e Lima e Paulista; o setor Núcleo Metropolitano - Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes e o setor Sul - Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande.

De acordo com Manso et al. (2006), o crescimento exponencial da população da zona costeira de Pernambuco, acompanhada por explosão descontrolada do turismo precipitou a sua descaracterização, que em alguns setores, em torno de vários municípios é considerada irreversível. Manso et al. (2006) lembra ainda que o desenvolvimento e expansão do Recife ocorreu principalmente ao longo dos rios e zonas costeiras.

A área de estudo do presente estudo é conhecida como Coroa do Avião e está localizada no município de Igarassu-PE. Segundo Lira (2010), esta pode ser considerada uma ilha ou ilhéu (ilha de tamanho reduzido), que se formou a partir da descarga e acumulação de sedimentos ao sul (desembocadura) do Canal de Santa Cruz, uma falha geológica que separa a Ilha de Itamaracá do resto do continente.

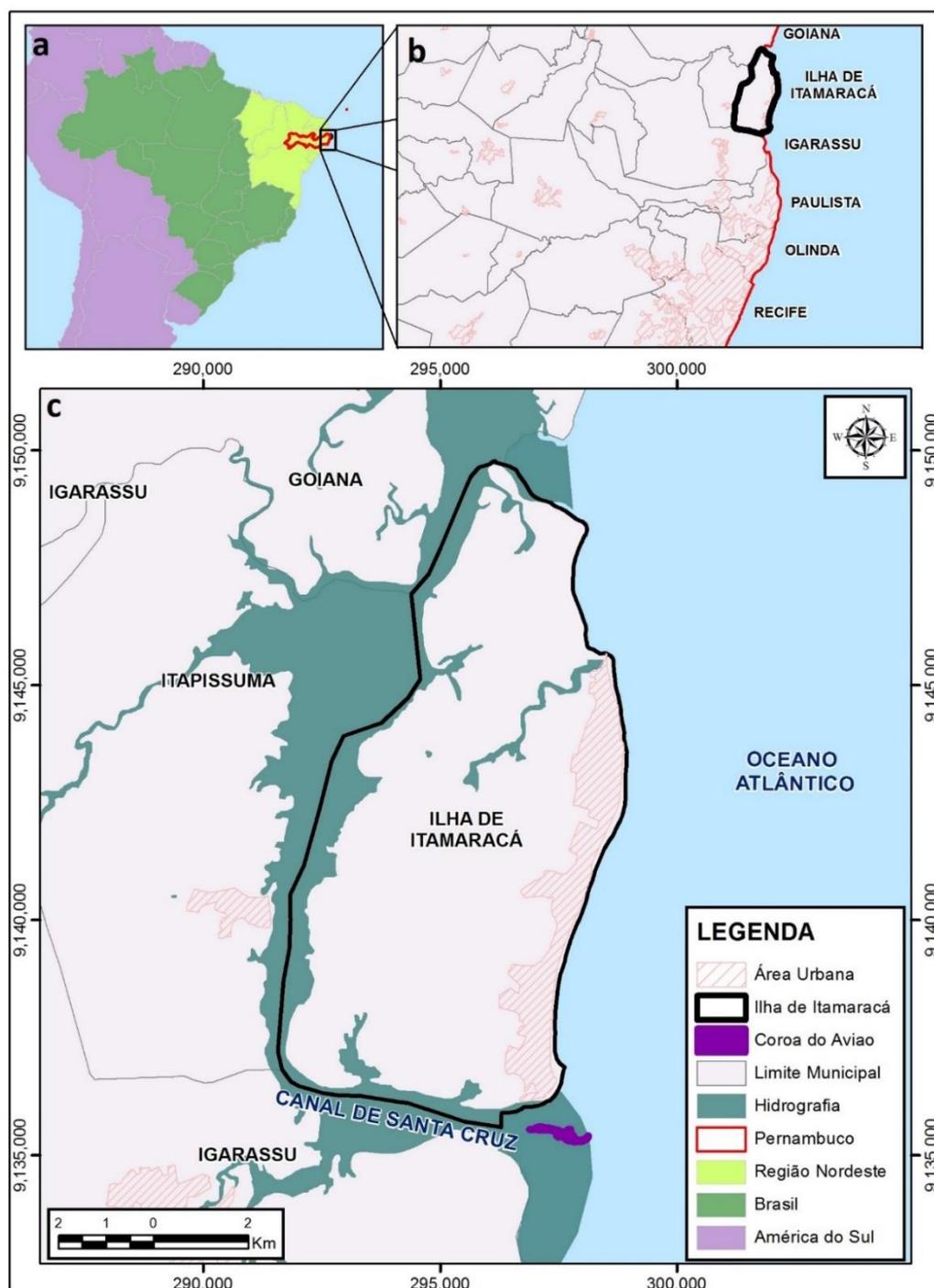
Lira (2010) explica ainda que os rios mais importantes do litoral norte, originados no continente, e que desembocam no Canal de Santa Cruz são: Catuama, Carrapicho, Botafogo, Congo, Igarassu; sendo os três grandes estuários dos rios Congo, Igarassu e Botafogo.

Quanto ao histórico e surgimento da Coroa do Avião, Mendonça (2005) afirma que na década de setenta, onde a partir de um banco de areia emerso apenas nas marés de sizígia, surgiu esta coroa que passou a acumular sedimentos arenosos e a permanecer emersa durante todo o ciclo de marés.

A

Figura 10 mostra o mapa de localização da área de estudo no âmbito continental (a), nacional (b) e estadual/municipal (c).

Figura 10: Mapa de Localização.



Fonte: O Autor (2017)

Atualmente, a coroa do avião mede aproximadamente (varia de acordo com o ciclo das marés) 1.000 m de comprimento e 230 m de largura máxima conforme representado de forma aproximada na Figura 11(a). Já na Figura 11

Figura 11(b) está uma fotografia da coroa do avião retirada em 2017.

Figura 11: Coroa do Avião



Fonte: a) Esri – *Digital Globe* (2016) b) O Autor (2017)

2.2 MATERIAIS

2.2.1 VANT

O VANT utilizado na pesquisa foi o *Batmap*. Como pode ser visto na Figura 12 o *Batmap* é um VANT de asa fixa e mede 1950 mm de uma asa a outra e 705 mm da hélice ao limite vertical.

Figura 12: Batmap – VANT utilizado



Fonte: Batmap (2016)

Seguem as especificações técnicas do Batmap:

- ✓ Estrutura em EPO e Fibra de Carbono
- ✓ Autonomia de voo de 90 minutos
- ✓ Câmera RGB de 24.3 megapixels (Sony A6000)
- ✓ Lente 16 mm de foco fixo
- ✓ Raio de operação de 6 km
- ✓ Velocidade de cruzeiro: 45 km/h
- ✓ Teto operacional: 3.500 m (ASL)
- ✓ Decolagem, navegação e pouso automáticos
- ✓ Peso: 2,6 kg (incluindo câmera e bateria)
- ✓ Envergadura: 1950 mm
- ✓ Comprimento: 705 mm

No Quadro 3 observa-se a relação entre a altura de voo, o GSD, a largura da imagem obtida e o tamanho da área que foi recoberta.

Quadro 3: Altura do voo x cobertura

ALTURA DE VOO (m)	GSD (cm)	LARGURA DA IMAGEM (m)	ÁREA NO TERRENO (ha)
100	2,4	144	310
200	4,9	294	610
300	7,3	438	950
400	9,8	588	1200
500	12,2	732	1500
1000	24,4	1464	2800
1500	36,6	2196	4200

Fonte: O Autor (2016)

2.2.2 Receptores GNSS

Os receptores GNSS utilizados foram o Leica GS15 (Figura 13 a) capaz de rastrear todos os sinais GPS (C/A, L1/L2/ L2C e preparado para L5), GLONASS (Código e Fase, L1 e L2), além de ser preparado para as futuras constelações GALILEO E COMPASS (TEOMAC, 2016), e o Topcon Hiper Lite Plus (Figura 13 b) que rastreia os sinais C/A, L1/L2 do sistema GPS e GLONASS. (TOPCON, 2008).

Quanto a operação e precisão, ambos receptores permitem levantamentos RTK e pós-processado nos modos estático, estático rápido e cinemático.

Figura 13: Receptores GNSS



Fonte: a) Leica Geosystems (2016) b) Embratop (2017)

2.2.3 Hardwares e Softwares

Em relação ao *hardware*, durante toda a pesquisa, incluindo o processamento dos dados, foi utilizado um notebook da marca Asus, modelo K45VM, com memória RAM de 8 GB DDR3, HD de 750 GB, Placa de vídeo NVIDIA GeForce GT 630M 2GB e Processador Intel Core i7-3610QM.

Os *softwares* utilizados para descarregamento e pós-processamento dos dados coletados pelo receptor GNSS da Topcon foi o Topcon Link 8.2.3 e Topcon Tools 8.2.3 Demo. Para os dados coletados pelo receptor GNSS da Leica foi utilizado o *software* Leica GeoOffice 8.2. O ArcGIS 10.3 (licença educacional) foi utilizado como apoio no planejamento dos pontos de apoio fotogramétrico, no tratamento e análise dos dados e na produção de ortofotocartas e demais resultados (figuras, mapas, entre outros).

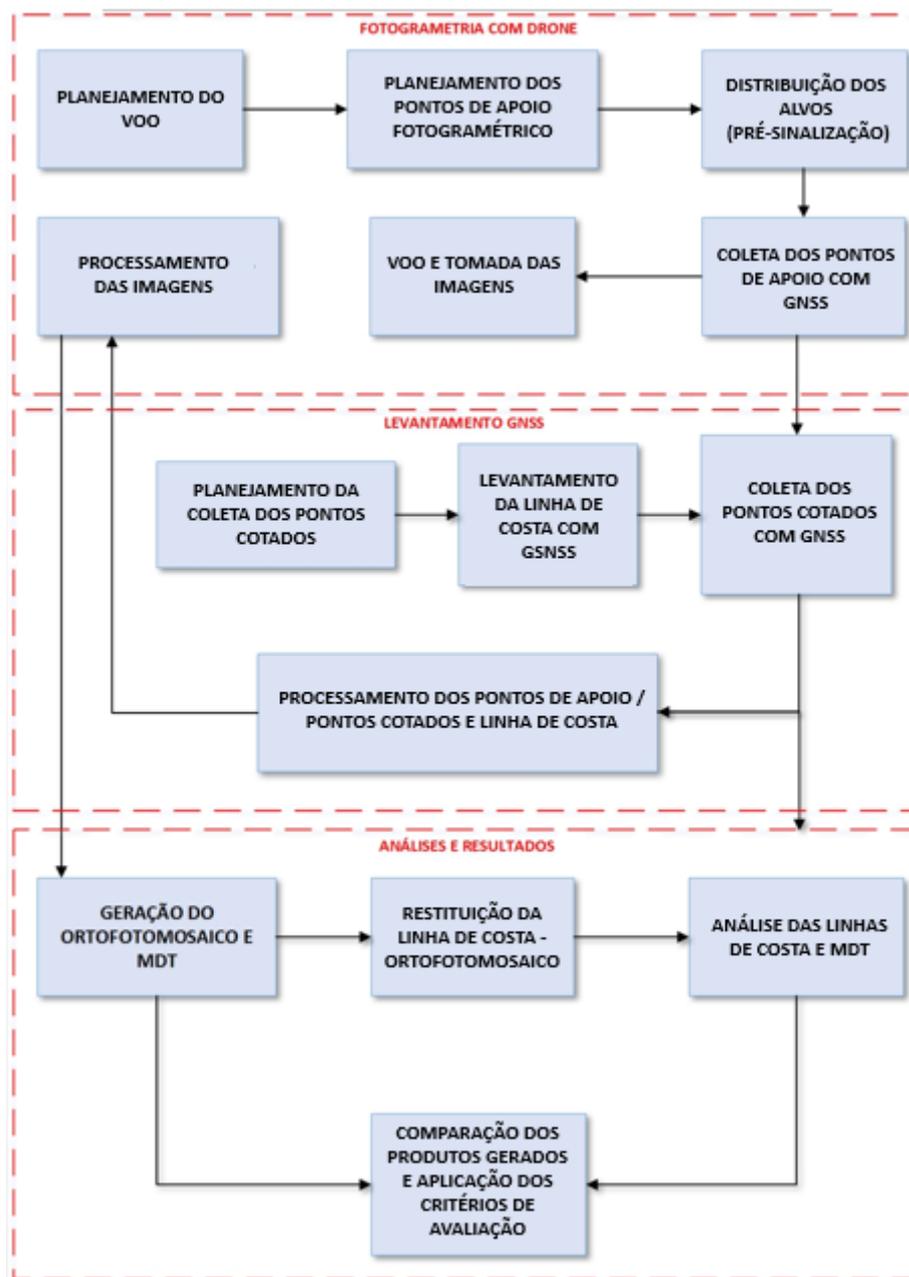
Nas atividades relacionadas ao VANT, foram utilizados o *software* livre Mission Planner para o planejamento, execução e acompanhamento do voo, e o Agisoft PhotoScan versão trial para o processamento dos dados obtidos e geração do ortofotomosaico e MDT.

