

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

JOÃO PAULO GAYA

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DA
DINÂMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS: ESTUDO DE CASO DA PRAIA DE
NAVEGANTES (SC)

Florianópolis (SC)

Agosto de 2021

JOÃO PAULO GAYA

UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DA
DINÂMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS: ESTUDO DE CASO DA PRAIA DE
NAVEGANTES (SC)

Dissertação apresentada ao
Mestrado Profissional em
Clima e Ambiente do
Campus Florianópolis do
Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção do
diploma de Mestre em Clima
e Ambiente.

Orientador: Dr. Thiago
Pereira Alves.

Florianópolis (SC)

Agosto de 2021

CDD 551.6
G285u

Gaya, João Paulo

Utilização de veículo aéreo não tripulado no monitoramento da dinâmica sedimentar de praias: estudo de caso da praia de Navegantes (SC) - [DIS] / João Paulo Gaya; orientação de Thiago Pereira Alves – Florianópolis, 2021.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Erosão costeira. 2. Restinga. 3. Morfologia de praias. 4. Drone. I. Alves, Thiago Pereira. II. Título.

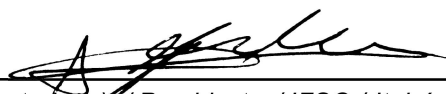
Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

Aluno (a): JOAO PAULO GAYA

Título:	UTILIZACAO DE VEICULO AEREO NAO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DADINAMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS: ESTUDO DE CASO DA PRAIA DE NAVEGANTES (SC)
----------------	---

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora em
cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente**

Dr(a). THIAGO PEREIRA ALVES


Orientador(a) / Presidente / IFSC / Itajaí – SC

Participação: () Presencial (X) Videoconferência
() Aprovado () Reprovado

Dr(a). LUIS ANTONIO DE OLIVEIRA PROENCA

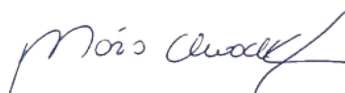


Documento assinado digitalmente
LUIS ANTONIO DE OLIVEIRA PROENCA
Data: 23/08/2021 10:36:17-0300
CPF: 379.917.950-04

Avaliador(a) Interno / IFSC / Itajaí – SC

Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(x) Aprovado () Reprovado

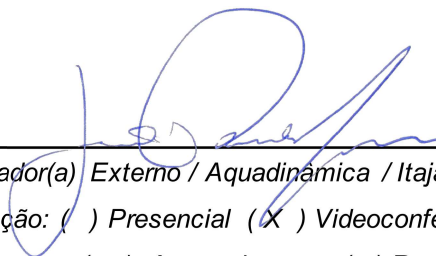
Dr(a). MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO



Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(x) Aprovado () Reprovado

Dr(a). JOÃO THADEU DE MENEZES



Avaliador(a) Externo / Aquadínâmica / Itajaí - SC

Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(x) Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(x) unanimidade

Florianópolis, 06 de agosto de 2021.

Dedicatória – Dedico esse trabalho à sociedade brasileira, que mantém as instituições públicas de ensino através do pagamento de impostos. Esse trabalho é uma forma que tenho de retornar a vocês (sociedade) parte dos impostos pagos.

AGRADECIMENTOS

Por ordem cronológica, agradeço primeiramente ao meu amigo Ivan Ternes, que foi quem me deixou a par do processo seletivo. Sem ele, não teria conhecimento do Curso de Mestrado.

À minha família, que teve a paciência e me apoiou incondicionalmente, como sempre fez.

Aos meus amigos de turma, especialmente ao Evandro Oscar Mafra, Cristiane Rosa e Gisely de Sá Ribas pelas risadas semanais durante o trajeto entre Itajaí e Florianópolis.

Ao Centro Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil, pela disponibilização de dados sobre os avisos de ressaca no mar e mau tempo, de modo especial à Primeiro-Tenente Fabiana Franco, ao Primeiro-Tenente Fellipe Romão Sousa Correia, ao Segundo-Sargento Eliézer da Cunha Santana e a Terceiro-Sargento Andreza de Lira Reis pela atenção e ajuda.

À equipe do Centro de Documentação e Memória Histórica (CDMH) de Itajaí pela disponibilização do seu acervo para pesquisa.

À PORTONAVE por permitir o uso dos relatórios técnicos do Projeto Nossa Praia como referências para o trabalho.

Aos professores pela transmissão de conhecimento.

Ao Dr. Marcos Leandro dos Santos do Instituto Ambiental de Navegantes (IAN) pela amizade e Co orientação.

Ao Engenheiro Luiz Carlos dos Santos Córdova Júnior, amigo, compadre, irmão e Co orientador. Tua amizade foi uma das melhores coisas que aconteceu na minha vida!

Ao Dr. Thiago Pereira Alves, pela amizade, ensinamentos, paciência e orientação.

A Deus pela graça de viver, de acordar todos os dias e saber que ainda existe muito a ser feito!

RESUMO

Veículos aéreos não tripulados (VANT), conhecidos por drones, têm sido utilizados em diversos setores, como segurança pública, fiscalização ambiental, agricultura e no monitoramento ambiental. Neste trabalho, o monitoramento da dinâmica sedimentar de duas regiões distintas da Praia de Navegantes (SC), foi realizado entre os meses de abril e julho de 2019 com a utilização de um VANT tipo quadrirotor, equipado com uma câmera com sensor de 20 megapixels de 1 polegada. Foram realizados seis sobrevoos em cada uma das regiões estudadas. A aerofotogrametria desses locais foi realizada a uma altura pré-definida de 100 metros, tendo sido registrada por meio de memorial de processamento com a sobreposição lateral de 65% e frontal de 75% entre as imagens obtidas. As imagens de cada levantamento foram tratadas no software Agisoft PhotoScan. Foram geradas ortofotos georreferenciadas e imagens 3D, o que possibilitou calcular os volumes de erosão ou acreção. Os resultados demonstraram que ambos os locais estudados estão suscetíveis tanto aos processos de acreção quanto de erosão provocados pelas ressacas. A média de sedimentos estimada na região Norte foi de 19.356,63 m³ dentro de uma área média de 29.073,82 m², com uma erosão média de 1.453,69 m³, enquanto na região Sul a média de sedimentos estimada foi de 138.426,32 m³ dentro da área média de 58.733,45 m², com uma acreção média de 2.936,67 m³. Em termos proporcionais, o volume de sedimentos na região Sul é 3,537 vezes superior à região Norte. A região Norte apresenta sérios problemas de erosão praial com redução drástica da faixa de restinga. Contrastando com a região Sul, que possui uma faixa de restinga bem desenvolvida, resultado de um processo de recuperação ambiental iniciado há 10 anos. A utilização do drone demonstrou grande eficácia no monitoramento do processo de dinâmica sedimentar em ambientes costeiros e a metodologia utilizada foi desenvolvida de modo que possa ser aplicada e operacionalizada pelas administrações municipais e estaduais.

Palavras-Chave: Drone. Restinga. Erosão costeira; Morfologia de praias; Praias expostas.

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicle (UAV), also known as drones, have been used in several fields, such as public security, environmental control, agriculture, and environmental monitoring. In this work, the monitoring of sediment dynamics of two different regions of Navegantes Beach (in Santa Catarina state, Brazil), was realized within April and July 2019, using a *quadrirotor* UAV equipped with a 1 inch 20-megapixel camera. Six overflights were carried out in each of the studied sites. The aerial-photogrammetry of these locations was performed at a pre-defined height of 100 meters, recorded by means of a processing memorial with a 65% lateral and 75% frontal overlapping among the images captured. All images from each survey were submitted to Agisoft PhotoScan software, resulting in georeferenced orthophotos and 3D images, which made possible to calculate the volume of erosion or accretion. Results have shown that both places under analysis are susceptible to accretion and erosion caused by storm surges. The average sediment estimated in the North region of the beach was 19,356.63 m³ within a 29,073.82 m² average area, with an average of erosion of 1,453.69 m³, while in the South region the estimated average sediment was 138,426.32 m³ within a 58,733.45 m² average area, with an average of accretion of 2,936.67 m³. Proportionally, the volume of sediments in the South portion of the beach is 3.537 times higher than in the North one. The North region faces serious problems of beach erosion due to the drastic decrease of sandbanks. In contrast to the South region, which has a well-developed sandbank strip, which is the outcome of an environmental recovery started 10 years ago. The usage of a drone has revealed of great efficiency in monitoring the processes of sedimentary dynamics in coastal environments in a way that can be implemented and operationalized by the municipal and state governments.

Keywords: Drone; Sandbanks; Coastal erosion; Beach morphology; Exposed beaches.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí.....	22
FIGURA 2 – Mapa do Município de Navegantes discriminando os dois locais de estudo: Norte, Praia do Gravatá e Sul, Praia do Pontal. As linhas azuis correspondem aos recursos hídricos.	23
FIGURA 3 – Imagem do veículo aéreo não tripulado (VANT) tipo quadricóptero, marca DJI, modelo Phantom 4 PRO utilizado nos levantamentos aerofotogramétricos.	28
FIGURA 4 – GPS/GNSS marca GeoMax, Modelo Zenith 25 utilizado para a marcação dos pontos de apoio no solo. A) Instalação da base fixa na região Sul. B) Base fixa instalada na região Norte. C) Rover.....	30
FIGURA 5 – Divisão do litoral brasileiro em áreas.	31
FIGURA 6 – Muro de contenção (sea wall) instalado no ano de 2003. A) Danos provocados por ressacas no ano de 2004. B) Danos provocados por ressacas no ano de 2010.	35
FIGURA 7 – Enrocamento realizado na Praia do Gravatá a partir de 2003. A) Imagem do ano de 2004. B, C e D) Imagens do ano de 2010.	35
FIGURA 8 – A) Suspensão da instalação das estruturas de concreto (2009). B) Estrutura mista de concreto e madeira (2009). C) Estrutura mista de concreto e madeira sobre enrocamento e faixa de restinga (2010).	36
FIGURA 9 – A e B) Roçadas realizadas no ano de 2009 na faixa de restinga para facilitar o estacionamento e o acesso à praia. C) Veículo estacionado sobre a faixa de restinga no ano de 2009 ao lado de placa informativa proibindo o estacionamento e acampamento em toda a orla marítima. D) Placa instalada no ano de 2009 em estreita faixa de restinga.	37
FIGURA 10 – Deck instalado na orla no ano de 2016. A) Ponte sobre o Ribeirão das Pedras. B) Em trecho do Bairro Gravatá. C) Base preparada para a instalação da ciclovia no Bairro Gravatá.	38
FIGURA 11 – Danos provocados na orla do Gravatá na ressaca ocorrida em novembro de 2016. A) Estrutura do deck de madeira completamente destruída e material do enrocamento arremetido para a Avenida. B) Extensão dos danos provocados na orla.....	38
FIGURA 12 – Danos provocados pela ressaca de setembro de 2017. A e B) Danos provocados à estrutura do deck. C) Danos provocados na estreita faixa de restinga	

remanescente. D e E) Enrocamento emergencial para evitar mais danos à infraestrutura.	39
FIGURA 13 – Detalhes da área do projeto de dunas embrionárias. A) 2017. Troncos deixados para formar as barreiras físicas responsáveis pela retenção de sedimentos e formação das dunas embrionárias. B) 2017. Expansão da faixa de restinga. C) 2017. Formação de dunas embrionárias nas dunas frontais. D) 2018. Detalhe da retenção de sedimentos por tronco deixado nas dunas frontais e estabelecimento de salsa-da-praia (<i>Ipomoea pes-caprea</i>).	42
FIGURA 14 – Vista panorâmica do campo de dunas embrionárias em março de 2018. A) Expansão em direção ao Norte. B) Dimensão da área de restinga herbácea até o início da área de restinga arbustiva. C) Detalhe do estabelecimento da vegetação de restinga herbácea.	42
FIGURA 15 – Avanço de <i>Dalbergia ecastophyllum</i> sobre o estrato herbáceo de dunas embrionárias da região Sul (Pontal).	43
FIGURA 16 – Variação da área (m ²) de restinga na região Norte (Gravatá) e na região Sul (Pontal) no período compreendido entre 13/7/2004 (T0) e 23/7/2019 (T21).	45
FIGURA 17 – Imagens satelitais da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15).	47
FIGURA 18 – Imagens satelitais da região Sul (praia do Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15).	48
FIGURA 19 – Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21).	50
FIGURA 20 – Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Sul (Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 26/4/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21).	51
FIGURA 21 – Ortoimagens da região Norte (Gravatá) mostrando a variação da área (m ²) no período compreendido entre T16 e T21.	54
FIGURA 22 – Variação do volume (m ³) de sedimentos na região Norte (Gravatá) no período compreendido entre T16 e T21.	54
FIGURA 23 – Ortoimagens da região Sul (Pontal) mostrando a variação da área (m ²) no período compreendido entre T16 e T21.	55
FIGURA 24 – Variação do volume (m ³) de sedimentos na região Sul (Pontal) no período compreendido entre T16 e T21.	56