2.3 MÉTODOS

Na Figura 14 é apresentado o fluxograma metodológico, que mostra todas as etapas que foram seguidas na pesquisa.

A partir do planejamento de voo foram definidos os critérios para coleta dos pontos de controle e a realização do voo, que produziu os dados (imagens e nuvem de pontos x , y , z) a serem processados para a obtenção do ortofotomosaico e do Modelo Digital de Terreno - MDT; após a aquisição pelo VANT, foram coletados e processados os dados utilizados para validação (GNSS); com todos os dados adquiridos, estes foram analisados e interpretados para a realização da comparação geométrica quantitativa dos resultados.

Figura 14: Fluxograma metodológico



Fonte: O Autor (2017)

2.3.1 Planejamento de voo

Nesta etapa foi realizado o reconhecimento da área de estudo e buscou-se analisar qual o melhor local para lançamento e pouso da aeronave (lembrando que o VANT utilizado possui um raio de operação, isto é, o alcance desde o ponto onde está instalada a estação de trabalho ao ponto mais distante sobrevoado pela aeronave de até 6 km).

Além disso, no *software Mission Planner* foram definidos a área a ser coberta no voo, a técnica utilizada para decolagem e pouso da aeronave, e os parâmetros relacionados aos produtos a serem gerados: sobreposição longitudinal e lateral (tendo influência direta na quantidade de imagens e faixas de voo), altura do voo (influência na resolução espacial das imagens), tamanho do GSD e sentido do trajeto que a aeronave deve percorrer (deve ser, preferencialmente, perpendicular ao sentido do vento).

2.3.1.1 Área de cobertura, altura do voo e tamanho do GSD

Para garantir que o levantamento através do VANT abranja toda a área de estudo, foi delimitada uma área de 28 ha, que cobre toda a área de estudo e ainda gera uma margem de segurança, visando evitar distorção nas bordas das imagens, este procedimento de planejar um pouco a mais da área alvo normalmente é um padrão em voos aerofotogramétricos.

A altura do voo é uma das variáveis mais importantes a ser definida em um levantamento por VANT, isto porque diversas outras variáveis irão se adequar a partir dela. Assim, antes da realização do voo, a fim de analisar o comportamento dessas variáveis, foram realizadas no *software Mission Planner* simulações de voos com algumas alternativas de altura.

Deste modo, pôde-se analisar o comportamento das seguintes variáveis: distância percorrida pelo VANT, distância entre as imagens, resolução espacial, quantidade de fotos, quantidade de linhas de voo, área recoberta por cada fotografia, distância entre as linhas, tempo de voo e Intervalo de tempo entre cada registro fotográfico.

Observa-se que em relação ao recobrimento entre as fotos, item fundamental para a percepção estereoscópica, que permite a visualização tridimensional da área registrada, foi utilizado sempre os mesmos valores: sobreposição longitudinal de 80% e sobreposição lateral de 60%.

Sendo assim, na comparação das alturas de voos simuladas, foram alcançados os seguintes valores para os parâmetros do voo, apresentado no Quadro 4:

Quadro 4: Comparação de altura do voo

PARÂMETROS	ALTURA DO VOO		
	80 m	100 m	120 m
Distância percorrida pelo VANT	9,16 km	7,52 km	6,59 km
Distância entre as imagens	16 m	20 m	23 m
GSD	1,95 cm	2,44 cm	2,93 cm
Nº de fotos	522	326	223
Nº de linhas de voo	27	21	18
Área recoberta por cada fotografia (80%)	117,5 x 78 m	146,9 x 97,5 m	176,3 x 117 m
Distância entre as linhas (60%)	47 m	58,75 m	70,5 m
Tempo de voo	17 min	14 min	12 min
Intervalo de tempo entre fotos	1,42 s	1,77 s	2,13 s

Fonte: O Autor (2017)

Diante dessa análise comparativa foi então definida a altura do voo como sendo de 120 m. Um fator foi primordial para essa escolha: com essa altura, iremos obter um GSD de aproximadamente 3 cm, e isto pode diminuir a possibilidade de arrastamento da imagem, um efeito que se caracteriza pela perda de nitidez, em algum trecho aleatório da imagem, causando prejuízos a qualidade do produto gerado. Alguns testes realizados em diversos trabalhos realizados, mostra que quando o GSD é menor que 3 cm a probabilidade de ocorrer arrastamento da imagem é consideravelmente maior.

Além disso, com essa altura, serão registradas menos fotos, o tempo de voo será menor e o tamanho do GSD é suficiente para que no processo de restituição, sejam extraídas as feições necessárias para execução do estudo.

A seguir, na Figura 15 pode ser visto o plano de voo definido no *software Mission Planner*. Nesta tela do *software*, são vistos entre outros parâmetros, os apresentados no Quadro 4.

Figura 15: Área a ser coberta e faixas de voo



Fonte: O Autor (2017)

2.3.1.2 Escolha da data e horário para o voo

Foi definido que o momento ideal para realização do levantamento seria pouco tempo depois que a maré estivesse na sua maior altura do dia (de preferência a maré mais alta durante o mês – maré de sizígia). Isso para que nas imagens registradas, a marca de água na areia da praia, causada pelo alcance máximo das ondas que foi utilizado como um indicador de linha de costa fosse facilmente identificada.

Assim foram levantadas junto ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos – BNDO, da Marinha do Brasil, as previsões de marés máximas e mínimas para o Porto de Recife, que é o ponto com essa previsão mais próximo da área de estudo. (Ver

ANEXO A).

Inicialmente foi definida a semana ideal para realização do voo (21 a 26 de agosto de 2017). A data exata ficou então na dependência das condições climáticas,

uma vez que o VANT não pode realizar voo diante de chuva. Assim, o único dia desse período definido inicialmente que apresentou condições climáticas que permitisse a realização do voo foi o dia 26 de agosto, sendo o voo realizado por volta das 10 horas, sendo que a maré atingiu o seu pico máximo de 2,20m às 6h49. Um ponto positivo quando se quer determinar o modelo digital do terreno é fazer o voo considerando a maré baixa, o que não interfere na interpretação da linha de costa.

2.3.1.3 Cumprimento da legislação

Quanto ao cumprimento da legislação necessária para realização do voo, foram respeitadas todas as recomendações e atendidas todas as normas e leis vigentes.

Além de levar em consideração todas as recomendações da ANAC para uma aeronave Classe 3 (peso máximo de decolagem de até 25 kg), a aeronave foi cadastrada no Sistema de Aeronaves não tripuladas – SISANT, (ANEXO B).

Da mesma forma, todas as recomendações do DECEA para o uso de VANTs, também foram observadas, incluindo o cadastro no sistema SARPAS e a solicitação de acesso ao espaço aéreo brasileiro para execução do estudo (ANEXO C).

Outro quesito exigido pela ANAC é a elaboração de um documento de avaliação de risco operacional, tendo em vista que a aeronave utilizada possui um peso máximo de decolagem superior a 250g (2,6 kg). O documento completo pode ser consultado no APÊNDICE A.

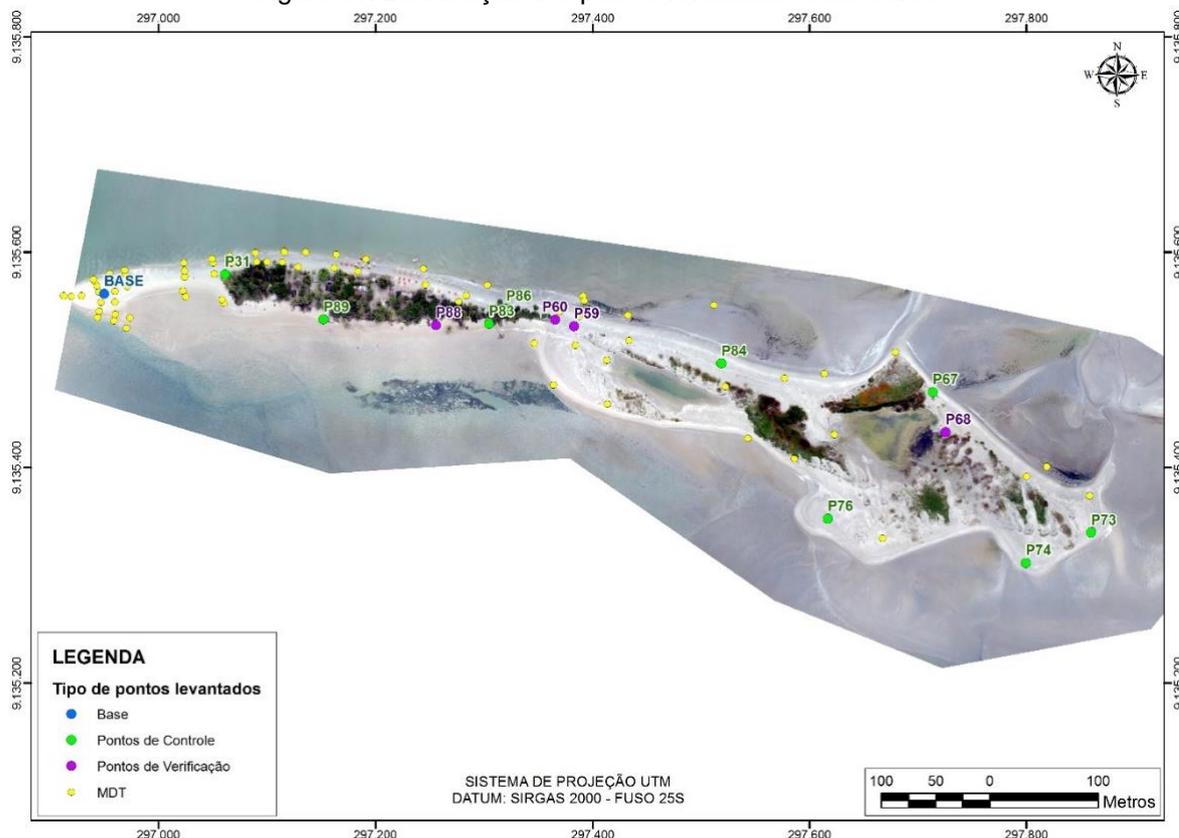
2.3.2 Pontos de apoio e nuvem de pontos para MDT

Os pontos de apoio (controle e verificação) foram distribuídos por toda área do interesse. Para a aerofotogrametria realizada com VANTs, a literatura não apresenta uma forma ideal para distribuição destes tipos de pontos, algumas recomendações para esta etapa são indicadas, principalmente a de distribuir pontos por toda área e, em especial nas bordas da área de interesse. Assim, na presente área de estudo foram planejados 13 pontos de apoio, que foram sinalizados e coletados ao longo da área do estudo.

Além do levantamento dos pontos de apoio com GNSS, nesta etapa também foi realizado o levantamento da nuvem de pontos que foram utilizados para comparação com o MDT obtido via VANT. Para ambas as finalidades foram utilizados os seguintes procedimentos: o método PPP foi utilizado para posicionar e validar a estação de referência, que serviu então de base para o receptor móvel, este, utilizando

o método RTK levantou um total de 90 pontos. Destes, 13 foram pré-sinalizados para apoio fotogramétrico, sendo 9 como pontos de controle e 4 como pontos de verificação, como pode ser visto na Figura 16.

Figura 16: Distribuição dos pontos levantados com GNSS



Fonte: O Autor (2017)

2.3.3 Sinalização dos alvos

Para sinalização dos alvos, baseados em experiências anteriores, foi utilizado um par de azulejos para cada ponto de apoio. Os azulejos, medindo 10x10cm cada, foram então posicionados de forma que a quina de um se encontrasse com a quina do outro, formando um alvo bem pequeno, onde a coordenada foi determinada com o rastreamento do ponto através do receptor GNSS. Um fator importante considerado, foi a necessidade de identificação dos azulejos com uma cor chamativa, tendo em vista que a maioria dos pontos foram locados na areia da praia.

Entretanto, durante o processamento das imagens, foi observado uma certa dificuldade na visualização precisa dos azulejos. Acredita-se que o reflexo da areia, juntamente com a intensa claridade do ambiente, contribuiu para que os alvos sinalizados não ficassem com a nitidez esperada. A Figura 17 apresenta em (a) a

quina de encontro (intersecção), indicando o alvo onde foram rastreadas as coordenadas de cada ponto, e em (b) a visualização deste alvo na fotografia obtida pelo VANT.

Figura 17: Sinalização e visualização dos pontos de apoio



Fonte: O Autor (2017)

Devido a essa dificuldade, acredita-se que na etapa de identificação dos pontos de apoio pré-sinalizados que foram obtidos com o receptor GNSS para o processo de registro da imagem, possa ter ocorrido um certo deslocamento, fator esse que pode ocorrer em voo com VANT e podem afetar o resultado final do produto esperado, mesmo tendo essa dificuldade o interessante deste trabalho foi exatamente analisar o experimento proposto e de fato ver sua influência no resultado quando comparado com o dados levantados em campo para controle dos produtos cartográficos final obtido pelo VANT.

A partir de todos os detalhes observados nas etapas de planejamento e coleta dos pontos com GNSS (incluindo dos pontos pré-sinalizados), o voo foi realizado na manhã do dia 26 de agosto de 2017.