FIGURA 25 – Frequência anual de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019 para a Área Charlie.	57
FIGURA 26 – Frequência mensal de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019 para a Área Charlie.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do VANT utilizado no trabalho de pesquisa realizado em Navegantes (SC).	29
TABELA 2 – Resultado da revisão bibliográfica sobre a ocupação e problemas de erosão da orla de Navegantes (SC).	33
TABELA 3 – Valores estimados para a recuperação da orla da Praia do Gravatá, Navegantes (SC).	40
TABELA 4 – Datas das imagens satelitais obtidas junto ao software Google Earth.	44
TABELA 5 – Volumes de sedimentos calculados na porção Norte da Praia de Navegantes durante o intervalo de tempo entre T16 e T21. Diferença (m) representa o volume calculado na área parcial de cada levantamento. Valores positivos correspondem à acreção, e volumes negativos correspondem à erosão.	52
TABELA 6 – Volumes de sedimentos calculados na porção Sul da Praia de Navegantes durante o intervalo de tempo entre T16 e T21. Diferença (m) representa o volume calculado na área parcial de cada levantamento. Valores positivos correspondem à acreção, e volumes negativos correspondem à erosão.	52
TABELA 7 – Avisos de mau tempo emitidos no ano de 2019 para a área Charlie. ..	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APP	Área de Preservação Permanente
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul ou Anticiclone do Atlântico Sul
ATC	Air Traffic Control – Controle de Tráfego Aéreo
ATS	Air Traffic Services – expressão genérica que se aplica, segundo os casos, aos serviços de controle de tráfego aéreo, serviço de informação de voo, serviço de alerta e serviço de assessoramento
Cfa	Sigla do clima subtropical úmido de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger de 1900
cm	centímetro
cm/px	centímetro por pixel
CTTMar	Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar
DATUM	Modelo matemático teórico de representação da superfície da Terra ao nível do mar utilizado pelos cartógrafos numa dada carta ou mapa
DCEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DEM	Digital Elevation Model – Modelo Digital de Elevação
DJI	Dà-Jiǎng Innovations
EPSG	European Petroleum Survey Group – Grupo de Pesquisa Petrolífera Europeia
FUMAN	Fundação Municipal do Meio Ambiente de Navegantes
GNSS	Global Navigation Satellite System – Sistema Global de Satélites de Navegação
GPS	Global Position System – sistema de posicionamento global
IAN	Instituto Ambiental de Navegantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
Km	Quilômetro
Km/h	quilômetro por hora
Km ²	quilômetro quadrado

m	Metro
m ³	metro cúbico
m ²	metro quadrado
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Mp	Megapixels
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RPA	Remotely Piloted Aircraft – aeronaves remotamente pilotadas
R\$	reais
SARPAS	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. Sistema cuja origem e orientação é geocêntrica, ou seja, adota um referencial que tem a origem dos seus três eixos cartesianos localizada no centro de massa da Terra. Utiliza como referência os sistemas globais de navegação (posicionamento) por satélites GNSS
Ton.	tonelada
3D	três dimensões
.txt	Extensão de arquivo para arquivos de texto que não contém formatação
UNIVALI	Universidade do Vale do Itajaí
USB	Universal Serial Bus – porta universal
UTM	Universal Transversa de Mercator – sistema de coordenadas cartesianas bidimensional para dar localizações na superfície da Terra
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VFR (V)	Visual Flight Rules – Regras de voo visual
VLOS	Visual Line-of-sight – operações com drones que ocorrem em condições meteorológicas visuais
Vol.	volume
WGS84	World Geodetic System 1984
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

% – percentual

°C – graus Celsius

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS.....	15
SUMÁRIO	16
1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivo(s) específico(s).....	20
3. JUSTIFICATIVA	21
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
4.1 Área de Estudo.....	22
4.2 Geomorfologia e Dinâmica Sedimentar Costeira	24
4.3 Climatologia.....	25
4.4 Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT	26
4.5 Avaliação da dinâmica sedimentar com o uso de VANT	27
4.6 Eventos Meteorológicos Extremos.....	30
4.7 Tratamento estatístico	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Cronologia histórica da ocupação antrópica da orla	32
5.2 Histórico da dinâmica da orla através do Sensoriamento Remoto	43
5.3 Estimativa do volume sedimentar com o uso de VANT.....	49
5.4 Avisos de mau tempo	57

5. PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S).....	62
5.1 Artigo científico	62
5.2 Proposta metodológica de monitoramento da orla com VANT	62
6. CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS	66
ANEXO A – Cadastro da aeronave não tripulada utilizada nos levantamentos de campo	78
ANEXO B – PRODUTO (ARTIGO): COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO.	80
ANEXO C – PRODUTO: ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA.....	82
ANEXO D – PRODUTO: PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS.	105

1. INTRODUÇÃO

Os veículos aéreos não tripulados (VANT), como a maioria das novas tecnologias foram inicialmente desenvolvidos para uso militar (KOUTALAKIS et al., 2019), e sua utilização nas áreas civis se tornou popular nos últimos anos. Como outros produtos mecatrônicos, o rápido crescimento da indústria (LARRINAGA; BROTONS, 2019), resultou na redução dos custos de produção, aquisição e manutenção desses equipamentos e expandiram o acesso a esse tipo de tecnologia.

Avanços tecnológicos recentes nos VANT ampliaram a capacidade de incorporação de sensores e permitiram criar uma plataforma de monitoramento alternativa que oferece uma oportunidade de capturar os requisitos espaciais, espectrais e temporais em uma variedade de aplicações nos diversos setores produtivos com investimento relativamente baixo e com operação simplificada (SCHLERF et al., 2005). Os VANT oferecem alta versatilidade, adaptabilidade e flexibilidade em comparação com os equipamentos aéreos tripulados e satélites. Embora não possam competir em termos de cobertura espacial, esses sistemas fornecem resoluções espaciais e temporais sem precedentes (MANFREDA et al., 2018; DÍAZ-DELGADO et al., 2019; LÓPEZ; MULERO-PÁZMÁNY, 2019; WATSON et al., 2019), tendo a vantagem de ser rápida e repetidamente implantados para obter informações e imagens com alta resolução (PAJARES, 2015).

Recentemente observa-se um incremento na utilização dos VANT em estudos e diagnósticos ambientais (VILLA et al., 2016), monitoramento ambiental (MANFREDA et al., 2018; ARROYO-MORA et al., 2019), mapeamento de desastres (STONE et al., 2017; WATSON et al., 2019), estudos sobre processos de erosão do solo (FRANKENBERGER et al., 2008; D'OLEIRE-OLTMANN et al., 2012), uso e ocupação do solo (BRYSON et al., 2010; HARDIN; HARDIN, 2010; COLOMINA; MOLINA, 2014; CARRASCOSA et al., 2015; AKAR, 2017), e mapeamento do solo e características da superfície (NIETHAMMER et al., 2012; QUIQUEREZ et al., 2014; ALDANA-JAGUE et al., 2016). A hidrologia consiste em outro segmento importante que está aplicando o uso de VANT (PAJARES, 2015; TAURO et al., 2016; KOUTALAKIS et al., 2019), especialmente no monitoramento de eventos extremos (MANFREDA et al., 2018; WATSON et al., 2019), sobretudo em áreas com baixa acessibilidade.

Quanto as limitações atuais referentes ao uso de VANT, destacam-se os

problemas associados ao foco e qualidade dos dispositivos de aquisição de imagens (SIEBERTH et al., 2016), problemas de ortorretificação e distorção geométrica associada com sobreposição inadequada de imagens, e os efeitos espectrais induzidos pela iluminação variável durante o voo (COLOMINA; MOLINA, 2014). Condições meteorológicas extremas, autonomia de voo e a capacidade de carga (MANFREDA et al., 2018), também são aspectos que limitam o seu uso.

A região de Navegantes (SC) encontra-se situada em latitude subtropical, uma zona de transição entre as Massas de Ar Tropicais e Polares, criando linhas de instabilidades originadas na “Baixa do Chaco” (Paraguai), região onde formam-se os centros de baixa pressão atmosférica que dão origem aos sistemas frontais que atuam na região Sul do Brasil. De acordo com Bonetti et al., (2018), a região está sob influência de ciclones extratropicais e outros sistemas de tempestades que frequentemente atingem o sul do Brasil. De acordo com Serafim et al. (2019), o litoral é fortemente influenciado pela passagem de frentes frias que favorecem a ocorrência de tempestades marinhas.

Devido à sua localização geográfica e características geomorfológicas, a praia de Navegantes recebe diretamente ondulações de Sul à Nordeste (MENEZES; KLEIN, 1997). A remoção quase que completa da faixa de dunas na porção Norte da orla (Praia do Gravatá), especialmente sobre o sistema de dunas, pode estar relacionado com a erosão praial. Rangel-Buitrago et al. (2020) afirmam que o aumento da urbanização na zona costeira está diretamente relacionado com a erosão, sobretudo com a destruição de ecossistemas, e McLaughlin et al. (2002), consideram a ocupação antrópica ao longo da costa como a principal causa da erosão praial.

Na porção sul da praia (distante 6,5 Km da Praia do Gravatá), foi iniciado um projeto experimental de recuperação natural do sistema de dunas (ano de 2009) através da técnica de disposição de materiais biodegradáveis de origem vegetal que aportam na praia pela ação das marés, criando obstáculos artificiais para a retenção de sedimentos e expansão da vegetação.

Os processos relacionados a dinâmica sedimentar em ambiente praial ocorrem em diversas escalas, temporal e espacial. Considerando que os VANT são ferramentas tecnológicas, recentes, versáteis e com baixo custo operacional, a proposta deste trabalho é avaliar a influência dos eventos meteorológicos extremos na variação do volume sedimentar da praia de Navegantes através da aerofotogrametria por VANT.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) no acompanhamento da variação do volume sedimentar na praia de Navegantes (SC) após eventos meteorológicos extremos.

2.2 Objetivo(s) específico(s)

1. Realizar um estudo de revisão histórica sobre a cronologia da interferência antrópica e dos processos de erosão na Praia de Navegantes (SC).
2. Utilizar um VANT para acompanhar a variação do volume sedimentar em dois pontos distintos da Praia de Navegantes (SC) após a passagem de eventos meteorológicos extremos.
3. Propor uma metodologia para o monitoramento de erosão da linha de costa a partir da utilização de VANT.

3. JUSTIFICATIVA

Nas últimas décadas a expansão urbana na zona costeira tem incrementado a pressão antrópica sobre os ecossistemas e exercido diferentes níveis de impactos nestes ambientes com consequências negativas perceptíveis nos aspectos sociais, econômicos e ambientais. Neste sentido, realizar um estudo da cronologia histórica do uso e ocupação da orla da praia de Navegantes permitiria compreender melhor com os processos atuais de erosão e impactos socioeconômicos associados com a ação antrópica na Praia de Navegantes.

Considerando o processo histórico de uso e ocupação da orla da praia, bem como das intervenções e obras de engenharia costeira para mitigação dos impactos negativos associados ao processo de ocupação, a proposta deste trabalho é avaliar a viabilidade de utilização de um VANT para acompanhar a dinâmica sedimentar em dois pontos distintos da Praia de Navegantes: Norte, localizado na Praia do Gravatá, em avançado estado de degradação, e Sul, localizado nas imediações da foz do Rio Itajaí, popularmente chamado de “Pontal”, em recuperação ambiental pela implantação de dunas embrionárias.

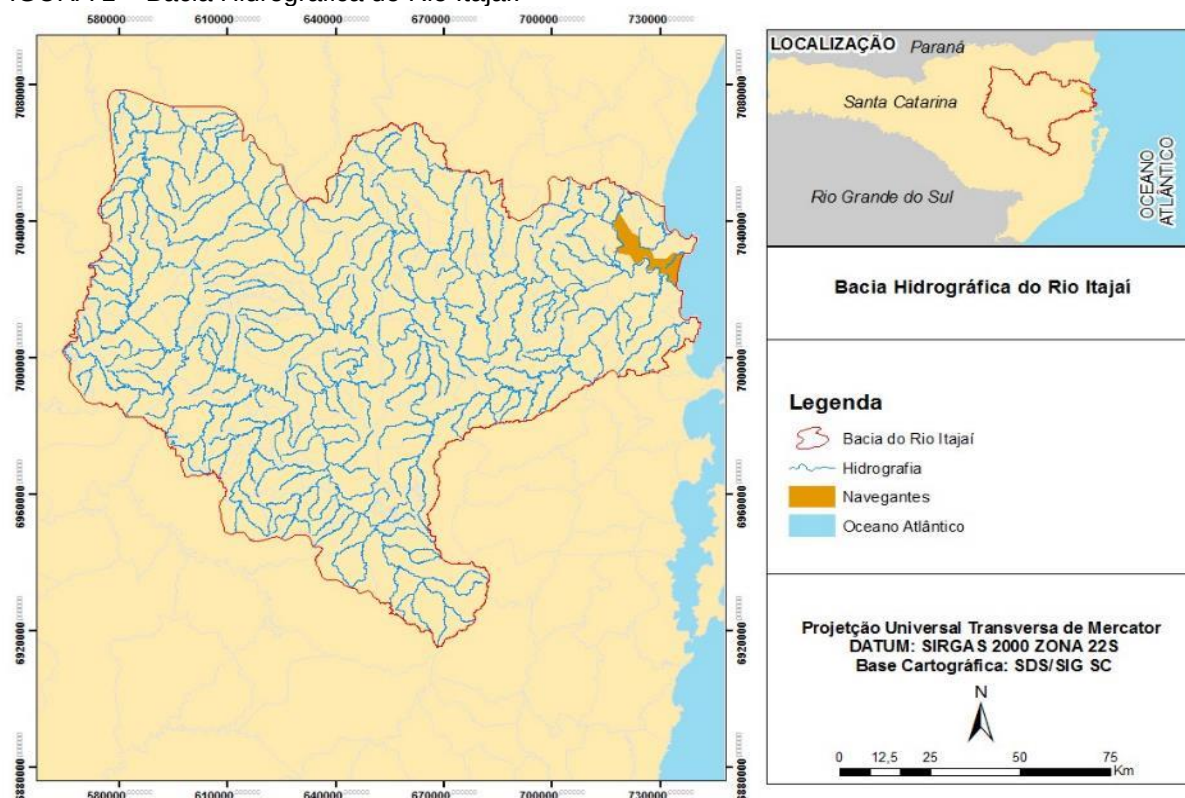
Considerando que o uso do VANT representa uma otimização operacional, econômica e mais simples que os métodos convencionais de monitoramento da dinâmica da linha de costa, então, a elaboração de um protocolo operacional para o uso de VANT, poderá disseminar esta nova ferramenta nas rotinas de monitoramento dos órgãos de controle e monitoramento.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Área de Estudo

O Município de Navegantes possui uma população estimada de 83.626 habitantes, distribuídos em uma extensão territorial de 111,653 Km² (IBGE, 2021) e está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (Figura 1). O sistema de drenagem da vertente do Atlântico compreende uma área de aproximadamente 35.298 Km² (37% da área total do Estado), distribuídos em 46 Municípios, onde se destaca a Bacia do rio Itajaí com aproximadamente 15.500 Km². Essa Bacia tem como rio principal o Itajaí-Açu classificado como Classe 2 pela Resolução CONAMA n° 357 de 2005 (Alterada pelas Resoluções CONAMA n° 410/2009 e n° 430/2011) e Portaria Estadual n° 24 de 1979 (SILVA et al., 2003; VIBRANS et al., 2005). O primeiro morador de Navegantes foi o sertanista João Dias de Arzão que, em 1658, teria conseguido junto à Coroa Portuguesa uma sesmaria na margem esquerda do Rio Itajaí-Açu (SERRAGLIO, 2014). A emancipação política de Navegantes ocorreu em 26 de agosto de 1962, quando deixou de ser um bairro do Município de Itajaí.