As más condições climáticas prejudicaram o planejamento inicial, que seria de realizar o voo logo após as 7hs, período em que a maré tinha atingido o seu maior pico e assim estava baixando, deixando nítido a marca de alcance máximo das ondas, o que facilitaria a sua visualização, utilizada na identificação da linha de costa.

Outro fator climático que dificultou a realização do voo foram os fortes e constantes ventos que ocorrem na área de estudo. Assim, apenas por volta das 10hs

a chuva cessou e observou-se uma diminuição na intensidade dos ventos, permitindo então a realização do voo.

O processo iniciou-se com a montagem de todo o sistema que envolve o voo da aeronave (computador, controle remoto, antena de rádio, material de apoio para o lançamento, entre outros), em uma área ampla que permitiu o lançamento e pouso da aeronave sem grandes dificuldades.

Assim, o voo do VANT foi realizado de forma satisfatória, cumprindo o plano de voo estabelecido. Ao todo foram registradas 223 fotografias, com um GSD de 2,93 cm.

2.3.4 Levantamento da Linha de Costa com GNSS

Para o levantamento da linha de costa foi utilizado o método de posicionamento cinemático, com o receptor programado a uma taxa de gravação de 1 segundo foram armazenados 2.591 pontos. A base utilizada teve suas coordenadas processadas através do serviço gratuito online para pós-processamento de dados GNSS (IBGE-PPP).

2.3.5 Processamento dos pontos de apoio/pontos para o MDT

Antes da realização do processamento fotogramétrico, realizado com o *software Agisoft PhotoScan*, fez-se necessário o processamento dos pontos de apoio, realizado no *software Topcon Tools 8.2.3 Demo*.

Destaca-se que essa etapa deve ser sempre ser realizada antes do processamento das imagens, tendo em vista a necessidade das coordenadas dos pontos de controle com precisão aceitável para o seu uso.

2.3.6 Processamento fotogramétrico

Após a captação das imagens da área de interesse através do VANT, foi feita a transferência dos arquivos para o computador. As imagens foram descarregadas diretamente do cartão de memória da câmera embarcada no VANT BATMAP. Nesta etapa foi necessário conectar o equipamento ao computador e sincroniza-lo com o *software Mission Planner*, para realizar o procedimento de *geotag* das imagens através do log de voo da aeronave. O log de voo no formato CSV (*Comma Separated Values*) é o arquivo responsável por registrar informações referentes ao sistema

inercial que realiza os cálculos dos ângulos de rotação da aeronave (*yaw*, *pitch* e *roll*) durante a captura de cada imagem, assim como armazenar as coordenadas das referidas fotos.

Com a transferência dos dados, as imagens foram importadas e utilizando a ferramenta de calibração da câmera, foram inseridas informações técnicas da câmera utilizada para a captação das imagens, como: tipo de câmera (*frame*), tamanho do pixel (0,00039 microns) e o valor da distância focal (16 mm).

Posteriormente a esta etapa, o arquivo correspondente aos pontos de controle – com as coordenadas Este, Norte e a altitude ortométrica - foi importado para o ambiente do *software*.

2.3.6.1 Alinhamento das fotos

Após a inserção de todos os dados de entrada do projeto, realizou-se a primeira etapa de processamento. Segundo o manual do próprio *software* de processamento - *Agisoft Photoscan Help* - a etapa de alinhamento das fotos é responsável por buscar a posição e orientação de cada imagem, gerando uma nuvem de pontos esparsa construída a partir de pontos homólogos identificados entre as sobreposições das fotos.

Durante todo o processamento fotogramétrico, o procedimento de alinhamento das fotos é utilizado em dois momentos: primeiro, para auxiliar na etapa de marcação dos pontos de controle em suas respectivas fotos, não comprometendo a precisão posicional dos produtos que serão gerados; segundo, para geração da nuvem de pontos densa e geração de pontos que serão utilizados durante a formação do mosaico de ortofotos.

Ainda segundo o desenvolvedor, nessa etapa é de fundamental importância a qualidade das fotos, pois imagens desfocadas, por exemplo, comprometem todos os procedimentos de processamento posteriores. Para isso, o *software* disponibiliza uma ferramenta de análise que estima a qualidade das fotos do projeto, onde se aconselha que imagens com um valor de qualidade inferior a 0.5 sejam excluídas do processamento fotogramétrico, desde que não comprometam o recobrimento da área mapeada. O valor de parâmetro é calculado com base no nível de nitidez da parte mais focada de cada imagem.

Na primeira etapa de alinhamento, é possível selecionar qual nível de detalhamento deseja-se realizar na busca por pixels de pontos homólogos, extraídos das sobreposições laterais e longitudinais entre todas as imagens do projeto. No *software* esse parâmetro é denominado de precisão. Pode-se optar por utilizar desde o nível de precisão *lowest* (mais baixa) até o nível *highest* (mais alto), porém essa precisão está relacionada ao tamanho de cada imagem processada na busca pelas posições dos pontos em comum, conseqüentemente influenciando na quantidade de pontos que irão compor a nuvem de pontos esparsa. O Quadro 5 apresenta a relação entre o tamanho da imagem e o fator de escala, onde 1 corresponde ao tamanho original da foto.

Quadro 5: Parâmetro de alinhamento x tamanho da imagem

Precisão	Tamanho da imagem (Fator de escala)
<i>Highest</i> (mais alta)	1/4
<i>High</i> (alta)	1
<i>Medium</i> (média)	4
<i>Low</i> (baixa)	16
<i>Lowest</i> (mais baixa)	64

Fonte: Agisoft Photoscan Help, 2016

No presente estudo, a etapa de alinhamento das imagens direcionada ao apontamento dos pontos de controle foi processada utilizando o parâmetro *medium* de precisão.

2.3.6.2 Marcação dos Pontos de Controle

Após a etapa de alinhamento, foi realizada a marcação nas imagens de cada um dos pontos de controle anteriormente importados para o ambiente do programa. Através dos marcadores criados pelo *software* contendo a identificação de cada ponto inserido pelo arquivo CSV, utilizou-se um filtro onde foram selecionadas as imagens mais próximas a coordenada do ponto a ser marcado. Dessa maneira, se um mesmo ponto rastreado na área de estudo foi identificado em 15 imagens durante o mapeamento com o VANT, esse ponto precisa ser apontado em cada uma das

imagens, movendo o marcador para o máximo aproximado da intersecção entre os azulejos que materializaram os pontos de controle na área mapeada, a exemplo da metodologia que foi utilizada para o presente estudo.

2.3.6.3 Alinhamento das Imagens (2ª etapa)

Ao executar o alinhamento das imagens pela segunda vez, durante a construção da nuvem de pontos esparsa o *software* leva em consideração os pontos de controle anteriormente sinalizados nas fotos, materializando-os e iniciando a construção de uma base georreferenciada mais precisa posicionalmente.

No presente estudo, o segundo estágio de alinhamento das imagens foi processado utilizando o parâmetro *High* de precisão, gerando uma nuvem esparsa contendo 1.293.399 pontos.

Após a construção da nuvem esparsa definitiva, utilizou-se a ferramenta de otimização no alinhamento das imagens, o que possibilitou a obtenção de maior precisão durante o cálculo dos parâmetros internos e externos da câmera, corrigindo possíveis distorções e realizando o ajuste das coordenadas.

2.3.6.4 Nuvem de Pontos Densa

Para geração da nuvem de pontos densa, o *software* processa informações de profundidade para cada imagem, combinando os pontos baseados na localização das imagens em referência aos pontos do terreno. Similar a etapa de alinhamento das imagens, a geração da nuvem de pontos densa pode ser configurada de acordo com o parâmetro 'qualidade', entre *lowest* e *highest*. O fator de escala para as opções é idêntico ao da etapa de alinhamento, onde a opção *High* corresponde ao tamanho original de cada foto levada em consideração.

Durante a etapa da construção da nuvem de pontos densa, pode haver algumas discrepâncias entre os pontos, principalmente devido a alguns fatores como imagens mal focadas e ruídos causados por distorções. Para minimizar esse efeito, são utilizados algoritmos de filtragem de profundidade de acordo com as características da área mapeada.

No presente estudo, foi utilizado o padrão *medium* de processamento para geração da nuvem densa, totalizando 26.688.757 pontos. Para minimizar as discrepâncias entre os pontos, foi utilizado o filtro de profundidade *moderate*, que é

indicado para áreas onde a presença de pequenos detalhes significativos não é nem muito grande e nem muito pequeno.

2.3.6.5 Classificação da nuvem de pontos

Após a geração da nuvem de pontos densa, é possível realizar a classificação dos pontos para posteriormente se obter um modelo digital de superfície ou um modelo digital do terreno.

Visando o objetivo desse estudo, optou-se pela geração do MDT, através da aplicação de um filtro na nuvem de pontos densa que classifica tudo que está acima da superfície, tornando possível a composição de uma nuvem de pontos densa contendo apenas pontos do terreno.

Porém, antes da aplicação do filtro, são definidos os parâmetros que vão ser responsáveis pela classificação dos pontos acima do solo. Para o presente estudo, foram adotados os seguintes parâmetros:

- ✓ 15° para o valor referente ao ângulo máximo feito por uma linha que liga o ponto do solo ao ponto da feição a ser classificada como não pertencente ao terreno;
- ✓ Distância máxima entre o ponto caracterizado como do terreno e o ponto em questão de 0,5 metros;
- ✓ Tamanho da célula de 20 metros, que é determinado em relação ao tamanho da maior feição da área mapeada que se pretende classificar como não pertencente aos pontos do terreno;

2.3.6.6 Criação da Malha Triangular

Após a classificação da nuvem de pontos densa, gerou-se o modelo tridimensional da área de estudo, levando-se em consideração somente os pontos caracterizados como do terreno (MDT). O *software* cria três modelos: um colorido; um sólido e uma malha triangular, formada pela interligação entre os pontos da nuvem de pontos densa classificada, utilizando ferramentas de interpolação nas áreas do terreno correspondentes a exclusão das feições acima do solo.

No presente trabalho, a malha triangular gerada totalizou 23.378 faces e 12.818 vértices. Os parâmetros de reconstrução utilizados na geração da malha foram:

- ✓ A opção mapas de altura/terreno como o tipo de superfície, algoritmo otimizado pelo *software* para modelagem de superfícies mapeadas por aerofotogrametria;
- ✓ Nuvem de pontos densa classificada como fonte de dados;

2.3.6.7 Modelo Digital de Elevação – MDE

Para geração do Modelo Digital de Elevação, o Agisoft Photoscan utiliza ferramentas de rasterização que permitem utilizar a nuvem de pontos esparsa, a nuvem de pontos densa ou a malha triangular como fonte de dados. No presente trabalho, foi utilizada a malha triangular como fonte de dados, consequentemente gerando um MDT no formato *raster*, visto que a malha triangular foi gerada a partir de pontos do terreno. A resolução espacial do arquivo de imagem foi de 12,1cm/pixel.

Após a geração do MDT, utiliza-se a ferramenta *generate contours* para criação das curvas de nível do terreno, definindo o intervalo de distância a ser representado entre as curvas. Para o presente trabalho foram geradas curvas de nível com uma equidistância de 1 metro.

2.3.6.8 Geração do Ortofotomosaico

Por fim, o último estágio do processamento fotogramétrico é a geração do ortofotomosaico. Durante essa etapa, pode-se optar pelo MDE ou a malha triangular como tipo de superfície para ortorretificação das imagens.

Para o presente trabalho foi utilizada a malha triangular como parâmetro de superfície, além do modo de combinação *mosaic* e o modo de correção de cores, que é recomendado apenas quando há muita variação de brilho entre as imagens, devido ao aumento significativo de tempo de processamento. A resolução espacial do ortofotomosaico foi de 2,94 cm/pixel.

2.3.7 Critérios de Avaliação

2.3.7.1 Acurácia posicional – PEC-PCD

O Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira, em que foram utilizados como referência os parâmetros que as constituem e dividem o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) em diferentes classes, considerando 90% de probabilidade (BRASIL, 1984).

O surgimento de novas geotecnologias contribuiu para que fosse realizada uma revisão dos padrões estabelecidos no Decreto nº 89.817. Em consequência, a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-ADGV estabeleceu um novo Padrão de Exatidão Cartográfica destinado a atender os Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (DSG, 2011). O enquadramento das classes no PEC-PCD baseia-se nas estatísticas de 90% dos pontos coletados no produto cartográfico em relação às coordenadas dos pontos homólogos coletados na fonte de maior precisão. Para que sejam enquadrados nas classes do PEC-PCD, as discrepâncias entre as coordenadas dos pontos homólogos devem resultar em valores iguais ou inferiores de erro máximo (EM) e de erro padrão (EP) previstos para cada produto. (ET-CQDG, 2016)

Conforme detalhado na Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais - ET-CQDG (2016), o cálculo do PAP-PCD planimétrico seguirá os seguintes passos:

- 1) Selecionar pontos de controle, que devem ser perfeitamente identificados no terreno e no produto.
- 2) Calcular o erro em cada componente planimétrica para o universo de pontos considerados.

$$e_x = x_v - x_g$$

$$e_y = y_v - y_g$$

Onde os pontos do produto que serão testados (VANT) serão identificados pelo sufixo “v” e os pontos de referência (controle), levantados com GNSS, são identificados pelo sufixo “g”.

3) Calcular a componente horizontal dos erros para cada ponto “i” da amostra:

$$e_{Hi} = \sqrt{e_{xi}^2 + e_{yi}^2}$$

Onde e representa a componente horizontal dos erros, x a coordenada este e y a coordenada norte.

4) Calcular o erro médio quadrático (EMQH) dos erros da amostra:

$$EMQ_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{Hi}^2)}{n}}$$

Onde e_{Hi} representa o erro da componente horizontal e n o número de amostras.

5) Comparar cada valor de e_{Hi} com o erro máximo admissível (EM) da tabela PEC para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao EM.

6) Comparar o valor de EMQ_H com o erro-padrão da tabela PEC para a classe identificada no passo 5. Se for menor, o resultado é a classe encontrada no passo 5. Se for maior, caminha-se na tabela PEC até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta “não conforme”.

Já o cálculo do PAP-PCD altimétrico, também conforme detalhado na ET-CQDG (2016), seguirá os seguintes passos:

1) Selecionar pontos de controle com precisão pelo menos três vezes superior ao produto que será avaliado. Os pontos devem ser perfeitamente identificados no terreno e no produto. O tamanho da amostra é determinado pelo processo de avaliação.

2) Calcular o erro para a componente altimétrica para o universo de pontos considerados.

$$e_z = z_v - z_g$$

Onde os pontos do produto que serão testados (VANT) serão identificados pelo sufixo “v” e os pontos de referência (controle), levantados com GNSS, são identificados pelo sufixo “g”.

3) Calcular o erro médio quadrático (EMQZ) dos erros da amostra:

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{zi}^2)}{n}}$$

Onde e_{zi} representa o erro da componente altimétrica e n o número de amostras.

4) Comparar cada valor de e_{zi} com o erro máximo admissível (EM) da tabela PEC para cada classe. O produto se enquadra onde tiver pelo menos 90% de pontos com erro inferior ao EM. Se nenhum valor for correspondente o resultado será “não conforme” e encerra-se a medida.

5) Comparar o valor de EMQ_z com o erro-padrão da tabela PEC para a classe identificada no passo 4. Se for menor, o resultado é a classe encontrada no passo 4. Se for maior, caminha-se na tabela PEC até encontrar um valor menor ou, caso não seja encontrado, a medida resulta “não conforme”.

O parâmetro a ser utilizado para analisar em qual classe produto se enquadra é apresentado no Quadro 6 contendo: as classes de PEC-PCD, o erro máximo (EM) e erro-padrão (EP):

Quadro 6: Valores de erro médio (EM) e erro padrão (EP), em metros, na planimetria e altimetria

Tipo	PEC	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
		EM	EP	EM	EP	EM	EP	EM	EP
Planimetria	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70
	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00
	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00
	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00
Altimetria	A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84
	B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67
	C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
	D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50

Fonte: ET-ADGV (2011)

2.3.7.2 Estatísticas

Nos experimentos realizados com os produtos referentes a Linha de Costa (LC) e MDT obtidos pelo VANT foram avaliados com base na sua eficiência e eficácia em avaliar a sua acurácia quando comparados com os dados considerados como “valores de referências” obtidos pelo GNSS. Sendo assim foram computados:

- (1) A média aritmética do desvio da Linha de Costa (LC) usada como controle aqui chamada de LC_{GNSS} e a obtida com o VANT, aqui chamada de LC_{VANT} . Para isto a seguinte fórmula foi utilizada:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (LC_{GNSS_i} - LC_{VANT_i})$$

Onde: \bar{x} a média aritmética do desvio entre as LC, n o número de amostras e $(LC_{GNSS_i} - LC_{VANT_i})$ denota a distância da linha de costa predita em relação a linha de controle na i seção transversa conforme a linha de referência.

- (2) O desvio padrão, medida mais comum da dispersão estatística, foi obtido através da raiz quadrada da variância da LC_{VANT} em relação à LC_{GNSS} , e

estimada através da seguinte equação:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (LC_{GNSS_i} - LC_{VANT_i} - \bar{x})^2}$$

Onde: σ é o desvio padrão, n o número de amostras, $(LC_{GNSS_i} - LC_{VANT_i})$ denota a distância de linha de costa predita em relação a linha de controle na i seção transversa conforme a linha de referência e \bar{x} a média aritmética do desvio entre as LC.

(3) Também foram determinados os desvios máximos e mínimos entre LC_{VANT} e LC_{GNSS} , isto é, os maiores e menores valores obtidos no cálculo entre as distâncias entre ambos.

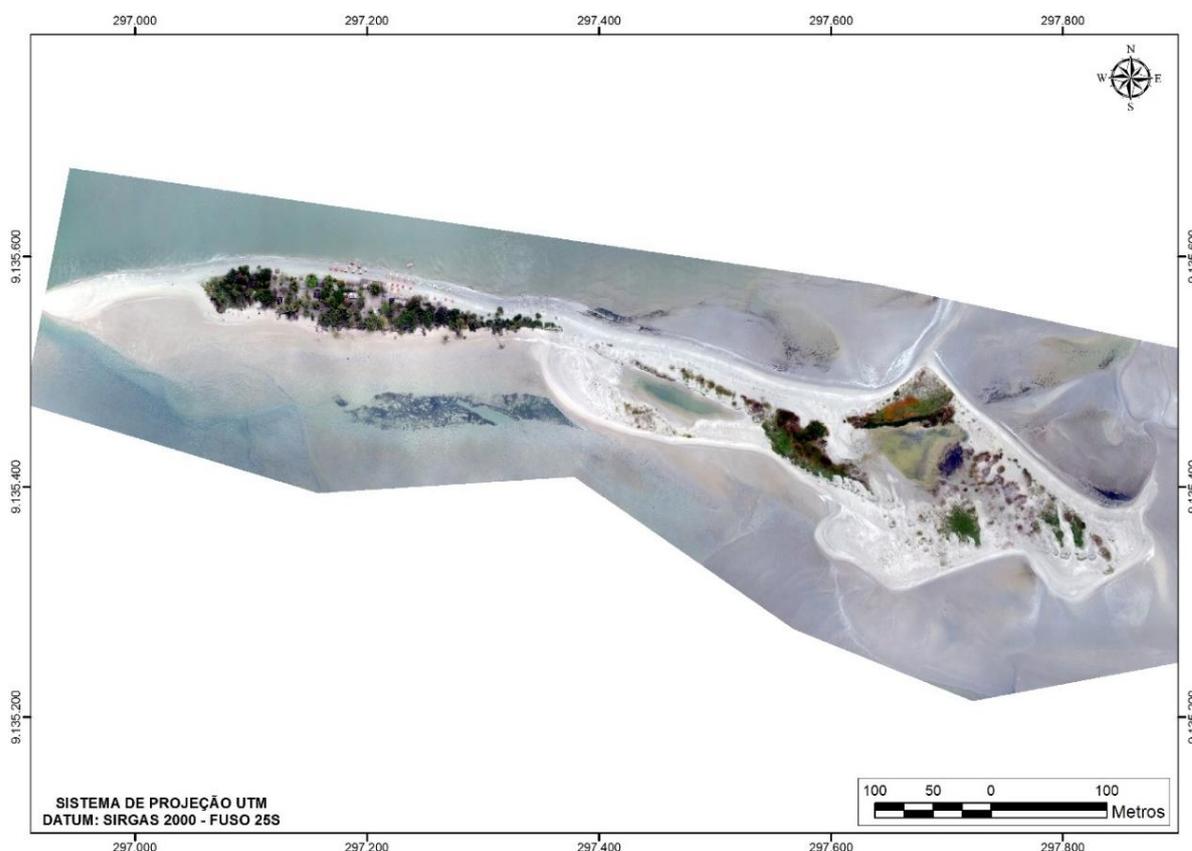
3 RESULTADOS E ANÁLISES

Após todas as etapas apresentadas na metodologia, seguem-se os produtos obtidos após o processamento dos dados obtidos pelo VANT: ortofotomosaico e MDT, bem como as análises referente a acurácia posicional absoluta e as análises comparativas entre os produtos obtidos pelo VANT e pelo GNSS.

3.1 ANÁLISE DA ACURÁCIA POSICIONAL DO ORTOFOTOMOSAICO

O ortofotomosaico foi gerado a partir da junção das 223 imagens obtidas durante o voo e depois de passar pelas diversas etapas citadas no item 0 (Figura 18)

Figura 18: Ortofotomosaico



Fonte: O Autor (2017)

Com o ortofotomosaico gerado foi possível então realizar a análise da acurácia posicional absoluta planimétrica do produto obtido, utilizando como referência a ET-PCDG (Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais), e obtendo valores que permitissem a identificação de qual classe do PEC-PCD se enquadra a acurácia posicional obtida para o ortofotomosaico.

Para isso, inicialmente foram identificadas as coordenadas planimétricas dos respectivos pontos no ortofotomosaico e comparadas com as coordenadas levantadas com GNSS, como mostra o Quadro 7.

Quadro 7: Coordenadas planimétricas de referência e homólogas fotoidentificáveis.

Ponto de Verificação	Coordenadas em teste (extraídas do ortofotomosaico)		Coordenadas de referência (levantadas com GNSS)	
	E	N	E	N
P59	297382,877	9135530,993	297382,801	9135531,338
P60	297365,808	9135537,187	297365,755	9135537,464
P68	297725,286	9135432,408	297725,225	9135432,867
P88	297255,919	9135532,273	297255,845	9135532,148

Fonte: O Autor (2018)

Com as coordenadas listadas, calculou-se, conforme apresentado na seção 0, os erros obtidos nas coordenadas. O resultado segue no Quadro 8.

Quadro 8: Erros das coordenadas planimétricas

Ponto de Verificação	eX (m)	eY (m)	eHi (m)	EMQh (m)
P59	0,08	-0,34	0,35	0,33
P60	0,05	-0,28	0,28	
P68	0,06	-0,46	0,46	
P88	0,07	0,13	0,15	

Fonte: O Autor (2018)

Desta forma, analisando os erros obtidos e as classes de PEC encontradas no Quadro 6, o ortofotomosaico é compatível com o PEC Classe A para a escala 1:2.000.

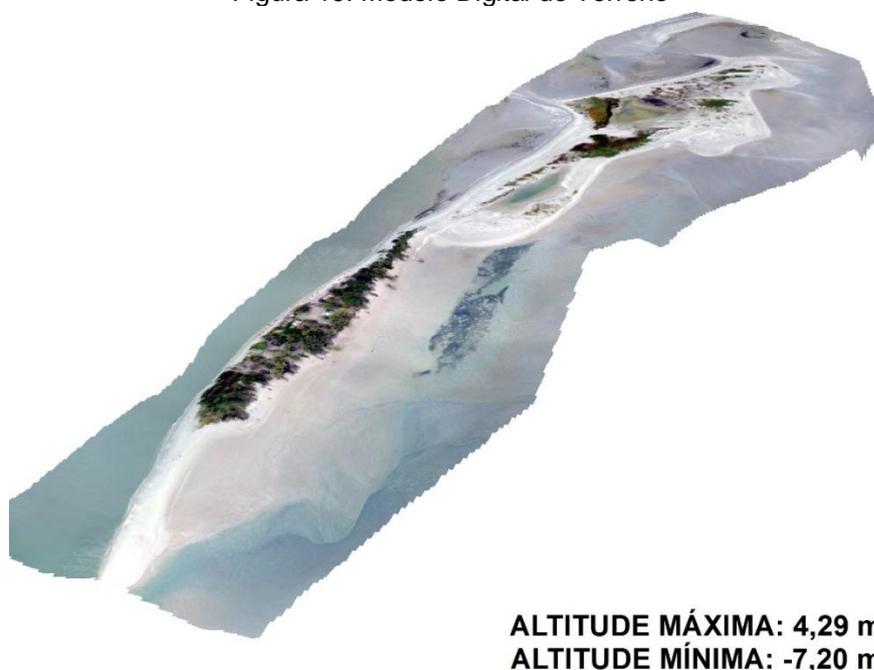
3.2 ANÁLISE DO MODELO DIGITAL DE TERRENO - MDT

O MDT possui uma resolução de 12,1 cm/pixel e foi gerado com uma densidade de 68,2 pontos por m². A seguir pode-se ver Figura 19 uma representação em 3D do

MDT, combinando com o ortofotomosaico. Como a diferença de altitude na área é pequena (valor mais alto: 4,29m; valor mais baixo: -7,20m; diferença de 11,49m) para uma melhor visualização utilizou-se nesta figura um fator de exagero para que fosse possível uma melhor percepção das diferenças no terreno encontrado na ilha.

Analisando o produto, observou-se que os valores com cota abaixo de -3,00 metros foram em estão localizados onde a topografia se aproximava no mar, sem visualização do banco de areia por baixo da mesma. Já os valores mais altos, com valores de cota acima de 3,00 metros estão localizados em pequenos bancos de areia na parte central e mais povoada da ilha.