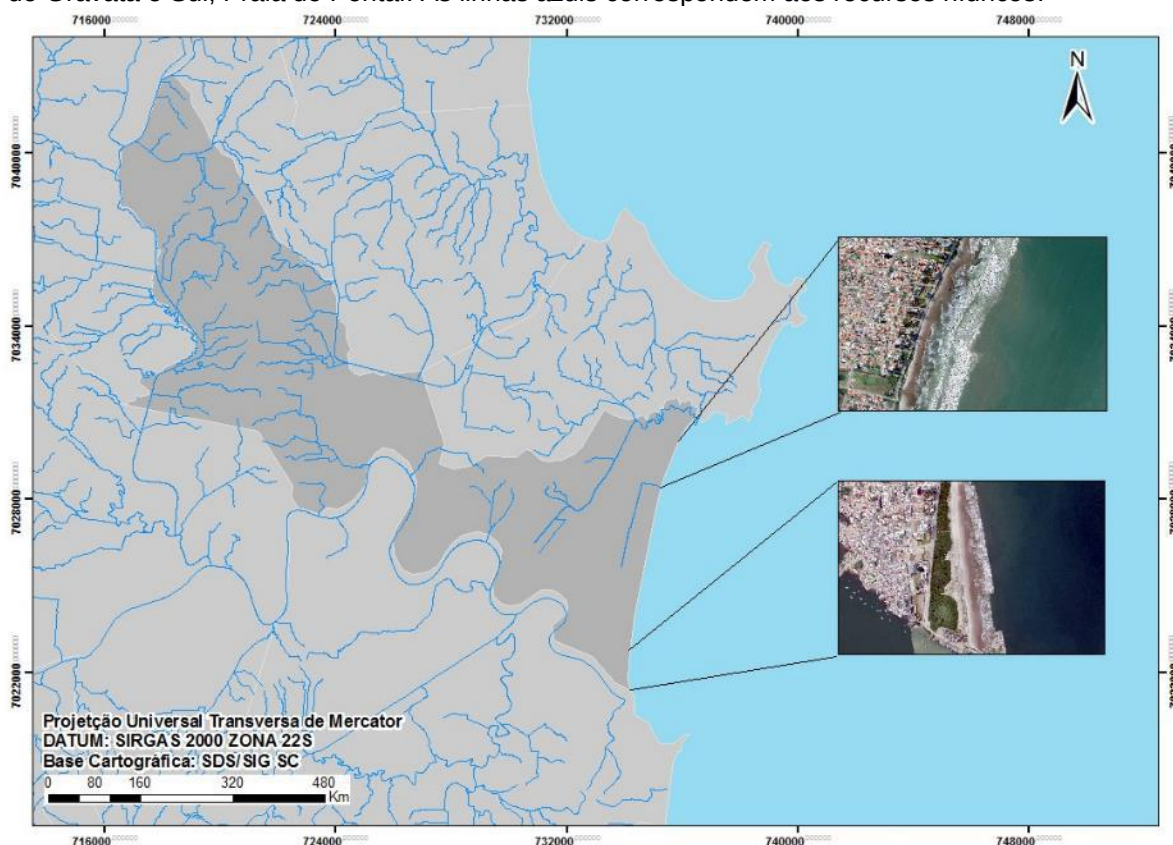
FIGURA 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí.



Fonte: o autor.

A Praia de Navegantes é uma praia composta por areia fina com granulometria média aumentando de 0,15 mm do extremo Norte para 0,19 mm na parte central da praia. A declividade média varia entre 2,5 e 3,5 graus, atuando ondas do tipo deslizante e mergulhante com altura média entre 0,8 e 0,9 m e período de 8 a 10,5 segundos. A plataforma adjacente à praia de Navegantes apresenta uma declividade aproximada de 1:200 (MENEZES, 2002). As duas áreas estudadas neste trabalho estão nos extremos da orla deste segmento praial, sendo a porção Norte denominada Praia do Gravatá, e a extremidade Sul, denominada Praia do Pontal ou simplesmente Pontal. Detalhes na Figura 2.

FIGURA 2 – Mapa do Município de Navegantes discriminando os dois locais de estudo: Norte, Praia do Gravatá e Sul, Praia do Pontal. As linhas azuis correspondem aos recursos hídricos.



Fonte: o autor.

Os dois locais estudados se apresentam em situações distintas. A região Norte (Gravatá) apresenta avançado estado de degradação em virtude do processo de urbanização sobre a área de restinga desde meados dos anos de 1960. A região Sul (Pontal) apresenta estado de regeneração após a instalação do projeto de dunas embrionárias iniciado entre os anos de 2009 e 2010.

De acordo com Schettini et al. (1996), a variação média de maré astronômica para o litoral onde está inserida a região deste estudo é de 0,8 m, sendo a máxima de 1,2 m. Esses autores destacam a grande importância da maré meteorológica na dinâmica costeira regional, a qual pode aumentar em até um metro os valores da maré astronômica. Outro fator importante de ser destacado para o litoral centro-norte, está associado ao transporte de sedimento, especialmente em eventos meteorológicos extremos (ressacas). Durante a ocorrência de tempestades geradas pela passagem de sistemas frontais, ou de ciclones extratropicais produzindo ondas que incidem diretamente sobre o perfil praial, erodindo o sistema de dunas frontais (MMA, 2006).

4.2 Geomorfologia e Dinâmica Sedimentar Costeira

De acordo com Aumond (2018), a Bacia Hidrográfica do Itajaí é constituída geologicamente por litologias do Embasamento Catarinense (Escudo Catarinense), que inclui rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná, formadas quando a América ainda estava unida à África e a outros continentes, e sedimentos mais recentes.

O desenvolvimento da extensa e ampla planície aluvial do Rio Itajaí-Açu, associada à Planície Costeira, está relacionada à separação continental (América do Sul/África), quando ocorreram intensos e extensos movimentos epirogenéticos associados ao magmatismo do período Mesozoico. O soerguimento da Serra do Mar ocorreu no final deste período, se estendendo até o Terciário Médio e Superior. Durante esse período, as regiões que sofreram subsidência foram preenchidas por sedimentos erodidos das porções de maior amplitude, originando um conjunto de bacias sedimentares, denominado por Almeida (1976), por “*Sistema de Rifts da Serra do Mar*”. Na planície do rio Itajaí-Açu, a modelagem do relevo continua ativa, sendo as elevações erodidas e depositados sedimentos na planície aluvial. Esse processo de erosão, transporte e deposição fica evidente quando são observadas periódicas dragagens do leito do rio para mantê-lo navegável.

As variações da morfologia costeira dependem das condições ambientais locais, do tipo de sedimento, das condições das ondas, da natureza das praias, da configuração costeira (GUJAR et al., 2011) e utilização/exploração antrópica (BONETTI et al., 2018). No entanto, nem sempre essa utilização está totalmente

integrada às características transitórias intrínsecas da praia, prevalecendo um estado de equilíbrio dinâmico nas quais a área costeira ajusta continuamente sua morfologia e distribuição de sedimentos às novas condições impostas (BONETTI et al., 2018).

Os agentes oceanográficos costeiros moldam a linha de costa e são responsáveis por uma significativa parcela das forças que contribuem para formar as paisagens litorâneas. O entendimento desses processos permite compreender como os fenômenos de retrogradação e progradação marinha afetam a linha de costa atual (HORN FILHO et al., 2018).

Apesar de ser um processo natural (RANGEL-BUITRAGO et al., 2020) da dinâmica praial os processos de erosão de algumas praias, em todo o mundo, e sua intensificação, estão intimamente relacionadas com ações antrópicas, em diferentes graus, afetando os processos naturais associados a dinâmica sedimentar costeira (MORAIS et al., 2008; HORN FILHO et al., 2018; RANGEL-BUITRAGO et al., 2020).

O litoral Catarinense é composto por 27 municípios com frente oceânica que por vezes apresentam graves problemas associados à erosão costeira, induzida por deficiências do abastecimento sedimentar cujas consequências são intensificadas ao longo dos anos (MMA, 2006; OLIVEIRA, 2009; ARAÚJO et al., 2010; MACHADO, 2010; SCHMIDT et al., 2013). As praias arenosas são ambientes dinâmicos que apresentam constantes alterações morfológicas sazonais resultantes de variações no regime energético incidente (clima de ondas), na variação do nível d'água (eventos de tempestade) e desequilíbrios no suprimento sedimentar (SHORT, 1999; KLEIN, 2004; GUJAR et al., 2011). Ocasionalmente, eventos de alta energia podem ocorrer maximizando os efeitos causados na orla, chegando a muitos casos, a situações catastróficas nos núcleos urbanos implantados próximos ao ambiente praial (HORN FILHO et al., 2018), como ocorreu na região Norte da Praia, na Praia do Gravatá.

4.3 Climatologia

Segundo classificação de Koeppen (OMETTO, 1981), a região de Navegantes possui clima temperado mesotérmico úmido sem estação seca (Cfa), sem déficit hídrico durante o ano, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18° C e no mês mais quente superior a 22° C.

No verão do hemisfério sul, a região sofre influência de massas de ar quentes e predominância de ventos do quadrante Norte/Nordeste, com velocidade média de 7 Km/h, e rajadas de até 50 Km/h. As instabilidades meteorológicas mais comuns neste período mais quente ocorrem em decorrência da formação e deslocamento de centros de baixa pressão atmosférica na região subtropical da América do Sul, principalmente quando associadas com a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (GRIMM, 2009).

No inverno, a estabilidade meteorológica tende a ser mais frequente em função da presença constante do Anticiclone Polar. Essa situação é modificada quando ocorre o encontro das massas de ar tropicais e polares, originando os sistemas frontais, associadas aos ventos do quadrante Sul/Sudeste, intensos e efêmeros. Na estação mais fria do ano, as médias de velocidade do vento diminuem para 5 Km/h, e ventos mais intensos durante a passagem de sistemas frontais, podem estar associados com a formação ciclones extratropicais, principalmente na transição para a estação da primavera e que muitas vezes estão associados aos eventos meteorológicos, aqui classificados como extremos (GRIMM, 2009).

Como consequência da passagem desses sistemas meteorológicos de maior energia, ocorre significativos incrementos da agitação marítima que são popularmente denominados de “ressacas” e que podem provocar um recuo instantâneo da linha de costa, em decorrência de trocas transversais de sedimentos (SHERMAN; BAUER, 1993), sendo que essas variações sazonais são importantes para compreender o seu impacto na morfologia costeira (GUJAR et al., 2011). De acordo com Dominguez et al. (2018), essa perda momentânea não é irreversível, e o perfil praial tende a se recuperar com o retorno da estabilidade e normalização das condições climáticas. Esses processos imprimem uma variabilidade natural ao ambiente praial, que pode ser percebido mesmo em curtos intervalos de tempo. Conforme Serafim et al. (2019), eventos extremos com ondas de alta energia podem resultar em alterações ambientais expressivas em uma curta escala de tempo, sendo a gravidade dos impactos diretamente dependente do nível de exposição e vulnerabilidade.

4.4 Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT

Os VANT são divididos em duas categorias relativas ao tipo de aeronave: (i) os

multi-helicópteros ou multirotores e (ii) os de asa fixa (CAI et al., 2014; KOUTALAKIS et al., 2019). Sua utilização proporciona rápidas aquisições de informação, garantindo desempenho e agilidade tanto para o setor acadêmico como para fins comerciais (ARROYO-MORA et al., 2019; LARRINAGA; BROTONS, 2019).

O grau de precisão desses equipamentos aumenta continuamente e o sensoriamento remoto utilizando VANT vem sendo empregado no monitoramento agrícola (SALAMÍ et al., 2014; NÄSI et al., 2015; SCHOFIELD et al., 2017; LARRINAGA; BROTONS, 2019) na agricultura de precisão (ZHANG; KOVACS, 2012; HONKAVAARA et al., 2013; GEIPEL et al., 2014; SALAMÍ et al., 2014; SUOMALAINEN et al., 2014; MATESE et al., 2015; WANG et al., 2017), e na silvicultura (WALLACE et al., 2012; COLOMINA; MOLINA, 2014; GETZIN et al., 2014; PULITI et al., 2015; KARPINA et al., 2016; WALLACE et al., 2016; PULITI et al., 2018). Além da precisão espacial, avanços obtidos na identificação de espécies vegetais (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2015; GUERRA-HERNÁNDEZ et al., 2016; THIEL; SCHMULLIUS, 2016; BAENA et al., 2017; PULITI et al., 2018), estimativa de tamanho e cobertura vegetal, altura do dossel, abundância de fendas, produtividade, fitossanidade, ataque de patógenos ou parasitas, propriedades estruturais de florestas (WALLACE et al. 2012; THIEL; SCHMULLIUS, 2016; WALLACE et al., 2016; LARRINAGA; BROTONS, 2019), estimativa de biomassa florestal em manguezais (WARFIELD; LEON, 2019), como também para estimar o índice foliar em pastagens (PÁDUA et al., 2017).

4.5 Avaliação da dinâmica sedimentar com o uso de VANT

O acompanhamento da dinâmica sedimentar nas duas regiões da Praia de Navegantes foi realizado em seis sobrevoos em cada um dos locais estudados, entre os meses de abril e julho de 2019, utilizando como base a metodologia descrita por Yoo e Oh (2016). Esses autores utilizaram o método aerofotogramétrico como um método primário para aquisição de dados (imagens aéreas), na qual determinaram a percentagem de área de sobreposição frontal e lateral entre uma imagem e outra. Utilizaram também pontos de controle (apoio topográfico) no solo obtidos com equipamento GPS (RTK), utilizando uma rede de estações de referência permanentes (fixas) em operação contínua. Esses pontos de controle são geralmente marcadores colocados em uma rede regular no solo visível na fotografia aérea. Cada imagem

aérea adquirida deve ser corrigida para uma posição verdadeira na superfície com a ajuda do software de processamento de imagem digital. O processamento dos levantamentos foi realizado no software Agisoft PhotoScan. De posse dos resultados dos processamentos era possível calcular o volume de sedimentos na praia, o qual indicava acreção quando o valor era positivo (+), erosão quando o valor era negativo (-) ou sem alteração quando o valor era (0).

Para o presente estudo o método foi replicado, sendo que os levantamentos foram realizados com a utilização de um VANT tipo quadrirotor da marca DJI¹ modelo Phantom 4 PRO (Figura 3). Na Tabela 1 são apresentadas maiores informações sobre o equipamento utilizado. Os sobrevoos foram aprovados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA/SARPAS), respeitando a regulamentação vigente para operação destes equipamentos.

FIGURA 3 – Imagem do veículo aéreo não tripulado (VANT) tipo quadrirotor, marca DJI, modelo Phantom 4 PRO utilizado nos levantamentos aerofotogramétricos.



Fonte: acervo do autor.

¹ Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd. www.dji.com

Tabela 1 – Especificações do VANT utilizado no trabalho de pesquisa realizado em Navegantes (SC).

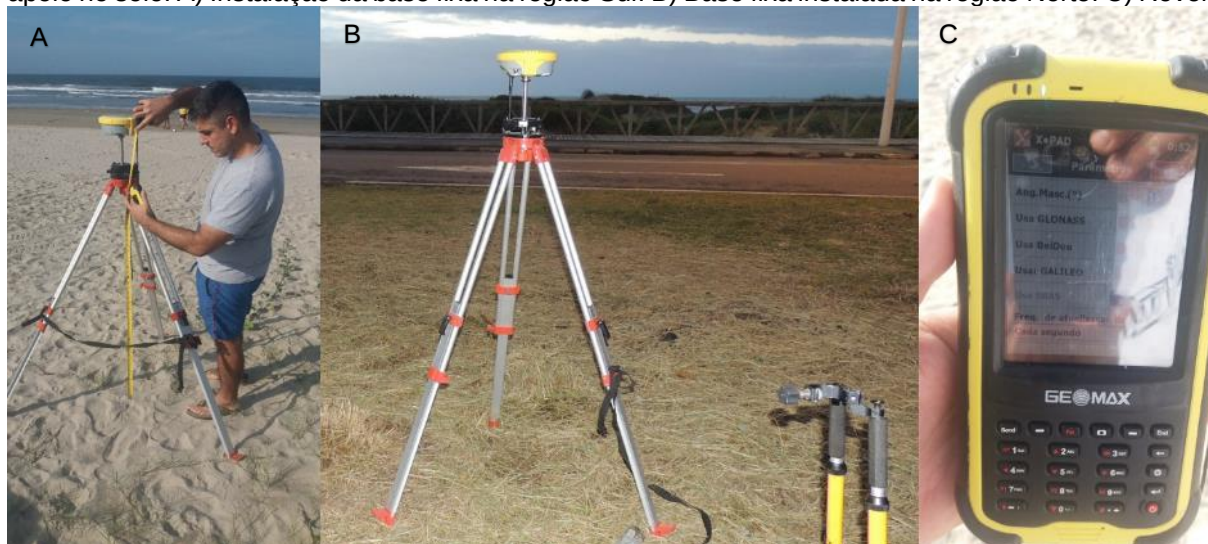
AERONAVE	ESPECIFICAÇÕES
Peso (incluindo bateria e hélices)	1.375 g
Dimensão diagonal (sem hélices)	350 mm
Altura máxima de serviço acima do nível do mar	6.000 m
Resistência máxima ao vento	10 m/s
Duração máxima de voo	Aproximadamente 30 minutos
Alcance da temperatura de funcionamento	0 a 40° C
Sistemas de posicionamento por satélite	GPS/GLONASS
Alcance de precisão em voo estacionário	Vertical: ± 0,1 m (com posicionamento visual) ± 0,5 m (com posicionamento por GPS) Horizontal: ±0,3 m (com posicionamento visual) ±1,5 m (com posicionamento por GPS)
SISTEMA VISUAL	ESPECIFICAÇÃO
Ambiente de operação	Superfície com padrão claro e iluminação adequada (lux > 15)
CÂMERA	ESPECIFICAÇÕES
Sensor (câmera)	CMOS 1", Pixels efetivos: 20 Mp.
Dimensões da imagem	Taxa de aspecto 3:2: 5472×3648 Taxa de aspecto 4:3: 4864×3648 Taxa de aspecto 16:9: 5472×3078
Foto	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Alcance da temperatura de funcionamento	0 a 40° C
CONTROLE REMOTO	ESPECIFICAÇÕES
Frequência de funcionamento	2,400 a 2,483 GHz e 5,725 a 5,850 GHz
Alcance da temperatura de funcionamento	0 a 40° C
Bateria	6000 mAh LiPo 2S

Fonte: DJI. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro-v2/specs>. Acessado em 27/9/2021.

Para este estudo a aerofotogrametria foi realizada a uma altura pré-definida de 100 m, sendo registrada por meio de um memorial de processamento com a sobreposição lateral de 65% e frontal de 75% entre as imagens obtidas. As imagens foram tratadas no software Agisoft PhotoScan® com aplicação de pontos de apoio materializados em solo georreferenciados com emprego de aparelho GPS/GNSS, marca GeoMax², Modelo Zenith 25 (Figura 4), na qual os mesmos (pontos) foram pós-processados com base na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os pontos de apoio em cada um dos locais monitorados não foram obtidos no mesmo dia, não tendo sido pós-processados com a mesma base que garantisse a amarração altimétrica entre os locais.

² GeoMax AG – www.geomax-positioning.com

FIGURA 4 – GPS/GNSS marca GeoMax, Modelo Zenith 25 utilizado para a marcação dos pontos de apoio no solo. A) Instalação da base fixa na região Sul. B) Base fixa instalada na região Norte. C) Rover.



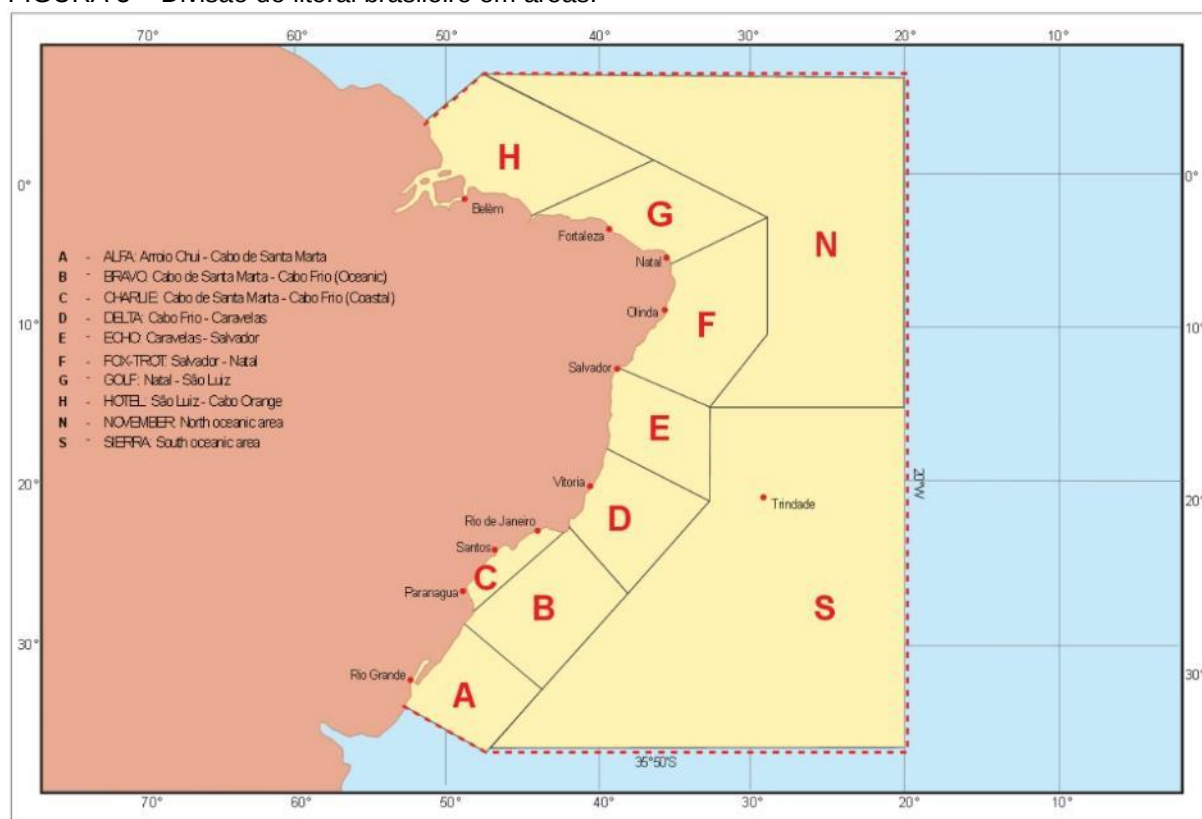
Fonte: acervo do autor.

Foram geradas ortofotos georreferenciadas e imagens tridimensionais (imagens 3D) no software Agisoft PhotoScan® e comparadas entre cada levantamento a partir de uma mesma cota de referência, na qual se pôde aferir os volumes de sedimentos dentro dos polígonos delimitados em cada levantamento para cada local monitorado. Tanto as imagens satelitais pretéritas quanto as ortoimagens dos levantamentos com o VANT foram usadas para calcular a área compreendida entre a Avenida Prefeito Cirino Adolfo Cabral (Beira Mar) e a faixa de restinga vegetada ou área enrocada. Em ambos os locais o limite Oeste foi a Avenida Prefeito Cirino Adolfo Cabral. O limite Leste na região Norte (Gravatá), quando existente foi a faixa de restinga vegetada, e na ausência dessa, o enrocamento instalado. Na região Sul o limite Leste foi a faixa de restinga vegetada.

4.6 Eventos Meteorológicos Extremos

As informações referentes aos avisos de mau tempo emitidos pelo Serviço Meteorológico da Marinha do Brasil para a área de estudo no período compreendido entre os anos de 2004 e 2019 foram obtidos junto ao Centro de Hidrografia da Marinha. A autoridade marítima divide o litoral brasileiro em áreas (Figura 5), sendo que a região deste estudo localizada na Área C (Charlie), compreendida entre o Farol de Santa Marta (Laguna) e Cabo Frio (Rio de Janeiro), na região costeira.

FIGURA 5 – Divisão do litoral brasileiro em áreas.



Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil, 2020.

De acordo com a mesma fonte, os avisos de mau tempo referente as ressacas indicam a possibilidade da ocorrência do evento e não se de fato ocorreu. Esses avisos são emitidos quando existe a previsão de formação de ondas de no mínimo 2,5 m de altura que possam avançar sobre as regiões litorâneas, sendo que a confirmação do efeito da ressaca pode ser obtida através do relato local pela mídia ou moradores através da observação do avanço do mar, o que é considerado informação e não dado.

4.7 Tratamento estatístico

As análises estatísticas, descritivas e comparativas, para ambas as regiões e entre elas, foram realizadas aplicando o teste t de *student* para amostras independentes (avaliando a diferenças dentro de cada tratamento – regiões) e de Wilcoxon (comparando cada região ao longo do período analisado) no software Statsoft Statistica 7.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Cronologia histórica da ocupação antrópica da orla

A revisão da literatura consiste em uma ferramenta de suporte que serviu como forma de reunir estudos e saberes acerca do processo de uso e ocupação antrópica da orla da praia de Navegantes. Desta forma, na primeira etapa da revisão sistemática foram consultadas as bases de buscas: Science Direct; Scielo; Springer, o site da prefeitura municipal, sites de meios de comunicação, visitas aos acervos públicos, além do próprio acervo do autor.

As buscas envolveram os descritores “Erosão da Praia”, “Ressacas”, “Navegantes” e “Impactos na Praia” em combinações distintas, tanto na língua portuguesa quanto inglesa. Na busca seguinte fez-se uso da combinação de apenas dois descritores, sendo “Ressaca + Navegantes” e “Erosão + Ressacas + Navegantes”.

Neste processo de revisão, após a seleção inicial, foram aplicados critérios para avaliação da qualidade e relevância na qual foram consideradas três dimensões para pré-avaliação: a) qualidade, b) adequação ao escopo deste estudo, e c) foco na temática desta revisão. A categorização das buscas abrange desde artigos originais até reportagens publicadas em veículos de comunicação local (jornais). Livros, manuais, documentos técnicos, teses e dissertações também foram investigados. O banco de imagens do acervo técnico do autor associado com imagens satelitais pretéritas obtidas através do software Google Earth e processadas no software ArcGIS, contribuíram para embasar este estudo de revisão e gerar os indicadores de variação da linha de costa ao longo do período de 2004 a 2019.

O resultado da revisão bibliográfica específica para a ocupação e problemas de erosão da orla de Navegantes é apresentado na Tabela 2. No total foram encontradas 94 referências.

TABELA 2 – Resultado da revisão bibliográfica sobre a ocupação e problemas de erosão da orla de Navegantes (SC).

Tipo de publicação	Quantidade (n°)
Artigos científicos	7
Livros	4
Anais de congressos	4
Monografias	1
Dissertação de Mestrado	1
Notícias de jornais	7
Sites	37
Relatórios técnicos	30
Decretos Municipais	3
Total	94

A ocupação urbana desordenada no bairro Gravatá em Navegantes pode estar diretamente relacionada com a erosão costeira. Lins-de-Barros et al. (2016) em estudo realizado em Maricá (RJ), asseveram que a ausência de um planejamento urbano com limites adequados resultou na ocupação desordenada ao longo de praticamente todo o arco praial com construções localizadas próximas à escarpa do pós-praia e até mesmo avançando sobre a própria praia, tornando o litoral vulnerável às ressacas. Medeiros et al. (2016) em estudo realizado em Caucaia (CE) verificaram que o local vem sofrendo os efeitos da elevada especulação imobiliária, da ocupação desordenada da orla e elevado fluxo turístico e recreativo, acarretando sérios problemas de cunho físico, ambiental, social e econômico, além da intensificação do processo erosivo sobre a faixa de praia. Rangel-Buitrago et al. (2020) relacionaram a erosão costeira em Cartagena (Colômbia) com o aumento da urbanização. Todos esses casos são semelhantes ao que ocorreu e ocorre no bairro Gravatá. Muitas obras de infraestrutura pública foram instaladas sobre o sistema de dunas frontais, dentre as quais se cita: Avenida Beira Mar (Avenida Prefeito Cirino Adolfo Cabral), calçadão, deck de madeira e duas praças. Todas essas estruturas foram instaladas sobre o prisma ativo da praia. Além da ocupação das dunas frontais, houve uma grande ocupação das áreas de manguezal do Rio Gravatá tanto no Município de Navegantes quanto no Município de Penha, o que pode também ter afetado a dinâmica sedimentar local.