Figura 19: Modelo Digital de Terreno



Fonte: O Autor (2017)

A análise da acurácia posicional absoluta altimétrica do produto obtido, utilizando como referência a ET-PCDG (Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais), e obtendo valores que permitissem a identificação de qual classe do PEC-PCD se enquadra a acurácia posicional para o MDT foi então realizada.

Para isso, coordenada altimétrica dos pontos de verificação no MDT foram extraídas e comparadas com as coordenadas levantadas com GNSS. Posteriormente calculou-se os erros obtidos, conforme apresentado na seção 0. (Quadro 9)

Quadro 9: Coordenadas altimétricas e seus erros

Ponto de Verificação	Coordenadas em teste (extraídas do MDT)		Coordenadas de referência (levantadas com GNSS)	
	Altitude (m)	Altitude (m)	eZ (m)	EMQz (m)
P59	2,79	3,40	-0,61	0,83
P60	3,46	4,80	-1,34	
P68	2,94	2,86	0,08	
P88	3,25	2,46	0,79	

Fonte: Autor (2018)

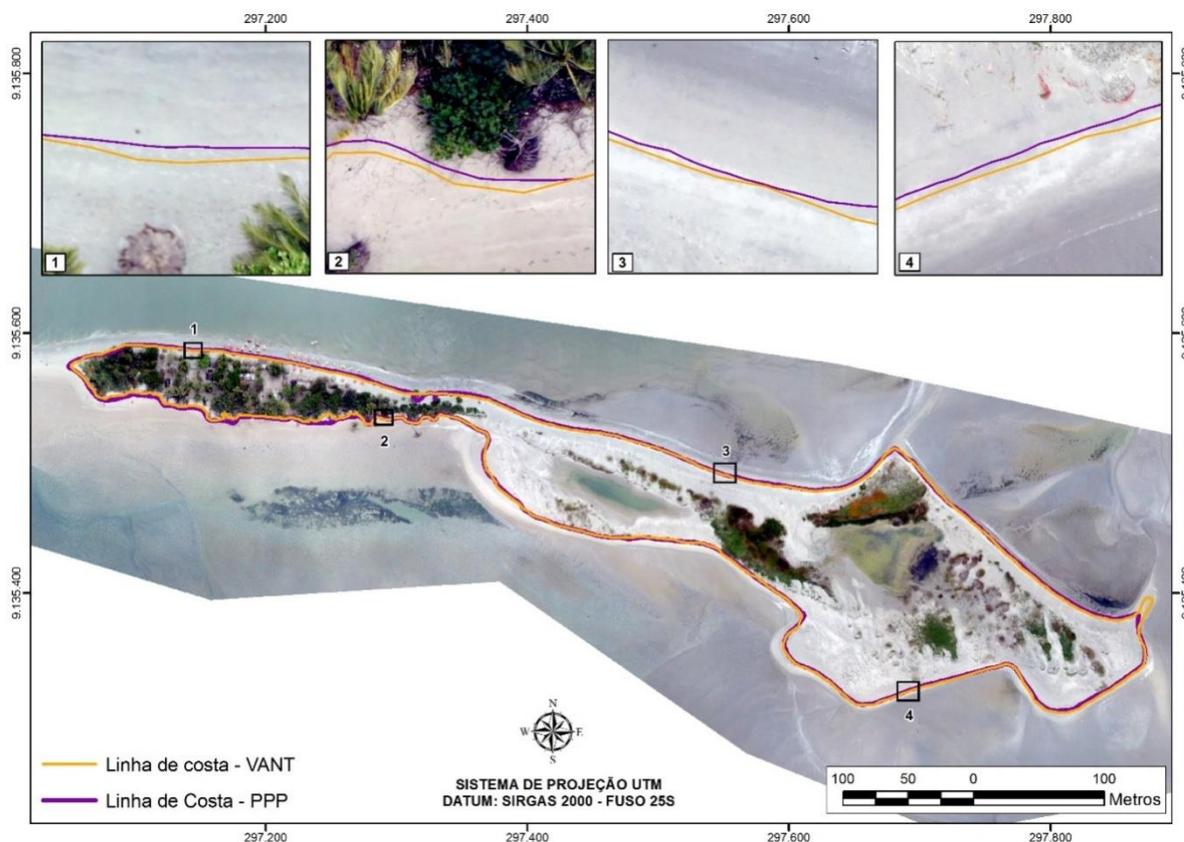
Desta forma, analisando os erros obtidos e as classes de PEC encontradas no Quadro 6, a altimetria do MDT é compatível com o PEC Classe A para a escala 1:10.000.

3.3 ANÁLISE COMPARATIVA DA LINHA DE COSTA – VANT versus GNSS

Uma vez analisadas a acurácia posicional absoluta dos produtos gerados pelo VANT, foi utilizada a técnica de monorestituição para extrair do ortofotomosaico, a linha de costa da área de estudo. Com isso, foi possível realizar comparações entre a linha de costa obtidos por esta técnica e a linha de costa gerada a partir do levantamento GNSS (Posicionamento por Ponto Preciso). A

Figura 20 mostra a sobreposição das duas linhas de costa obtidas no trabalho.

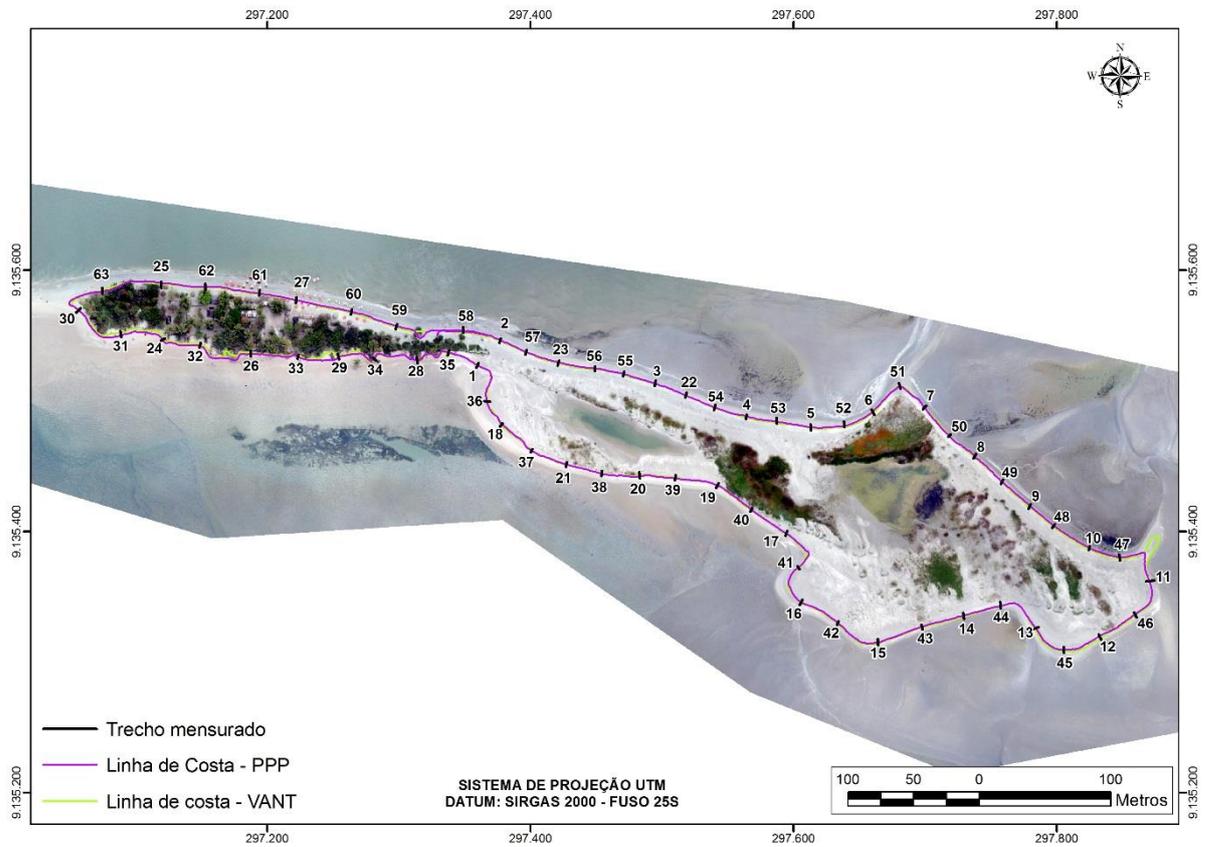
Figura 20: Linhas de costa – GNSS x Ortofotomosaico



Fonte: O Autor (2017)

Inicialmente, para efeito de comparação, as linhas de costa foram transformadas em polígonos de onde foi possível calcular e comparar a área total de ambos. Posteriormente, a partir das duas linhas de costas obtidas foram selecionados de forma aleatória, 63 trechos onde foram medidas as distâncias entre as linhas. A Figura 21 mostra todos os trechos selecionados, observando que os mesmos estão distribuídos ao longo de toda a linha de costa mapeada e espaçados à aproximadamente 30m.

Figura 21: Trechos com diferença entre as linhas mensuradas



Fonte: O Autor (2017)

A seguir, o Quadro 10 apresenta as diferenças obtidas em todos os trechos:

Quadro 10: Diferença entre as linhas de costa

Nº AMOSTRA	DISTÂNCIA LC_{GNSS} - LC_{VANT} (m)	Nº AMOSTRA	DISTÂNCIA LC_{GNSS} - LC_{VANT} (m)
1	0,09	33	0,27
2	0,55	34	-0,15
3	0,30	35	-0,66
4	0,90	36	0,44
5	0,67	37	0,28
6	1,14	38	0,07
7	-0,19	39	0,71
8	0,50	40	-0,41
9	1,30	41	0,40
10	1,16	42	-0,46
11	0,48	43	-0,73
12	-1,85	44	0,00
13	-0,98	45	-1,00
14	-0,76	46	-0,80
15	-0,87	47	0,89
16	-0,57	48	0,22
17	-0,35	49	0,18
18	-1,23	50	-0,36
19	0,43	51	0,04
20	0,97	52	0,86
21	-0,10	53	1,34
22	-0,47	54	0,50
23	0,75	55	0,30
24	1,07	56	0,97
25	0,46	57	0,31
26	0,91	58	0,89
27	0,20	59	1,18
28	-0,21	60	0,97
29	0,56	61	0,67
30	0,06	62	0,50
31	1,67	63	-0,35
32	1,41		

Fonte: O Autor (2017)

A medida entre as distâncias foi obtida sempre utilizando como referência a linha de costa obtida pelo GNSS. Assim, quando a linha de costa obtida através da restituição do ortofotomosaico gerado pelo VANT variou se aproximando do mar, foi

considerada uma variação positiva, já quando o deslocamento foi no sentido do continente, considerou-se uma variação negativa. Essas atribuições não buscam nenhuma análise específica, trata-se apenas de uma forma de diferenciar como se comportou a oscilação da linha de costa. Entretanto, para os cálculos apresentados a seguir foram considerados sempre valores positivos, buscando se obter valores de variação para qualquer sentido.

Assim, analisando os valores obtidos na comparação, foram calculados: média aritmética da diferença, distância máxima, distância mínima, variância e desvio padrão, conforme fórmulas apresentadas na seção 0:

- ✓ Média = 0,64m
- ✓ Distância máxima = 1,85m
- ✓ Distância mínima = 0,00m
- ✓ Variância = 0,175
- ✓ Desvio padrão = 0,42m

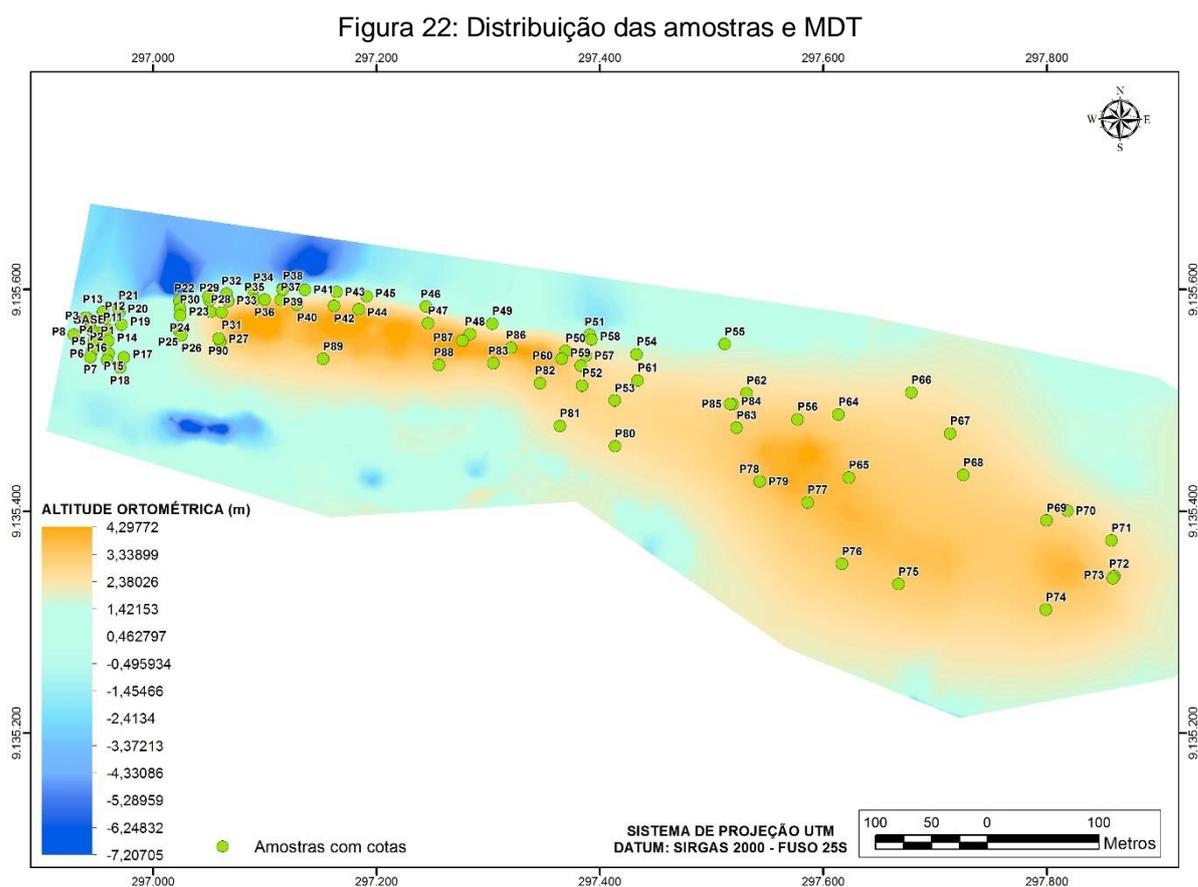
Em relação à área calculada pelos polígonos formados pelas linhas de costa, chegou-se aos seguintes valores:

- ✓ Área do polígono da linha de costa levantada por GNSS: 59.726,12 m²
- ✓ Área do polígono da linha de costa obtida pela fotointerpretação do ortofotomosaico gerado pelo VANT: 59.278,10 m²
- ✓ Diferença entre as áreas: 448,02 m²

Analisando os resultados das medidas estatísticas, observou-se um valor médio de variação entre as linhas de costa de 0,64m, sendo que a distância máxima encontrada nos trechos mensurados foi de 1,85m e a distância mínima de 0,00m, isto é, a LC_{VANT} coincidiu com a LC_{GNSS} neste trecho. Quanto à variância, que é uma medida de dispersão que mostra quão distantes os valores estão da média o valor obtido foi de 0,175m, logo, entende-se que os valores não estão tão distantes da média, mantendo uma certa uniformidade nos trechos analisados. Já em relação ao desvio padrão, o valor obtido de 0,42m está na mesma unidade das medidas.

3.4 ANÁLISE COMPARATIVA ALTIMÉTRICA – MDT VERSUS GNSS

Observando que para ambos os dados, foi utilizado a ondulação geoidal obtida no *software* MAPGEO 2015 para obtenção da altitude ortométrica, foram utilizadas 89 amostras coletadas com GNSS para comparação com as cotas do MDT gerado a partir do VANT. Ver Figura 22.



Fonte: O Autor (2018)

Assim, foi calculado a diferença entre a cota de cada amostra com a cota no MDT, sendo esta extraída exatamente no mesmo local da respectiva amostra. O Quadro 11 mostra então a comparação das cotas.

Quadro 11: Diferença entre cotas: amostras x MDT

PONTO	DIFERENÇA COTAS (m)	PONTO	DIFERENÇA COTAS (m)	PONTO	DIFERENÇA COTAS (m)
BASE	2,66	P32	-0,05	P62	-0,44
P1	2,36	P33	0,63	P63	0,42
P2	2,76	P34	0,18	P64	-0,74
P3	2,13	P35	0,38	P65	-0,89
P4	1,67	P36	0,19	P66	0,47
P5	1,76	P37	0,16	P67	1,04
P6	0,69	P38	0,94	P68	-0,08
P7	-0,05	P39	0,51	P69	0,48
P8	2,78	P40	-0,07	P70	-0,70
P11	2,82	P41	0,87	P71	0,56
P12	2,91	P42	-0,23	P72	0,59
P13	1,82	P43	-0,09	P73	0,61
P14	1,77	P44	-0,34	P74	-0,02
P15	0,74	P45	-0,58	P75	-0,13
P16	0,19	P46	-0,17	P76	-0,08
P17	0,72	P47	-0,08	P77	-0,06
P18	0,38	P48	-0,21	P78	-1,15
P19	3,10	P49	-0,18	P79	-1,16
P20	2,87	P50	-4,60	P80	0,67
P21	1,87	P51	0,33	P81	-0,38
P22	1,27	P52	-0,14	P82	-0,65
P23	0,94	P53	-0,11	P83	-0,79
P24	1,53	P54	-0,45	P84	0,91
P25	-4,86	P55	-0,19	P85	0,91
P26	0,33	P56	-0,05	P86	-0,31
P27	-0,55	P57	-4,34	P87	-4,87
P28	0,94	P58	-0,25	P88	-0,80
P29	0,35	P59	0,62	P89	-0,59
P30	0,09	P60	1,45	P90	-0,41
P31	0,92	P61	0,86		

Fonte: O Autor (2018)

Assim, analisando os valores obtidos na comparação entre as altitudes e desconsiderando se a variação foi negativa ou positiva, foram calculados: média aritmética da diferença, desvio padrão, diferença máxima e diferença mínima, conforme fórmulas apresentadas na seção 0.

- ✓ Média = 0,99m.
- ✓ Diferença máxima = 4,87m.
- ✓ Diferença mínima = 0,02m.
- ✓ Variância = 1,26m.
- ✓ Desvio padrão = 1,12m.

Analisando os resultados das medidas estatísticas, observou-se um valor médio de variação entre as altitudes comparadas de 0,99m, sendo que a distância máxima encontrada nos pontos avaliados foi de 4,87m e a distância mínima de 0,02m. Quanto à variância e ao desvio padrão, os valores obtidos de 1,26m e 1,12m respectivamente, mostram que existe uma desconformidade maior na variação do componente altimétrico, do que no componente planimétrico, avaliado anteriormente.

4 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o ortofotomosaico gerado nesta pesquisa atende a Classe A do PEC-PCD para uma escala de 1:2.000 e que as linhas de costa gerada pelo VANT possuem uma variação média de 0,64m em relação a linha de costa levantada com GNSS, além das medidas de dispersão (variância = 0,175 e desvio padrão = 0,42m). Destaca-se que estes valores encontrados não devem ser generalizados, pois eles são resultados de acordo com as características do experimento proposto, lembrando-se que tanto a obtenção da linha de costa por GNSS e por vetorização a partir do ortofotomosaico gerado pelo VANT depende da interpretação do operador, o que pode diferenciar de pessoa para pessoa, por se tratar de uma feição dinâmica e complexa.

Já o MDT gerado pelo VANT, atende a Classe A do PEC-PCD para uma escala de 1:10.000 e apresentou na comparação com a altitude das amostras levantadas com GNSS uma variação média de 0,99m e valores de dispersão próximos de 1m.

Entre os pontos considerados negativos encontram-se: as dificuldades climáticas encontradas durante o experimento proposto, tendo em vista que o VANT não pode realizar o voo com chuva e/ou ventos fortes o que para este caso atrasou um pouco o experimento até que as condições ficassem favoráveis; outro fator de ordem burocrática que pode vir a ser um problema dependendo do caso é a necessidade de se obtenção da permissão para realização do voo junto ao ANAC e ao DECEA; e por fim também devem ser levadas em consideração algumas falhas que só podem ser detectadas na etapa de processamento das imagens (como por exemplo, a visualização dos alvos pré- sinalizados).

Como aspectos positivos destaca-se que o uso de VANT pode ser considerado para mapeamento em áreas costeiras, sendo capaz de obter produtos com qualidade cartográfica aceitável para levantamentos nesse tipo de ambiente, além de possuir uma grande vantagem na economia de tempo (neste experimento o voo durou 12 minutos e gerou 223 fotografias) e após processamento gerar uma gama de informações cartográficas, tais como: o ortofotomosaico, de onde foi possível extrair diversos elementos que podem ser utilizados em diversas análises, como o caso do modelo digital de superfície, o modelo digital do terreno e curvas de nível. Acrescenta-se ainda o aspecto da resolução temporal, aqui interpretado como a capacidade de realizar um novo levantamento dentro de um curto período de tempo ou de acordo

com a necessidade, oferecendo aos especialistas em áreas costeiras a opção de uma técnica de monitoramento sazonal ou ao longo de um período maior.

5 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir apresentam-se algumas recomendações para futuros trabalhos envolvendo o uso de VANTs para mapeamento da linha de costa e uso de Modelos Digitais de Terreno:

- Uma análise mais cuidadosa sobre o material e tamanho dos alvos pré-sinalizados que irão compor o conjunto de pontos de apoio fotogramétrico, para que não haja prejuízos no uso desses pontos para o processamento dos produtos.

- Utilizar mais pontos de apoio fotogramétrico, principalmente pontos de verificação, para que estes sirvam de mais amostras para análise da acurácia dos produtos gerados.

- Fazer uma nova campanha para detectar mudanças sazonais na área de estudo com o uso do VANT.

- Utilizar parâmetros diferentes no planejamento do voo do VANT e comparar com os resultados obtidos neste trabalho.

- A partir do MDT gerado, extrair perfis de praia e comparar com perfis extraídos com outros métodos.

- Utilizar, especificamente, outros sensores que possam gerar produtos diferenciados, como a câmera *Near Infra-red* – NIR e a câmera multiespectral, utilizadas principalmente para análise de elementos da vegetação.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.
- ALMEIDA, H. R. R. C. **Séries temporais de imagens suborbitais e orbitais de alta resolução espacial na avaliação da morfodinâmica praial no município do Cabo de Santo Agostinho – PE**. Dissertação de Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, UFPE, 2008. 124p.
- AGISOFT. **Agisoft Photoscan Help**. 2016.
- ANAC. **Instrução Suplementar - IS Nº21-002 - Revisão A**. Brasília, 2012.
- ANAC. **Organização da Aviação Civil Internacional (OACI)**. BRASIL, 2016. Disponível em: < https://www.anac.gov.br/A_Anac/internacional/organismos-internacionais/organizacao-da-aviacao-civil-internacional-oaci> Acesso em: 21 de novembro de 2016.
- ANAC. **Orientações para usuários de drones**. Assessoria de Comunicação Social – ASCOM, 1ª Edição. Brasília, 2017.
- ANAC. **Proposta de regulamento - Aeronaves Remotamente Pilotadas**. Brasília, 2015.
- ANGULO, R. J. Classificação da Costa Paranaense com base na sua Dinâmica, como Subsídio à Ocupação da Orla Litorânea. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, Editora da UFPR, n. 44. 1996. p.7-17.
- ASPRS. **Manual of Photogrammetry**. Fourth Edition, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 1980.
- BAPTISTA, P. CUNHA, T., BERNARDES, C., GAMA C., FERREIRA, O., DIAS, A. A Precise and Efficient Methodology to Analyse the Shoreline Displacement Rate. **Journal of Coastal Research**, 2011. p. 223-232.
- BASCOM, W. N., **The relationship between sand-size and beach face slope**. Transactions, American Geophysical Union. USA, v. 32, p. 866-874, 1951.
- BATMAP; **Mapeamento Aéreo**. BRASIL, 2016. Disponível em: < <http://batmap.com.br/>> Acesso em: 21 de novembro de 2016.
- BERTEL, L.; **Ensayo y modelado de prototipo de vehículo aéreo híbrido de aterrizaje y despegue vertical de largo alcance**. Comisión Nacional de Energía Atómica da Argentina. 2017
- BIO, A. et al. Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two portuguese case studies. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, 15(1):47-63. DOI: 10.5894/rgci490. 2014.

BOAK, E.H. AND TURNER, I.L.; Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, 21(4), 688–703. West Palm Beach (Florida), 2015. ISSN 0749-0208.

BRASIL. **Código Brasileiro de Aeronáutica. Lei 7.565/86**. Brasília, 1986. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7565.htm > Acesso em: 21 de novembro de 2016.

BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. 1984**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 5 nov. 2012.

BRASIL. **Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Diretoria de Serviço Geográfico – Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro. 2ª Edição. 2011.

BRASIL. **ICA 100-40: Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, Departamento de Controle do Espaço Aéreo. 2015.

BRASIL. **Normas da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Diretoria de Serviço Geográfico – Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro. 1ª Edição. 2016.

CAMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V; **Introdução à ciência da geoinformação**. INPE-10506-RPQ/249, São José dos Campos, 2001. 345p.

CARNEIRO, M, C, S, M. **Monitoramento das dunas utilizando o sistema de mapeamento a laser (lidar) aerotransportável: um estudo do campo de dunas do município de Rio do Fogo-RN - Brasil**. Tese de Doutorado em Geociências: área de concentração Geologia sedimentar e ambiental, 2011.

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

DECEA. **Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro. ICA 100-40**. Brasília, 2015.

DIAS, G.O. **Projeto de um drone híbrido**. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2017.

DOCTORDRONE. **Doctor Drone – Quase tudo sobre drones**. 2016. Disponível em: <JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.> Acesso em: 20 de Setembro de 2016.