Com a emancipação política de Navegantes em 1962, ocorreu o processo de abertura da Avenida Beira Mar e a constituição do bairro Gravatá, frequentado por turistas provenientes de outras cidades do Vale do Itajaí na temporada de verão, consolidando o bairro como um balneário. A partir da segunda metade da década de

1990 houve uma intensa expansão imobiliária nesse bairro que perdura até os dias atuais.

A administração municipal do período de 1992-1995 realizou obras de revitalização na orla da praia com o objetivo de torná-la mais atrativa aos turistas, instalando uma praça pública e edificando um calçadão. Essas intervenções foram realizadas sobre a área de restinga, e a base sedimentar para a instalação dessas obras foi argila, sendo o material depositado sobre a vegetação, soterrando a pouca cobertura vegetal nativa existente.

Em decorrência das ressacas ocorridas ao longo da década de 1990, houve significativos danos sobre esses equipamentos urbanos, além de uma redução significativa da faixa de areia e a totalidade de ocupação das dunas frontais, conforme observado por Menezes (2002). Em 1999 a administração municipal realizou um aterro mecânico na orla da praia do Gravatá (MENEZES, 2002; KLEIN et al., 2006), utilizando aproximadamente 80.000 m³ de sedimentos retirados de uma jazida continental localizada no Bairro Santa Lídia, em Penha (SC) (MENEZES, 2002), sendo uma obra classificada por Menezes e Klein (2002) como “delicada”, devido aos processos hidrodinâmicos locais como a alta energia de ondas. O sedimento retirado da jazida continental localizada no Município de Penha apresentava uma granulometria variada, composta desde areia fina até areia grossa (MENEZES, 2002). Segundo a mesma fonte, devido a incompatibilidade granulométrica do material utilizado, em um curto espaço de tempo todo material havia sido removido pela hidrodinâmica local. Desde então nenhuma ação eficaz com o objetivo de recuperar a orla foi desenvolvida no Município.

Com a virada do milênio ocorreu, um novo período de rápido crescimento da ocupação urbana no bairro do Gravatá, sobretudo associado com a especulação imobiliária fortemente incentivado por projetos de verticalização das edificações. Em maio de 2001 uma forte ressaca atingiu a orla e provocou grandes estragos, fazendo com que o poder executivo municipal declarasse estado de calamidade pública (Decreto nº 259/2001).

Muros de arrimo (*sea walls*) foram construídos (Figura 6) com o objetivo de evitar o avanço do mar sobre a Avenida Beira Mar e edificações adjacentes. A exemplo das intervenções anteriores, esses não surtiram efeitos em barrar o avanço do mar e foram parcialmente destruídos pelas ressacas subsequentes. A alternativa adotada à época e que vem sendo utilizada até os dias de hoje consiste na disposição

de pedras (enrocamento) onde antes existia o sistema de dunas para tentar manter a orla fixa (Figura 7).

FIGURA 6 – Muro de contenção (sea wall) instalado no ano de 2003. A) Danos provocados por ressacas no ano de 2004. B) Danos provocados por ressacas no ano de 2010.



Fonte: acervo do autor.

FIGURA 7 – Enrocamento realizado na Praia do Gravatá a partir de 2003. A) Imagem do ano de 2004. B, C e D) Imagens do ano de 2010.



Fonte: acervo do autor.

Na administração do quadriênio 2005-2008, foi dado início à instalação de um deck (Figura 8), disposto sobre o enrocamento e sobre os remanescentes do sistema

de dunas. Inicialmente a estrutura instalada foi construída em concreto, com cobertura de madeira. No entanto, uma ação judicial exigiu a substituição das estruturas de concreto por estruturas de madeira, consideradas “ecologicamente corretas”. Entretanto, parte da estrutura de concreto (base) permaneceu.

Antes da instalação do deck, era comum na administração municipal ações de supressão dos remanescentes de vegetação nativa com o intuito de “melhorar” o conforto e acessibilidade dos frequentadores da praia (Figura 9). A prática das “roçadas” evidencia o desconhecimento da importância da vegetação na manutenção do sistema de restinga e da proteção contra os eventos meteorológicos extremos (ressacas) na orla da praia. Mesmo com a instalação de placas pela Fundação Municipal do Meio Ambiente de Navegantes (FUMAN) informando sobre a proibição de estacionar e acampar em toda a orla, a maior parte dos frequentadores ignorava tais informações e continuava a estacionar os carros sobre a faixa de restinga. Essa prática resultava na compactação do solo e dificultava o estabelecimento da vegetação nativa.

FIGURA 8 – A) Suspensão da instalação das estruturas de concreto (2009). B) Estrutura mista de concreto e madeira (2009). C) Estrutura mista de concreto e madeira sobre enrocamento e faixa de restinga (2010).



Fonte: acervo do autor.

FIGURA 9 – A e B) Roçadas realizadas no ano de 2009 na faixa de restinga para facilitar o estacionamento e o acesso à praia. C) Veículo estacionado sobre a faixa de restinga no ano de 2009 ao lado de placa informativa proibindo o estacionamento e acampamento em toda a orla marítima. D) Placa instalada no ano de 2009 em estreita faixa de restinga.



Fonte: acervo do autor.

Em 2010, após a passagem de um ciclone extratropical, outra expressiva ressaca foi registrada provocando, novamente, danos a infraestrutura existente na orla. Parte dos muros instalados foi destruída e teve que ser posteriormente substituída por rochas. A estreita faixa de restinga em muitos locais foi totalmente destruída.

A partir de 2015, foi feita a instalação do deck em madeira (Figura 10) e cabe relatar que essa estrutura foi e está sendo fundamental para a fixação e o desenvolvimento da vegetação nativa na maior parte da orla, haja vista que criou uma barreira física que impede o estacionamento de veículos e dificulta a circulação de pessoas, algo bastante comum em tempos de outrora. De acordo com os resultados do monitoramento realizado entre os anos de 2016 e 2018 do Projeto Nossa Praia (GAYA, 2016a-k; GAYA, 2017a-l; GAYA 2018a-g), nos locais onde não ocorreu a circulação de pessoas e o pisoteio, a vegetação nativa se desenvolveu, sendo fundamental para a fixação e estabilidade da restinga.

FIGURA 10 – Deck instalado na orla no ano de 2016. A) Ponte sobre o Ribeirão das Pedras. B) Em trecho do Bairro Gravatá. C) Base preparada para a instalação da ciclovia no Bairro Gravatá.



Fonte: acervo do autor.

Em outubro de 2016 um evento extremo provocou outra grande ressaca, combinado com maré astronômica causou danos sem precedentes na orla da praia do Gravatá (Figura 11), o que culminou com a assinatura de um decreto de situação de emergência pela administração municipal – Decreto nº 181/2016.

FIGURA 11 – Danos provocados na orla do Gravatá na ressaca ocorrida em novembro de 2016. A) Estrutura do deck de madeira completamente destruída e material do enrocamento arremetido para a Avenida. B) Extensão dos danos provocados na orla.



Fonte: A) Alves e Martins (2016). B) Prefeitura Municipal de Navegantes (2016).

Nos dias 6 e 7 de setembro de 2017, menos de um ano após o evento que gerou o Decreto nº 186/2016, uma nova e intensa ressaca provocou danos à estrutura do deck (Figura 12), resultando em nova declaração de situação de emergência pelo Decreto nº 435/2017. Novamente, a solução apresentada pela administração pública foi o enrocamento.

FIGURA 12 – Danos provocados pela ressaca de setembro de 2017. A e B) Danos provocados à estrutura do deck. C) Danos provocados na estreita faixa de restinga remanescente. D e E) Enrocamento emergencial para evitar mais danos à infraestrutura.



Fonte: acervo do autor.

O histórico apresentado até o momento permite inferir que esse tipo de intervenção (disposição de rochas e construção de muros de contenção), trata-se de uma medida paliativa, para evitar maiores danos ao patrimônio público e privado. Nas regiões onde essas medidas foram adotadas, ocorreu uma amplificação dos processos erosivos nas áreas imediatamente adjacentes (CTTMar, 1999), sendo observado muitas vezes o colapso total dessas obras (KLEIN et al., 2006), conforme observado nos eventos ocorridos em 2016 e 2017. Adicionalmente, tais obras de proteção, tendem a intensificar os processos erosivos (RANGEL-BUITRAGO et al., 2020), devido ao fenômeno físico da reflexão das ondas incidentes, incrementando o transporte e a perda de sedimentos da base dessas estruturas para a zona de surfe.

De acordo com Bonetti et al. (2018), as suscetibilidades mais elevadas concentram-se em áreas onde a urbanização está muito perto da costa, em muitos casos substituindo as dunas originais. No mesmo estudo os autores também citam um trabalho publicado pelo IPCC no ano de 2014, na qual afirmam que os sistemas costeiros sofrerão cada vez mais inundações e erosão durante o século 21. Nesse sentido, informações quantitativas sobre os impactos potenciais das ondas de tempestade serão necessárias para avaliar a susceptibilidade da zona costeira e formular políticas públicas eficazes para reduzir a magnitude desses impactos. Isso é

particularmente crítico em áreas altamente desenvolvidas onde a proximidade de ativos humanos à linha costeira expõe a infraestrutura à erosão e inundações. Esse cenário, indubitavelmente, reflete a realidade da Praia do Gravatá.

A deficiência de abastecimento sedimentar relacionada às causas naturais como as variações médias do nível do mar que podem ser persistentes e periódicas, demonstra ser potencializada pelas múltiplas atividades antrópicas desenvolvidas na zona costeira e bacias hidrográficas próximas (HORN FILHO, 2006; KLEIN et al., 2006). Uma das alternativas para suprir esta demanda sedimentar consiste na alimentação artificial de praias por meio da acreção de areia sobre a praia e/ou ante praia para avançar a posição da linha de costa em direção ao mar ou manter o volume de sedimentos no sistema litorâneo (MENEZES; KLEIN, 2002). Projetos de alargamento da faixa arenosa de dunas frontais e das praias (Barra Velha, Piçarras, Gravatá e Balneário Camboriú) têm sido o método mais utilizado para mitigar os efeitos dos processos erosivos (MMA, 2006).

Diante desse cenário Menezes (2002) projetou quatro situações distintas de recuperação da orla da Praia do Gravatá com larguras de 15, 50, 75 e 100 metros, conforme demonstrado na Tabela 3.

TABELA 3 – Valores estimados para a recuperação da orla da Praia do Gravatá, Navegantes (SC).

Largura (m)	Sedimentos (m³)	Valor (US\$)	Valor (R\$)
15	290.000	1.450.000,00	7.605.250,00
50	960.000	4.800.000,00	25.176.000,00
75	1.450.000	7.250.000,00	38.026.250,00
100	1.900.000	9.500.000,00	49.827.500,00

Fonte: Adaptado de Menezes (2002).

Os cálculos apontaram para uma demanda de sedimentos de 290.000 m³, 960.000 m³, 1.450.000 m³ e 1.900.000 m³, respectivamente. Os valores aproximados eram de US\$ 1.450.000,00, US\$ 4.800.000,00, US\$ 7.250.000,00 e US\$ 9.500.000,00 respectivamente. Considerando os valores em dólar e convertendo para a cotação atual, a recuperação da orla do Gravatá é estimada entre R\$ 7.975.000,00 e R\$ 52.250.000,00.

O limite sul da Praia de Navegantes ocorre junto ao molhe instalado ao Norte da Foz do Rio Itajaí-Açu. De acordo com Serraglio (2014) a partir de 1895 a Comissão de Melhoramentos do Rio Itajahy começa a intervir no leito do rio com a finalidade de

ampliar a sua navegabilidade. Em 1914 foram construídos 700 metros lineares do molhe Sul e, mais tarde, incluindo o enrocamento que formou o molhe Norte (PORTO DE ITAJAÍ, 2020). Em 1926 o sistema foi ampliado através da instalação das defensas das margens esquerda e direita do rio e dos molhes nas duas margens (SERRAGLIO, 2014). No ano de 2016 foi iniciada a obra de instalação da Bacia de Evolução do complexo portuário do rio Itajaí-Açu, e os molhes, sobretudo na margem Norte, sofreram novas intervenções ainda inacabadas.

Entre as décadas de 1980 e 1990, a vegetação existente no canto sul era classificada, de acordo com a Resolução CONAMA nº 261 de 1999, como restinga herbácea, possuindo poucos arbustos ao longo da sua extensão. Esta porção da praia apresenta o local com a restinga mais preservada de toda a orla do Município. Com o passar dos anos, com a diminuição do trânsito de pessoas e consequente redução do pisoteio, houve um maior desenvolvimento da vegetação, passando a arbustiva, e atualmente, arbórea. Atualmente é possível observar os três extratos nessa região.

Muitos fatores contribuíram para essa situação, sendo um dos principais, senão o principal, a remoção dos quiosques, outrora instalados sobre a restinga, a partir de 2012 por uma determinação da Justiça Federal da 4ª Região, requerida pelo Ministério Público Federal (MPF) através da ação civil pública nº 1999.72.08.006654-0 (NAVEGANTES, 2012). Previamente à esta determinação judicial, a FUMAN iniciou ações (entre o final de 2009 e começo 2010), com o objetivo de recuperar a restinga através da promoção do crescimento de dunas embrionárias (Figura 13).

Esse projeto foi iniciado a partir da assinatura de um termo de ajustamento de conduta entre a Prefeitura Municipal e o Ministério Público Federal (NAVEGANTES, 2017). Os troncos que chegavam até a praia passaram a ser dispostos em frente das dunas frontais, formando uma barreira física e contribuiu para a retenção de sedimentos que chegavam pela ação dos ventos, proporcionando condições para a formação da duna embrionária e para o estabelecimento da vegetação nativa (Figura 13). As dunas embrionárias são o primeiro estágio do desenvolvimento das dunas (VAN PUIJENBROEK et al., 2017). Este constante processo ajuda a estabilizar o pacote sedimentar, fixam as dunas e protegem a restinga (EAMER; WALKER, 2010; MONTREUIL et al., 2013; DEL VECCHIO et al., 2017; VAN PUIJENBROEK et al., 2017). Pouco mais de uma década após o início do projeto experimental, a área de restinga praticamente dobrou (Figura 16). Um grande volume de sedimentos foi fixado no local, (Figura 14), demonstrando grande eficácia e aplicabilidade da técnica.

FIGURA 13 – Detalhes da área do projeto de dunas embrionárias. A) 2017. Troncos deixados para formar as barreiras físicas responsáveis pela retenção de sedimentos e formação das dunas embrionárias. B) 2017. Expansão da faixa de restinga. C) 2017. Formação de dunas embrionárias nas dunas frontais. D) 2018. Detalhe da retenção de sedimentos por tronco deixado nas dunas frontais e estabelecimento de salsa-da-praia (*Ipomoea pes-caprea*).



Fonte: Acervo do autor.

FIGURA 14 – Vista panorâmica do campo de dunas embrionárias em março de 2018. A) Expansão em direção ao Norte. B) Dimensão da área de restinga herbácea até o início da área de restinga arbustiva. C) Detalhe do estabelecimento da vegetação de restinga herbácea.



Fonte: Acervo do autor.

Nesta região da orla, comumente se observa a expansão do estrato arbustivo sobre o estrato herbáceo, sobretudo *Dalbergia ecastophyllum* (Figura 15), popularmente conhecida por marmeleiro-da-praia. De acordo com Mata (2014), essa

espécie pode ocorrer como arbustos entrelaçados com ramos, e apresentar fisionomia herbácea, subarbastiva e arbustiva. Seu sistema radicular é composto por uma raiz principal e apresentam nódulos que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN).

FIGURA 15 – Avanço de *Dalbergia ecastophyllum* sobre o estrato herbáceo de dunas embrionárias da região Sul (Pontal).



Fonte: Acervo do autor.

Essas descrições trazem duas informações muito importantes. A primeira delas diz respeito a anatomia dessa espécie, que além de promover grande cobertura do solo, ajuda a reter sedimentos e fixar as dunas. A segunda diz respeito à FBN. Considerando que se trata de um ambiente com solo bastante pobre (Neossolo Quartzarênico), a FBN nesses locais possui fundamental importância para a ciclagem de nutrientes e fornecimento de nitrogênio para as demais espécies vegetais.

5.2 Histórico da dinâmica da orla através do Sensoriamento Remoto

Imagens satelitais pretéritas das duas áreas estudadas foram obtidas através do software Google Earth, utilizando as imagens disponíveis entre 2004 e 2018. Foram obtidas 16 imagens de cada região estudada, totalizando 32 imagens (Tabela 4). Conforme pode ser observado, houve um intervalo de tempo de sete anos sem

disponibilização de imagens (T0 a T1). A partir de T1, ao menos uma imagem fora disponibilizada anualmente.

TABELA 4 – Datas das imagens satelitais obtidas junto ao software Google Earth.

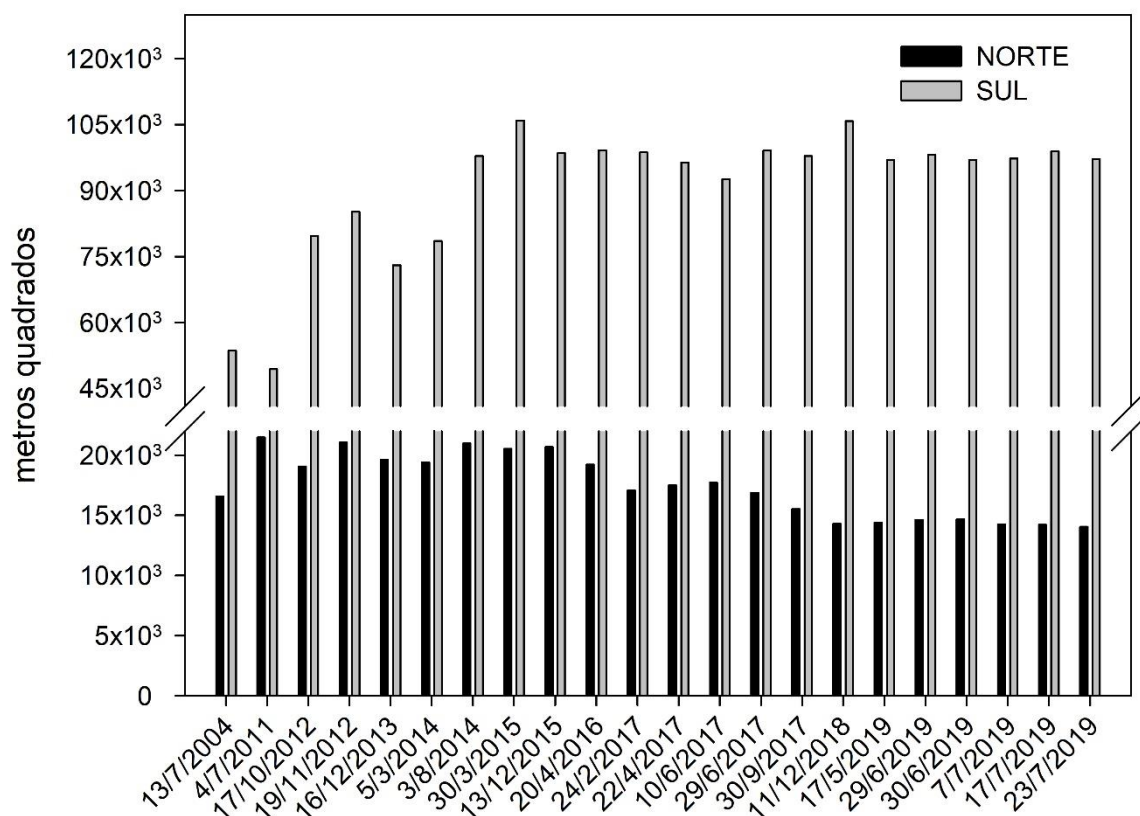
Tempo	Data
T0	13/07/2004
T1	07/04/2011
T2	17/10/2012
T3	19/11/2012
T4	16/12/2013
T5	05/03/2014
T6	03/08/2014
T7	30/03/2015
T8	13/12/2015
T9	20/04/2016
T10	24/02/2017
T11	22/04/2017
T12	10/06/2017
T13	29/06/2017
T14	30/09/2017
T15	11/12/2018

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 16 apresenta o comparativo da área (m²) entre as duas regiões estudadas entre T0 (2004) e T15 (2018). Entre 2004 (T0) e 2011 (T1) a área de restinga na região sul apresentava redução, enquanto na região norte se observava acréscimo. Entre 2012 (T2) e 2014 (T6), foi possível observar um expressivo incremento de 48.466 m² (98,16%) em relação a 2011 (T1), e a partir de 2015 (T7) o sistema de restinga demonstra ter estabilizado indicando a recuperação desse bioma na região sul da orla da praia (Figura 18).

Na região norte se observava pequenas variações na área da restinga entre 2011 (T1) e 2015 (T8), com variações consideradas normais dentro dos ciclos geológicos que envolvem a dinâmica sedimentar de praias arenosas (RANGEL-BUITRAGO et al., 2020). A partir de 2016 (T9) houve evidente perda de área de restinga anualmente até 2018 (T15), indicando que os processos erosivos nesta região da orla estão em um nível grave e crônico (Figura 17). Com base neste padrão observado de variação da área, a região norte foi dividida em dois agrupamentos (T0-T11 e T12-T21), utilizados para a aplicação dos testes estatísticos comparativos.

FIGURA 16 – Variação da área (m²) de restinga na região Norte (Gravatá) e na região Sul (Pontal) no período compreendido entre 13/7/2004 (T0) e 23/7/2019 (T21).



Fonte: elaborado pelo autor.

Em 2004 (T0) a região Norte (Praia do Gravatá) apresentava uma área total de 16.572 m², enquanto a região Sul (Pontal) apresentava 53.605 m². A maior área registrada na região Norte foi em 2011 (T1), quando o local atingiu 21.462 m², tendo ocorrido um acréscimo de área de 4.890 m² em relação à área registrada em (T0). A partir de 2017 (T11) o processo erosivo fica mais evidente e significativo ($z = 2,70$; $p = 0,007$), e culmina com a menor área registrada em 2019 (T21, vide próximo tópico), com 14.031 m². Considerando a diferença na área entre T0 e T21, a região norte sofreu significativa ($t = 30,79$; $p = 0,001$) erosão de 2.541 m², e considerando a diferença entre área registrada em T1 e a área em T21, a redução foi de 7.431 m², (34,62%) ou 495,4 m²/ano.

Na região sul da praia (Figura 18), a maior área registrada foi de 105.969 m² em 2018 (T15), enquanto a menor área foi de 49.372 m² em 2011 (T1), quando o projeto de dunas embrionárias entrava no segundo ano. O maior crescimento proporcional se deu entre 2011 (T1) e 2012 (T2), com 61,33% de incremento de área. Esta região pôde ser dividida em três agrupamentos (T0-T2, T3-T7, T8-T21),

apresentando diferença apenas entre todos os agrupamentos ($t= 28,01$; $p= 0,001$), indicando uma tendência constante de modificação, neste caso positiva. Considerando a maior e a menor área registradas (T15 e T1, respectivamente), pode-se dizer que o local apresentou uma acreção máxima de 56.597 m², ou seja, um aumento de 114,63%. Ao ser considerada a área em 2004 (T0) e em 2019 (T21), houve um significativo acréscimo de 43.545 m², ou seja, um incremento de área da ordem de 81,23%.

A erosão costeira tem sido observada ao longo do litoral brasileiro em decorrência de diversos fatores sobretudo nos municípios que apresentam a linha de costa modificada do estado natural para antrópico (MMA, 2006; OLIVEIRA, 2009; ARAÚJO et al., 2010; MACHADO, 2010; SCHMIDT et al., 2013). Em Navegantes desde meados da década de 1960 esse processo vem ocorrendo, inicialmente pela construção da malha viária do município, especialmente a Avenida Beira Mar, posteriormente com a sua utilização como estacionamento durante a temporada de veraneio, e a instalação dos decks, calçadas e praças, contribuíram para suprimir os remanescentes de vegetação, o que deixou o solo exposto aos agentes intempéricos que erodiram o pacote sedimentar e culminaram nos danos à infraestrutura urbana.

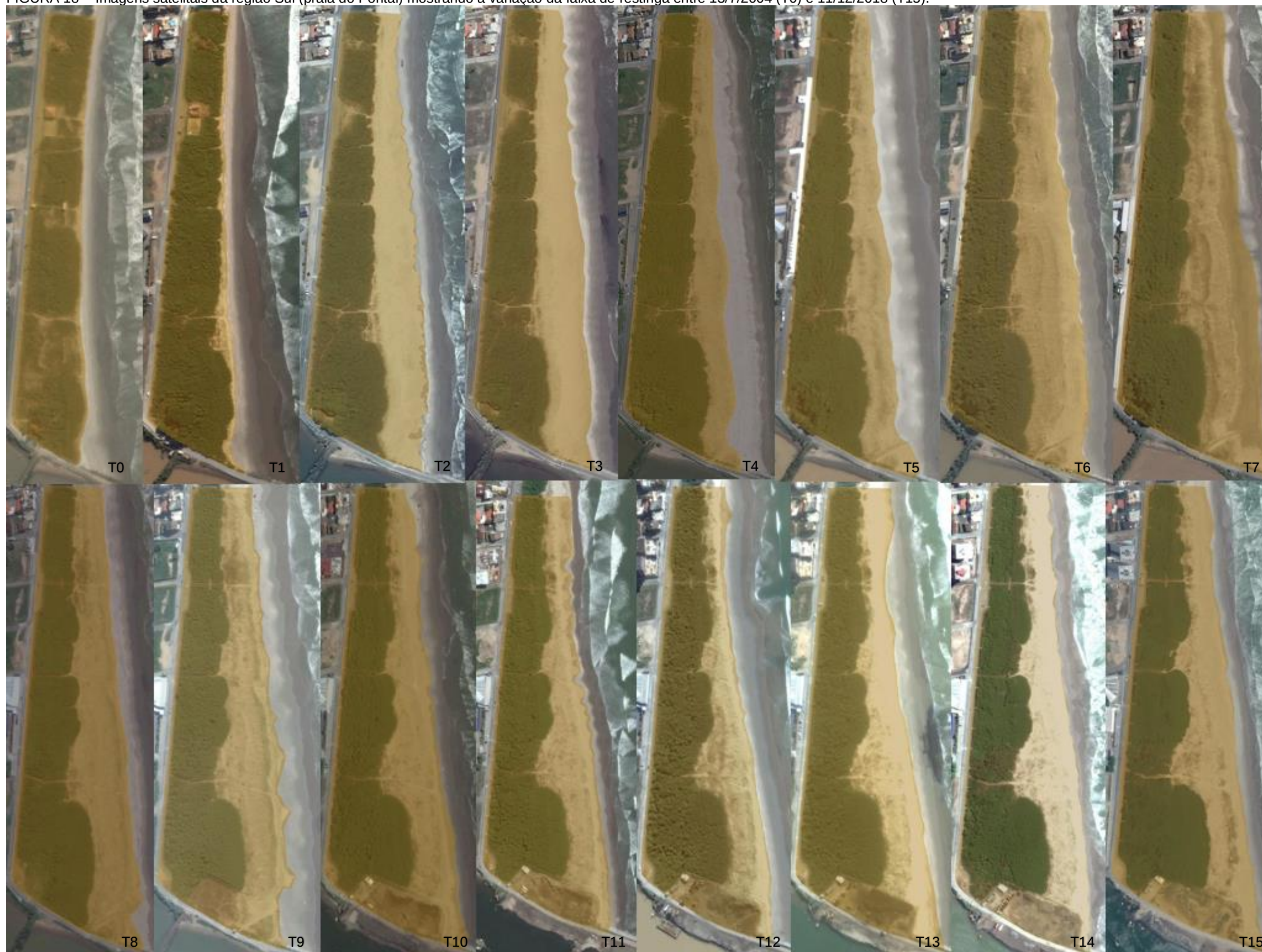
A disposição de rochas onde deveria ser o sistema de dunas e a construção de muros de contenção (*sea walls*) visando proteger a orla frente aos sucessivos eventos meteorológicos (ressacas), são “soluções” paliativas, e necessita estar associada com outras medidas de médio e longo prazo para recompor o sistema de dunas e sua vegetação de modo a garantir a retenção e o provimento de volume sedimentar para ser remobilizados durante os eventos meteorológicos extremos, como forma de dissipar a energia destes fenômenos e proteger a orla da praia.

FIGURA 17 – Imagens satelitais da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15).



Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

FIGURA 18 – Imagens satelitais da região Sul (praia do Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15).



Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

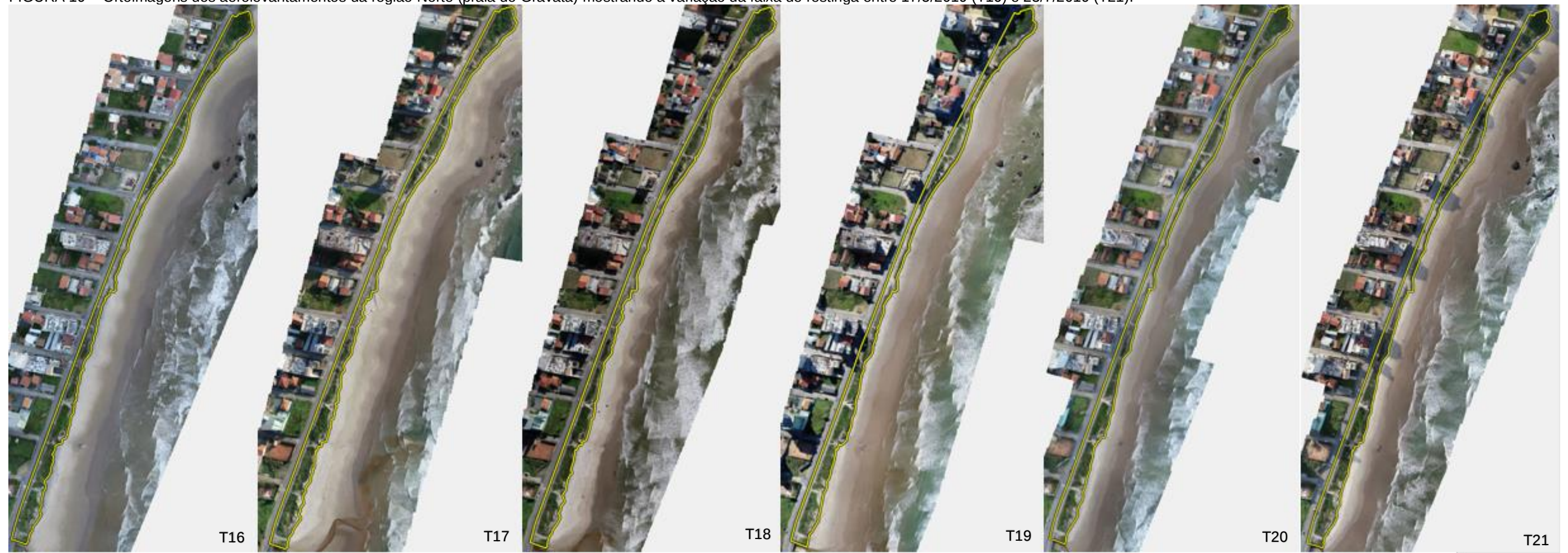
5.3 Estimativa do volume sedimentar com o uso de VANT

Foram realizados seis sobrevoos em cada um dos locais estudados. O voo inicial na região sul ocorreu em 26/4/2019 (T16), e na região norte em 17/5/2019 e último voo ocorreu em 23/7/2019 (T21). Nesta data, a região norte (Praia do Gravatá) apresentou uma área remanescente de 14.372 m², enquanto a região sul (Pontal) apresentou 97.004 m². A maior área registrada na região norte nos aerolevantamentos foi em 30/6/2019 (T18), quando o local atingiu 14.670 m². E a menor área de todo o período analisado, considerando a análise histórica apresentada no tópico anterior e os aerolevantamentos foi registrada em 23/7/2019 (T21), com 14.031 m². Considerando apenas o período compreendido entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21), a região norte apresentou uma área média de 14.354 m², e um processo erosivo que consumiu 639 m², ou seja, uma redução de 4,45% (Figura 19).

Neste mesmo período a maior área registrada na região sul foi em 17/7/2019 (T20), quando o local apresentou 98.929 m², e a menor área foi em 26/4/2019 (T16), com 97.004 m², e uma área média de 97.589 m². Neste período o processo de erosão consumiu 1.925 m², uma redução de 1,97% (Figura 20).

Uma das principais vantagens do uso do VANT consiste na possibilidade de estimar o volume de sedimentos contidos em ambos os locais estudados nos polígonos estabelecidos em cada levantamento. Os resultados dos levantamentos mostraram que ambos os locais estudados estão susceptíveis tanto aos processos de acreção quanto de erosão provocados pelos eventos meteorológicos extremos. A média de volume de sedimentos apurada na região Norte foi de 19.356,63 m³ numa área média de 29.073,82 m², com uma erosão média de 3.825,41 m³ (0,05 m) no período. Ao se considerar o volume médio de sedimentos na região Norte, têm-se uma altura média de apenas 0,67 m (Tabela 5). Na região sul, a média de sedimentos apurada foi de 138.426,32 m³ numa área média de 58.733,45 m², com uma acreção média de 956,85 m³ (0,05 m) no período. Ao se considerar o volume médio de sedimentos na região Sul, têm-se uma altura média de 2,37 m (Tabela 6), ou seja, em termos proporcionais, um volume de sedimentos 3,54 vezes superior ao volume de sedimentos da região Norte.

FIGURA 19 – Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21).



Fonte: elaborado pelo autor.

FIGURA 20 – Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Sul (Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 26/4/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21).



Fonte: elaborado pelo autor.

TABELA 5 – Volumes de sedimentos calculados na porção Norte da Praia de Navegantes durante o intervalo de tempo entre T16 e T21. Diferença (m) representa o volume calculado na área parcial de cada levantamento. Valores positivos correspondem à acreção, e volumes negativos correspondem à erosão.

Tempo	Perímetro (m)	Dif. (m)	Área (m²)	Dif. (m²)	Volume (m³)	Dif. (m³)	Volume/área (m)	Dif. (m)	Resultado
T16	2.035,00	0,00	43.338,20	0,00	31.362,40	0,00	0,72	0,00	-
T17	1.934,60	-100,40	44.111,80	773,60	27.920,40	-3.442,00	0,63	-0,09	Erosão
T18	1.879,60	-55,00	24.107,10	-20.004,70	11.964,80	-15.955,60	0,50	-0,14	Erosão
T19	1.885,60	6,00	23.813,00	-294,10	19.262,89	7.298,09	0,81	0,31	Acreção
T20	1.870,10	-15,50	18.689,40	-5.123,60	17.219,30	-2.043,59	0,92	0,11	Acreção
T21	1.820,70	-49,40	20.383,40	1.694,00	8.409,97	-8.809,33	0,41	-0,51	Erosão
Média	1.904,27	-35,72	29.073,82	-3.825,80	19.356,63	-3.825,41	0,67	-0,05	Erosão

Onde: Dif. (diferença entre levantamentos).

Fonte: elaborado pelo autor.

TABELA 6 – Volumes de sedimentos calculados na porção Sul da Praia de Navegantes durante o intervalo de tempo entre T16 e T21. Diferença (m) representa o volume calculado na área parcial de cada levantamento. Valores positivos correspondem à acreção, e volumes negativos correspondem à erosão.

Tempo	Perímetro (m)	Dif. (m)	Área (m²)	Dif. (m²)	Volume (m³)	Dif. (m³)	Volume/área (m)	Dif. (m)	Resultado
T16	1.802,90	0,00	61.198,40	0,00	136.888,50	0,00	2,24	0,00	-
T17	1.946,00	143,10	73.369,70	12.171,30	158.414,60	21.526,10	2,16	-0,08	Erosão
T18	1.828,40	-117,60	49.636,70	-23.733,00	127.880,20	-30.534,40	2,58	0,42	Acreção
T19	1.820,90	-7,50	58.603,10	8.966,40	133.169,30	5.289,10	2,27	-0,30	Erosão
T20	1.813,60	-7,30	53.456,40	-5.146,70	131.575,70	-1.593,60	2,46	0,19	Acreção
T21	1.817,60	4,00	56.136,40	2.680,00	142.629,60	11.053,90	2,54	0,08	Acreção
Média	1.838,23	2,45	58.733,45	-843,67	138.426,32	956,85	2,37	0,05	Acreção

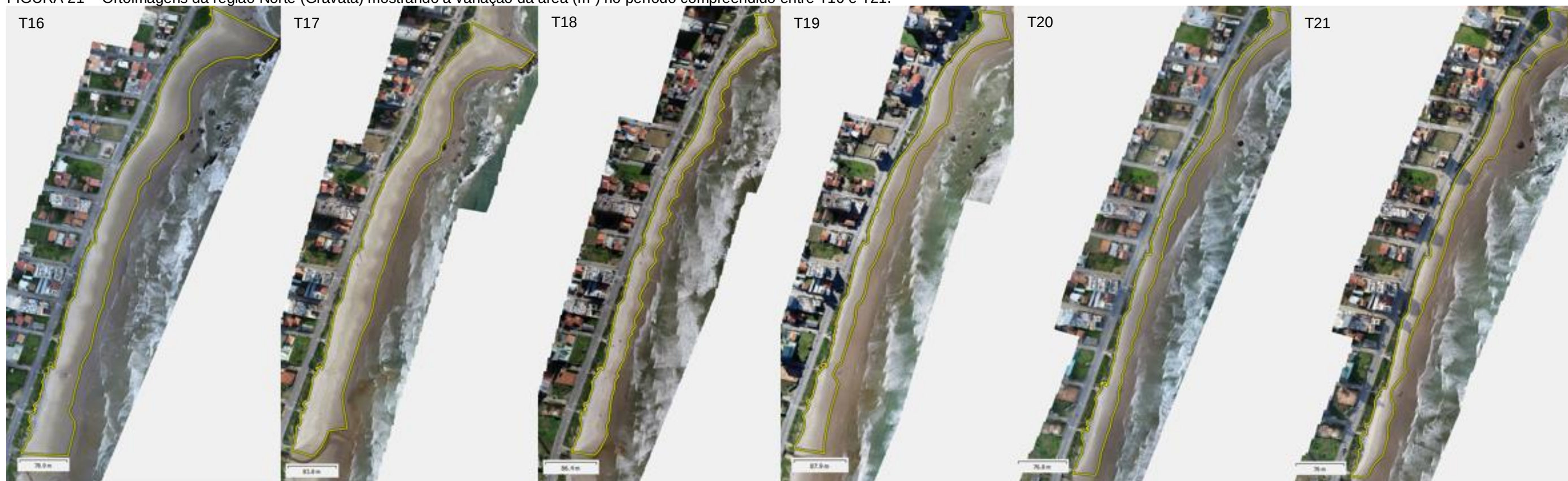
Onde: Dif. (diferença entre levantamentos).

Fonte: elaborado pelo autor.

As diferenças de área encontradas em ambas as tabelas são referentes à faixa de areia molhada na ocasião em que foram realizados os voos. Proporcionalmente as diferenças são enormes, mas nesse caso levou-se em consideração a maré, que no caso, interferiu diretamente na área apurada em cada um dos levantamentos (maior diferença encontrada em T18 em relação à T17 em ambos os levantamentos). O mesmo pode-se dizer a respeito do volume. É possível notar diferenças significativas em T18 em relação à T17 em ambos os levantamentos. Nesse caso, fez-se a relação entre volume pela área encontrada, chegando a valores proporcionais. Em se tratando deste mesmo período, nota-se na região Sul uma acreção de 0,42 m, enquanto na região Norte, nota-se uma erosão de 0,14 m. Em T19 a região Sul sofreu uma erosão de 0,3 m, enquanto a região Norte sofreu uma acreção de 0,31 m.

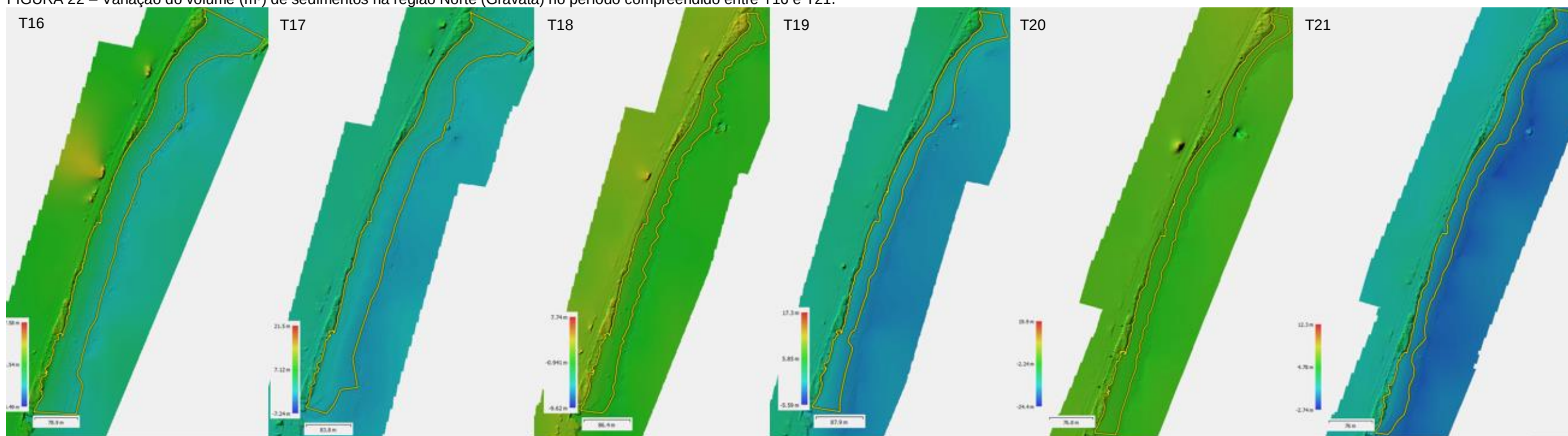
Apesar das discrepâncias absolutas em termos de volume, a região sul apresenta uma área de restinga vegetada significativamente superior a norte ($z=0,0000$; $p=0,000$). O incremento dessa área se deu ao longo dos anos de execução do projeto de dunas embrionárias no local, tendo ocorrido a fixação de um grande volume de sedimentos que proporcionou a expansão da faixa de areia e da faixa vegetada. Essa região possui uma grande reserva de sedimentos, o que harmoniza a dinâmica sedimentar e uma maior capacidade de suportar os eventos meteorológicos extremos sem comprometer a infraestrutura pública, tal qual ocorre na região Norte.

FIGURA 21 – Ortoimagens da região Norte (Gravatá) mostrando a variação da área (m^2) no período compreendido entre T16 e T21.



Fonte: elaborado pelo autor.

FIGURA 22 – Variação do volume (m^3) de sedimentos na região Norte (Gravatá) no período compreendido entre T16 e T21.