DRONEENG; EJECART. **Case Técnico: Topografia x Fotogrametria**. São Paulo, 2016. Disponível em: < <http://conteudo.droneng.com.br/webinar-fotogrametria-x-topografia>>. Acesso em: 29 de abril de 2017.

DRONEENG. **Planejamento de voo**. 2015. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/planejamento-de-voo>>. Acesso em: 08 de maio de 2017.

EMBRATOP. **Topcon GPS Hiper Lite**. 2017. Disponível em: <<http://www.embratop.com.br/produto/topcon-gps-hiper-lite/>> Acesso em: 20 de Setembro de 2017.

ESRI. **Digital Globe**. Imagem Basemap, ArcMap. 2016.

FARIAS, R. D.; **Estudo comparativo de métodos de posicionamento GNSS para o mapeamento da linha de costa**. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014.

FERREIRA, Thiago Rios. **Volume útil de pilha de granel com retomada inferior**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

GARCÍA-BALBOA, J. L. Normas de Calidad. En: **Experto Universitario em Evaluación de La Información Geográfica (4ª Edición)**. Master Universitario em Evaluación y Gestión de La Calidad de La Información Geográfica (1ª Edición). Jaén: Universidad de Jaén, 2011.

GOMES, R.C.; **Perfil Praial de Equilíbrio da Praia de Meaípe – ES**. Trabalho de Conclusão de Curso de Oceanografia – Univ. Federal do Espírito Santo. Vitória, 2004.

GONÇALVES, R. M. **Modelagem de tendência a curto-prazo da linha de costa através de dados geodésicos temporais utilizando regressão linear, estimativa robusta a redes neurais artificiais**. Curitiba, UFPR. Tese de doutorado, programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas, 2010. 152p.

GONÇALVES, R. M.; KRUEGER, C. P.; COELHO, L. S.; HECK, B. Monitoramento Geodésico da Linha de Costa com o emprego do GNSS. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO RECIFE – PE. p. 1-5, **Proceedings**, 2010

GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; KRUEGER, C. P.; HECK, B.; COELHO, L. A comparison between three short-term shoreline prediction models. **Ocean & Coastal Management**, v. 69, 2012a. p. 102-110.

GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; KRUEGER, C. P. GNSS-based monitoring and mapping of shoreline position in support of planning and management of Matinhos/PR (Brazil). **Journal of Global Positioning Systems** (Print), v.11, 2012b. p.156-168.

GONÇALVES, R. M.; PACHECO, A. D. P.; TANAJURA, E. L. X.; SILVA, L. M. Urbanização costeira e sombreamento na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, 2013. p.241-255.

GONCALVES, R. M.; AWANGE, J. L. Three Most Widely Used GNSS-Based Shoreline Monitoring Methods to Support Integrated Coastal Zone Management Policies. **Journal of surveying Engineering**, v. 143, p. 05017003-05017003-11, 2017.

GREGÓRIO, M. N. **Evolução da linha de costa e caracterização da plataforma continental interna adjacente à cidade do Recife – PE**. Tese de doutorado em Oceanografia, UFPE, 2009, 173p.

HORUS. **Horus Aeronaves – Câmeras: o mito do megapixel. 2016**. Disponível em: <http://horusaeronaves.com/cameras-o-mito-do-megapixel/> Acesso em: 6 de Abril de 2017.

JACKSON, C. W. Jr., ALEXANDER, C. R., BUSH, D. M. Application of the AMBUR R package for spatio-temporal analysis of shoreline change: Jekyll Island, Georgia, USA. **Computers & Geosciences**, 31, p.199-207, 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

KING, C.A.M. **Beaches and coasts**. Arnold, London, 1959. 403 p.

KOMAR P, D. **Beach Processes and Sedimentation**. Englewood Cliffs, N.Y. Prentice-Hall, 1976. 429 p.

LEICA. **Leica Viva GS15**. Disponível em: < <http://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/smart-antennas>>. Acesso em: 29 de novembro de 2016.

LELONG, C. C. D.; BURGER, P.; JUBELIN, G.; ROUX, B.; LABBÉ, S.; BARET, F. **Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots**. *Sensors*, v. 8, p. 3557-3585, 2008. <http://dx.doi.org/10.3390/s8053557>

LI, R.; DI, K.; MA, R. A comparative study of shoreline mapping techniques. In: 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER MAPPING AND GIS FOR COASTAL ZONE MANAGEMENT, **Proceedings**, Nova Scotia, 2001. p. 18-20.

LIGNON, M.C.; MENGHINI, R.P.; SANTOS, L.C.M.; DINÓIA, C.N. NOVELLI, Y.S.; Estudos de caso nos manguezais do estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de ferramentas com diferentes escalas espaço-temporais. **Journal of Integrated Coastal Zone Management** 9(1):79-9. 2009

LIRA, J.N. **Estudo sedimentológico e evolutivo da Coroa do Avião, Itamaracá-PE**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Geociências. Recife, 2010.

LUCIEER, A.; JONG, S.M.; TURNER, D. **Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography**. *Progress in Physical Geography*, Vol. 38(1). 2014. p. 97–116

MALLMANN, D.L.B. **Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à Erosão**. Dissertação de Mestrado em Oceanografia, UFPE. 2008. 61p.

MANSO, V.A.V.; TOLDO JR, E.E.; MEDEIROS, C.; ALMEIDA, L.E.S.B; **Perfil Praia de Equilíbrio da Praia de Serinhaém, Pernambuco**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Vol.2, Nº1. 2001, p. 45- 49.

MANSO, V. A.; COUTINHO, P. N.; GUERRA N. C.; SOARES JR., C.F.A. **Erosão e progradação do litoral brasileiro – Capítulo Pernambuco**, Dieter Muehe, organizador – Brasília, Ministério do Meio Ambiente, MMA, 2006, p.179 - 196.

MARANHÃO, V. C. **Modelagem e controle de qualidade de uma infraestrutura de dados espaciais para o Estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Recife, 2013.

MARTINS, T.L.; GONÇALVES, R.M.; Análise dos métodos de mapeamento e processamento GNSS aplicados na determinação das coordenadas da trajetória da linha de costa. XXI CONIC – V CONITI, UFPE. Recife. **Proceedings**, 2013.

MENDONÇA, F.J.B. **Posicionamento de alta resolução adequação e aplicação à morfologia costeira**. Tese de doutorado em Oceanografia, UFPE, 2005, 94p.

MENDONÇA, F. J. B.; LIMONGI, C. M.; ROLLNIC, M. Morphogenesis of the Coroa do Avião, a Sand Bank/Barrier Islet at Northeastern-Brazil. **Journal of Coastal Research**, v.SI-39, 2006. p.290-293.

MENDONÇA, F.J.B.; MENDONÇA, R.L. Determinação da linha de costa das praias do município de Recife-PE. III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. Recife. **Proceedings**, 2010.

MENDONÇA, F.J.B.; GONÇALVES, R.M.; AWANGE, J.; DA SILVA, L.M.; GREGÓRIO, M.N. Temporal shoreline series analysis using GNSS. BCG – **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v.20, nº3, Curitiba, 2014. p.701-719.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. Ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

NIJLAND, W.; RESHITNYK, L.Y.; STARZOMSKI, B.M.; REYNOLDS, J.D.; DARIMONT, C.T., and NELSON, T.A. Deriving rich coastal morphology and shore zone classification from LIDAR terrain models. **Journal of Coastal Research**, 2016.

OACI. **Convention of International Civil Aviation. Chicago - EUA. 1944**. Disponível em: < http://www.icao.int/publications/Documents/7300_1ed.pdf> Acesso em: 21 de novembro de 2016.

OZCOASTS. **Australian Online Coast Information**. Austrália, 2016. Disponível em: < http://www.ozcoasts.gov.au/indicators/beach_erosion.jsp> Acesso em: 21 de novembro de 2016.

PEDRUZZI, C.V. **Perfil praias de equilíbrio da praia de Camburi – ES**. Trabalho de Conclusão de Curso de Oceanografia – Univ. Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.

PELÁEZ, J.; MCGOWAN, J.A. **Phytoplankton pigment patterns in the California Current as determined by satellite**. *Limnology and Oceanography*, DOI: 10.4319/lm.1986.31.5.0927. 1986.

PEREIRA, P.S.; CALLIARI, L.J.; HOLMAN, R.; HOLLAND, K.T.; GUEDES, R.M.C.; AMORIN, C.K.; CAVALCANTI, P.G. **Video and field observations of wave attenuation in a muddy surf zone**. *Marine Geology*, 279: 210-221. 2011.

PÉREZ-ALBERTI A, TRENHAILE A.S. **An initial evaluation of drone-based monitoring of boulder beaches in Galicia, north-western Spain**. *Earth Surf Process Landf* 40(1). Espanha, 2015. p. 105–111

PILKEY, O. H.; THIELER, E. R. Erosion of the United States shoreline. *Quaternary Coast of the United States: Marine and Lacustrine Systems*. **SEPM Special Publication**, n. 48, 1992. 7p.

RESENDE, D.C.R; **Drones e VANT's: Conceitos básicos e seu uso na engenharia de avaliações e perícias**. Saletto Educação, 2015.

RIBEIRO, G. P. **Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro**. Tese (Doutorado) Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense – UFF, Rio de Janeiro-RJ, 2005.

RIDOLFI E.; MANCIOLA P. **Water level measurements from drones**. University of Perugia, Department of Civil and Environmental Engineering, Perugia, Italy, 2018. doi:10.20944/preprints201801.0093.v1

ROCHA, C. P.; ARAÚJO, T.C.M.; MENDONÇA, F.J.B. Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, n.8, 2008. p.127-137.

ROLLNIC, M. **Dinâmica das ondas e circulação no litoral da Região Metropolitana do Recife – Implicações para transporte de sedimentos e estabilidade da costa**. Tese de Doutorado em Oceanografia, UFPE. 2008. 124p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin-New York, Walter de Gruyter. 2 nd revised edition, 2003, 589p.

SHALABY, A.; TATEISHI, R.; **Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt**, *Appl. Applied Geography* 27, Japão. Janeiro, 2007.

SHEPARD, F.P. **Submarine Geology**. 3rd Ed, New York: Harper & Row. New York, 1973.

SILALAH, B.J.; PANJAITAN, A.M.; FERYANDI, F.T.H.; SIDABUTAR, P.; NOVIJANDRI, A. **Implementing Remote Sensing and Drone Mapping Technology for Land Management in Indonesia's Boundary Zone**. FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch. Nova Zelândia, 2016.

SILVA, L.M.; GONÇALVES, R. M.; LIRA, M. M. S.; PEREIRA, P. S. **Modelagem fuzzy aplicada na detecção da vulnerabilidade à erosão costeira**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v.19, 2013. p.746-764.

SMITH, M. J., CROMLEY, R. G. **Measuring Historical Coastal Change using GIS and the Change Polygon Approach**. *Transactions in GIS*, 16(1), 2012. p.3-15.

SOARES, C. R. **Processos costeiros e erosão marinha**. Exame geral de qualificação de doutorado. UNESP – Universidade Estadual Paulista, Curso de pós-graduação em Geociências, área de concentração em geociências e meio ambiente, Rio Claro - SP, 1995. 147p.

SOUZA, C. R. G. Coastal erosion and the coastal zone management challenges in Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*. v. 9, 2009. p.17-37.

STOCKDON, H. F., SALLENGER JR., ASBURY H., JEFFREY, H. LIST, HOLMAN. R. A. Estimation of Shoreline Position and Change using Airborne Topographic Lidar Data. *Journal of Coastal Research*, 18, 3, 2002. p.502- 513.

STOFFLE, R.W.; HALMO,D.; WAGNER, T.W.; LUCZKOVICH,J.J; **Reefs from space: Satellite imagery, marine ecology, and ethnography in the Dominican Republic**. *Human Ecology*, Vol. 22, Nº 3, 1994.

STOKER, J., TURNIPSEED,D.P., WILSON K.V. Using Regional-scale Pre- and Post Hurricane Katrina Lidar for Monitoring and Modeling, **Recent Hurricane Research - Climate, Dynamics, and Societal Impacts**, Prof. Anthony Lupo (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/14127. 2011.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia marinha**. T.A. Queiroz, São Paulo, SP, 1992. 171p.

TANAJURA, E. L. X.; KRUEGER, C. P.; GONÇALVES, R. M. Análise da Acurácia dos Métodos Cinemáticos de Posicionamento GPS em Aplicações Costeiras. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v.17, n.1, 2011. p.23-36.

TEOMAC. **Sistema Leica Viva GS15**. 2016. Disponível em: < <http://www.teomac.com.br/wpcproduct/receptor-leica-viva-gs15/> > Acesso em: 29 de novembro de 2016.

TOMMASELLI, A.M.G.; **Fotogrametria Básica – Introdução**. Cap.1. 2009.

TOPCON. **Hiper Lite + Completely cable-free, Integrated GPS+ RTK system**. EUA, 2008. Disponível em: < http://www.georgiasurveyors.com/Brochures/GPS/Topcon/GPS%20Receivers/HiPerLitePlus_Broch_REVC.pdf > Acesso em: setembro de 2017.

THIELER, E. R., DANFORTH W. W. Historical Shoreline Mapping (I): Improving Techniques and Reducing Positioning Errors. **Journal of Coastal Research**, 1994. p.549-563.

TURNER, IAN L.; HARLEY, MITCHELL D.; DRUMMOND, CHRISTOPHER D. UAVs for coastal surveying. **Coastal Engineering**, vol. 114. Abril de 2016. p. 19-24.

VOUSDOUKAS, M.A.; PENNUCCI, G.; HOLMAN, R.A., AND CONLEY, D.C. A semi-automatic technique for rapid environmental assessment in the coastal zone using small unmanned aerial vehicles (SUAVs). In: Furmanczyk, K.; Giza, A., and Terefenko, P. (eds.), ICS 2011 Proceedings, **Journal of Coastal Research**, Special Issue No. 64, 2011. p. 1755–1759.

WHITE, K.; ASMAR, E. L. **Monitoring changing position of coastlines using thematic mapper imagery, an example from the Nile Delta**. *Geomorphology*, v. 29, 1999. p. 93- 105.

WOLF, P.R.; DEWITT, B.A.; WILKINSON, B.E. **Elements of Photogrammetry with Application in GIS**. 4rd edition. USA: McGraw-Hill, 2014.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A.D. **Morphodynamics variability of surf zones and beaches: A synthesis**. *Marine Geology*, 56. Amsterdam, 1984. p.93-118.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J. A. J. **Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera**. *Remote Sensing of Environment*, v. 117, p. 322-337, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.007>

ZUMBERGE, J.F; HEFLIN, M.B.; JEFFERSON, D.C.; WATKINS, M.M.; WEBB, F.H.; Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. **Journal of Geophysical Research**, Vol. 102, nº B3, Pasadena, 1997. p. 5005-5017.

APÊNDICE A - AVALIAÇÃO DE RISCO OPERACIONAL

A aeronave utilizada no presente estudo, possui um peso máximo de decolagem de 2,6 kg. A Agência Nacional de Aviação Civil no documento de orientações para usuários de drone (ANAC, 2017), exige a elaboração de uma avaliação de risco operacional para operações com aeronaves com peso máximo de decolagem superior a 250g, desta forma a avaliação exigida será apresentada a seguir.

Características da aeronave

O VANT utilizado na pesquisa foi o Batmap. Como pode ser visto na Figura 01, o Batmap é um VANT de asa fixa e mede 1950 mm de uma asa a outra e 705 mm da hélice ao limite vertical.

Figura 01: Batmap
Fonte: Batmap (2016)



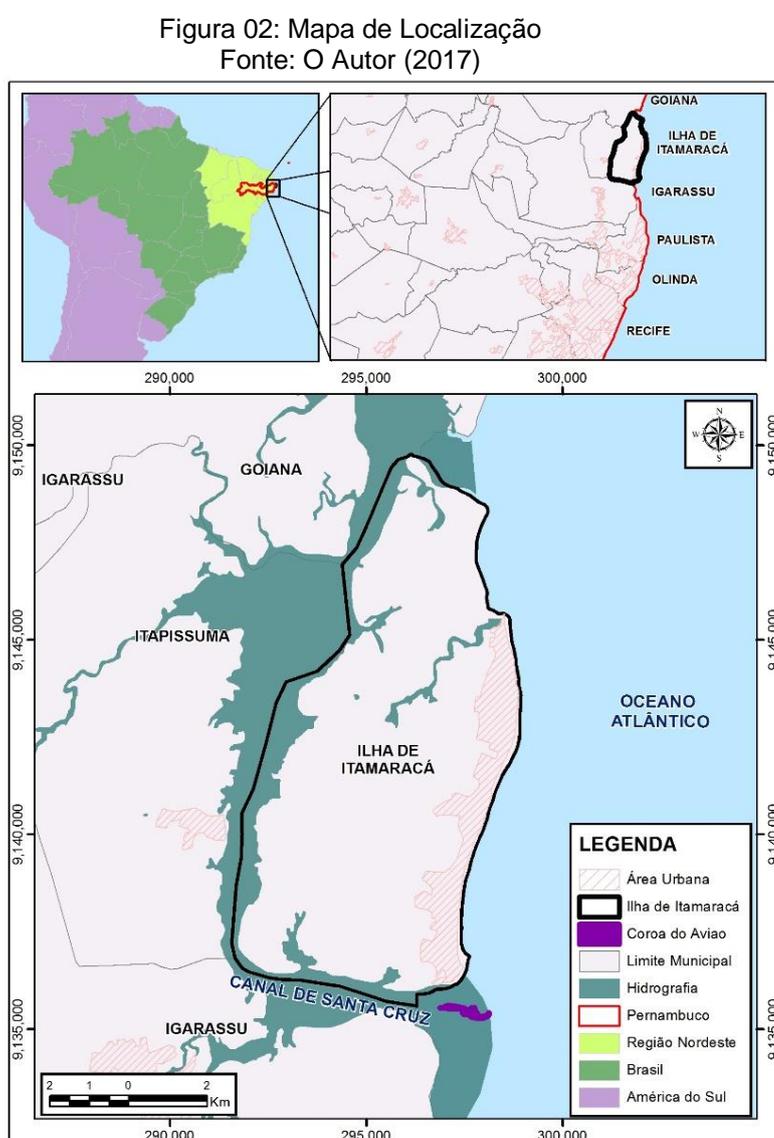
O Batmap apresenta as seguintes especificações técnicas:

- ✓ Estrutura em EPO e Fibra de Carbono
- ✓ Autonomia de 90 minutos
- ✓ Raio de operação de 6 km
- ✓ Velocidade de cruzeiro: 45 km/h
- ✓ Teto operacional: 3.500 m (ASL)
- ✓ Decolagem, navegação e pouso automáticos
- ✓ Peso: 2,6 kg (incluindo câmera e bateria)

Área do voo

A área de estudo do presente estudo é conhecida como Coroa do Avião e está localizada no município de Igarassu-PE. Segundo Lira (2010), esta pode ser considerada uma ilhota ou ilhéu (ilha de tamanho reduzido), que se formou a partir da descarga e acumulação de sedimentos ao sul (desembocadura) do Canal de Santa Cruz, uma falha geológica que separa a Ilha de Itamaracá do resto do continente.

A Figura 02 mostra a localização da área de estudo no âmbito continental, nacional, estadual e municipal.



Atualmente, a coroa do avião mede aproximadamente (varia de acordo com o ciclo das marés) 1.000 m de comprimento e 230 m de largura máxima. (Figura 03)

Figura 03: Coroa do Avião
Fonte: a) Esri – Digital Globe (2016) b) O Autor (2017)



Características do voo

O voo será realizado no dia 26 de agosto (sábado), entre 7hs e 12hs da manhã. Para garantir que o levantamento através do VANT abranja toda a área de estudo, foi delimitada uma área de 28 ha, suficiente para cobrir toda a área da Coroa do Avião.

O voo irá durar aproximadamente 12 minutos e aeronave sobrevoará a ilha a uma altura de 120 m, a uma velocidade de aproximadamente 11 m/s (39,6 km/h).

Risco operacional

Risco pode ser definido como a probabilidade de insucesso de uma operação, em função de uma eventual ocorrência. No caso deste trabalho, será avaliado então o risco que a aeronave pode causar para pessoas e/ou meio ambiente, desde o seu lançamento até o pouso.

A aeronave possui um sistema de segurança que permite ao piloto solicitar o retorno da mesma para o ponto de lançamento a qualquer momento. Entretanto, mesmo com esse sistema, o principal risco da operação é o da aeronave cair em solo ou na água, seja por falha humana, técnica ou por condições climáticas adversas.

Um detalhe importante é que a operação será VLOS, isto é, o piloto e a equipe de apoio manterá o contato visual direto com a RPA, sem auxílio de lentes ou outros equipamentos. Isto facilitará qualquer reação que precise ser tomada caso a aeronave perca altitude e venha a cair.

Precauções tomadas

As seguintes precauções foram tomadas antes da realização do voo:

- ✓ No momento do voo, cerca de 30 pessoas estavam presentes, entre a equipe técnica responsável e pessoas que trabalhavam em sete barracas comerciais existentes na ilha. Todas as pessoas foram avisadas sobre o procedimento.
- ✓ Em caso de queda em solo que ocasione explosão e/ou incêndio, a equipe de lançamento estará de posse de um extintor de incêndio, além de um kit de primeiros socorros para atender eventuais lesões.

Considerações Finais

A equipe técnica responsável pelo voo sente-se totalmente preparada para a execução do aerolevante com o VANT. A experiência dos pilotos, com mais de 200 voos realizados com esta aeronave, e o fato de todos (exceto o seguro de danos a terceiros) as autorizações/licenças exigidas nas normas/leis de órgãos como ANAC, DECEA e ANATEL também é um fator que passa segurança na realização deste voo.

ANEXO A – TÁBUA DAS MARÉS PORTO DE RECIFE

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN)
CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM)
BANCO NACIONAL DE DADOS OCEANOGRÁFICOS (BNDO)



PREVISÕES DE MARÉS

[Clique aqui para uma nova consulta](#)

PORTO DO RECIFE (ESTADO DE PERNAMBUCO)

Latitude: 08°03,4'S
Instituição: DHN

Longitude: 034°52,1'W
15 Componentes

Fuso: +03.0
Nível Médio: 1.28 m

Ano: 2017
Carta: 00902

Lua	Dia	Hora	Alt.(m)
☾	SEG 21/08/2017	03:17	2.5
		09:43	0.1
		15:47	2.4
		21:56	0.2
	TER 22/08/2017	04:02	2.5
		10:24	0.1
		16:26	2.4
		22:38	0.2
	QUA 23/08/2017	04:45	2.5
		11:04	0.1
		17:06	2.4
		23:17	0.2
	QUI 24/08/2017	05:24	2.5
		11:45	0.2
		17:47	2.3
		23:56	0.3
	SEX 25/08/2017	06:06	2.4
		12:23	0.3
		18:24	2.2
	SÁB 26/08/2017	00:38	0.4
		06:49	2.2
		13:02	0.5
		19:06	2.1
	DOM 27/08/2017	01:19	0.5
		07:32	2.0
		13:47	0.7
		19:54	1.9

ANEXO B – CADASTRO SISANT

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERATIVE 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	
<p>Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até 05/05/2019, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.</p> <p><i>This Register Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid until 05/05/2019, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i></p> <p>Operador (Operator) LM ENGENHARIA E CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA - EPP LM ENGENHARIA E CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA CNPJ (document): 23.888.202/0001-17</p>	<p>Nº do cadastro (Register Number): PP-027052016</p> <p>Uso (Purpose): não recreativo (non-recreational) Ramo de atividade (Business): Aeroagrícola Fabricante (Maker): NUVEM COMERCIO DE ELETRONICOS LTDA ME Modelo (Model): BATMAP 1 Nº de série (Serial Number): 000005 Peso máximo de decolagem (MTOW): 2,60 kg Foto (Picture):</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<p>O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.</p>	<p>Informações adicionais (additional information):</p>
<p>O detentor desta certidão de cadastro (o operador) é considerado apto pela ANAC a realizar voos recreativos e não recreativos no Brasil, com a aeronave não tripulada acima identificada, em conformidade com os regulamentos aplicáveis da ANAC. É responsabilidade do operador tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, da Anatel, e de outras autoridades competentes.</p> <p><i>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, using the above identified unmanned aircraft, 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</i></p>	
<p>A validade desta certidão pode ser verificada pelo link https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave</p>	
<p>Local e data da emissão (Place and date of issue) Brasília, 5 de maio de 2017 Brasília, May 5th, 2017</p>	
<p>Esta certidão de cadastro não é válida para aeronaves não tripuladas acima de 25 kg de peso máximo de decolagem, ou em voos além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés ou 120 metros acima do nível do solo (AGL). <i>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).</i></p>	

ANEXO C – AUTORIZAÇÃO DO VOO**SOLICITAÇÃO DE VOO #083A21****APROVADO**

<p>Operação</p> <ul style="list-style-type: none">• Solicitante: LEONARDO NINOMIYA MALTA• Objetivo: AEROLEVANTAMENTO/AEROFOTOGRAMETRIA• Tipo/Regra: VLOS/V• Payload:	<p>Equipamento</p> <ul style="list-style-type: none">• Nº SISANT: PP-027052016 <p>Ver Certificado SISANT</p>						
<p>Localização</p> <ul style="list-style-type: none">• Decolagem Lat: -7.817742865790622 Lng: -34.83541488647461• Destino Lat: -7.817742865790622 Lng: -34.83541488647461• Área: 500m• Altura: 100ft	<p>Piloto</p> <ul style="list-style-type: none">• Nome: LEONARDO NINOMIYA MALTA• Código: TDAZ• CPF: 048.***-***-96						
<p>Janela de Operação</p> <table><thead><tr><th>Data</th><th>Início</th><th>Fim</th></tr></thead><tbody><tr><td>27.08.2017</td><td>07:00 UTC</td><td>07:30 UTC</td></tr></tbody></table>		Data	Início	Fim	27.08.2017	07:00 UTC	07:30 UTC
Data	Início	Fim					
27.08.2017	07:00 UTC	07:30 UTC					