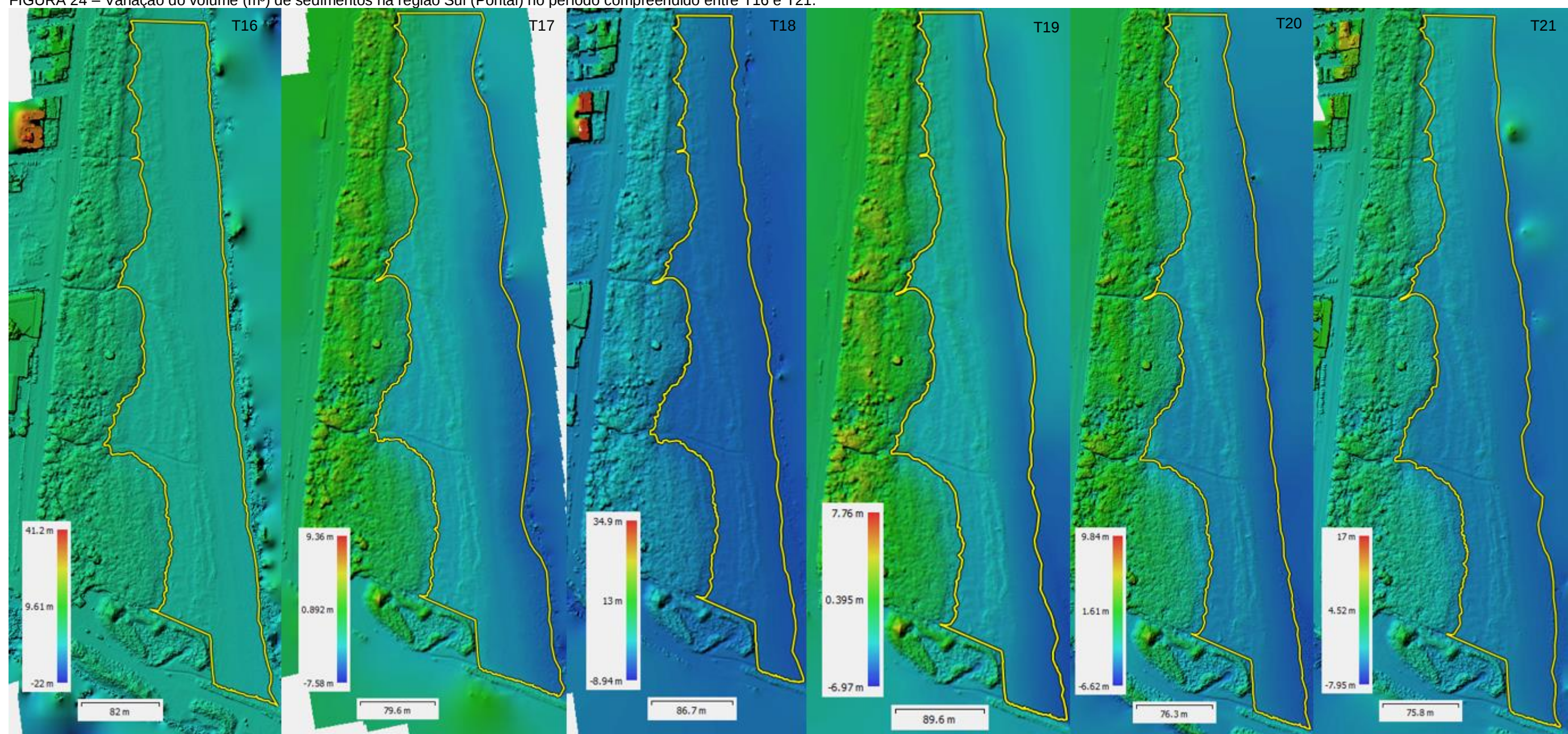
Fonte: elaborado pelo autor.

FIGURA 23 – Ortoimagens da região Sul (Pontal) mostrando a variação da área (m²) no período compreendido entre T16 e T21.



Fonte: elaborado pelo autor.

FIGURA 24 – Variação do volume (m^3) de sedimentos na região Sul (Pontal) no período compreendido entre T16 e T21.



Fonte: elaborado pelo autor.

Diante dos resultados, o método de utilização do VANT se demonstrou eficaz para o monitoramento da dinâmica sedimentar nos dois locais estudados, vindo ao encontro dos resultados obtidos por Yoo e Oh (2016) na Coreia do Sul. Além disso, os resultados obtidos reforçam as afirmações feitas por Frankenberger et al. (2008), d'Oleire-Oltmanns et al. (2012), Niethammer et al. (2012), Quiquerez et al. (2014), Aldana-Jague et al. (2016), Villa et al. (2016), Stone et al. (2017), Manfreda et al. (2018), nas quais utilizaram os VANT para estudar a erosão do solo, as características de superfícies, realizar avaliações ambientais, monitoramento e diagnóstico ambiental, além de serem ferramentas importantes no monitoramento de eventos meteorológicos extremos e desastres.

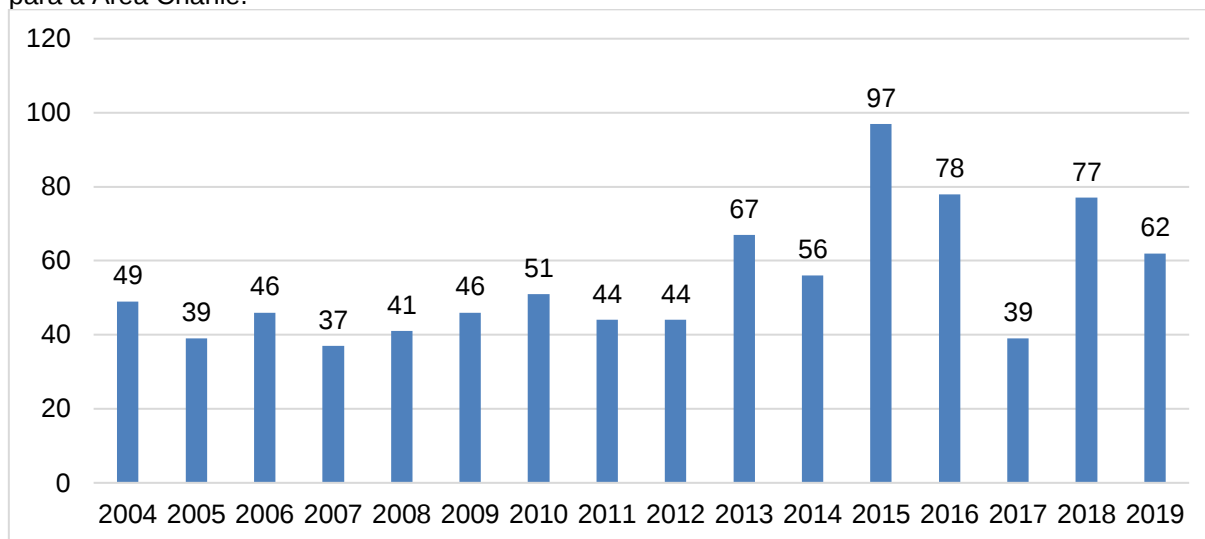
De acordo com Brunier et al. (2016), a fotogrametria de superfície é de fácil operacionalização, apresenta baixo custo e oferece novas e interessantes perspectivas nos campos costeiros, dentre outros da geomorfologia que requerem dados topográficos de alta resolução. A técnica permite a construção de produtos topográficos, como modelos digitais de superfícies, e ortofotografias. Pode ser realizada com a instalação de sensores tanto em veículos aéreos tripulados como VANT. Resultados semelhantes foram obtidos por Scarelli et al. (2017) ao realizarem o monitoramento

costeiro utilizando VANT para a obtenção de fotogrametria de alta precisão e alta qualidade. O estudo demonstrou a eficácia e aplicabilidade da fotogrametria dos VANT no monitoramento costeiro, sendo considerada uma técnica útil e de baixo custo, podendo ser uma ferramenta importante na tomada de decisão do gerenciamento da zona costeira.

5.4 Avisos de mau tempo

Um total de oitocentos e setenta e três (873) avisos foram emitidos entre os anos de 2004 e 2019 para a área *Charlie*, o que perfaz uma média de 54,56 avisos/ano. Os anos em que os avisos foram acima da média foram 2015 (97), 2016 (78), 2018 (77), 2013 (67), 2019 (62) e 2014, com 56 avisos. Todos os demais anos apresentaram avisos abaixo da média para o período, com destaque para o ano de 2007 com trinta e sete (37) avisos (Figura 25).

FIGURA 25 – Frequência anual de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019 para a Área Charlie.

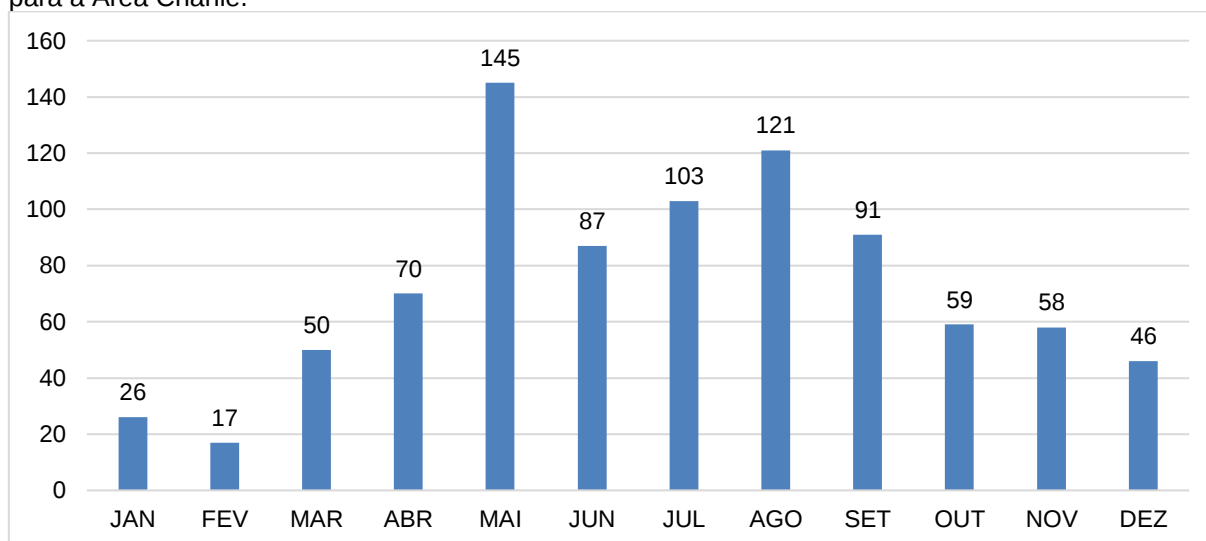


Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

Foi possível constatar que esses avisos são emitidos durante todos os meses do ano, com uma média de 72,75 avisos por mês. O período compreendido entre o meio do outono, o inverno e o meio da primavera apresentam a maior frequência de avisos de ressaca, sendo que os meses de maio, agosto, julho, setembro e junho são os meses com o maior número de avisos, com 145, 121, 103, 91 e junho 87 avisos,

respectivamente. Em contrapartida existe uma tendência de estabilidade a partir da segunda metade da primavera, todo o verão e a primeira metade do outono, sendo que nesses meses ocorrem as menores frequências de avisos: fevereiro, janeiro, dezembro, março, novembro, outubro e abril, com 17, 26, 46, 50, 58, 59 e abril 70 avisos, respectivamente (Figura 26).

FIGURA 26 – Frequência mensal de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019 para a Área Charlie.



Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

Os avisos de mau tempo ocorridos durante o ano de 2019 para a área *Charlie* são apresentados na Tabela 7. Dentre os avisos emitidos, dezesseis (16) de fato se tornaram ressaca e atingiram as duas áreas estudadas durante o interstício em que foram realizados os sobrevoos (avisos em destaque). Desses avisos emitidos, se constatou ressaca após o aviso de nº 705/2019. A ressaca promoveu erosão na região Norte (3.374,99 m³) e acreção na região Sul (20.847,41 m³), conforme constatado nos sobrevoos realizados em 7/7/2019. Em 8/7/2019 foi realizado novo sobrevoos sobre a região Sul, onde foi constatada erosão (17.580,93 m³), o que pode ser resultado do efeito continuado da ressaca provocada no dia anterior.

No sobrevoos realizado dias após a emissão do aviso nº 754/2019, se observou a maior erosão na região Norte (10.395,53 m³) e acreção na região Sul (4.490,92 m³). No entanto, na ressaca registrada nessa data não foram emitidos avisos de mau tempo pela Marinha do Brasil para a Área Charlie, o que vem a comprovar a informação citada pela fonte.

TABELA 7 – Avisos de mau tempo emitidos no ano de 2019 para a área Charlie.

Nº	Emissão	Altura das ondas (m)	Direção	Localização (entre)
042	03/fev	2,5	S/SE	Cananéia (SP) e Ilhabela (SP)
062	11/fev	2,5	S/SE	Laguna (SC) e Cananéia (SP)
063	11/fev	2,5	S/SE	Cananéia (SP) e Arraial do Cabo (RJ)
076	15/fev	2,5	SE	Florianópolis (SC) e Peruíbe (SP)
080	16/fev	2,5	S/SE	Laguna (SC) e Cananéia (SP)
128	09/mar	2,5	SE	Mostardas (RS) e Arraial do Cabo (RJ)
189	20/mar	2,5	S/SE	São Sebastião (SP) e Arraial do Cabo (RJ)
194	21/mar	2,5	S/SE	Arraial do Cabo (RJ) e Linhares (ES)
201	22/mar	2,5	S/SE	Vitória (ES) e Salvador (BA)
252	08/abr	2,5	SW/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
263	10/abr	2,5	SW/SE	Santos (SP) e Regência (ES)
276	15/abr	2,5/3,0	SE/E	Mostardas (RS) e Paranaguá (PR)
285	16/abr	2,5/3,0	SW/S	Paranaguá (PR) e Arraial do Cabo (RJ)
326	01/mai	2,5	SW/S	Paraty (RJ) e Cabo Frio (RJ)
351	07/mai	2,5	S/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
352	07/mai	2,5	S/SE	Cabo de São Tomé (RJ) e Linhares (ES)
354	07/mai	2,5	S/SE	Cabo de São Tomé (RJ) e Linhares (ES)
378	14/mai	2,5	S/SE	Florianópolis (SC) e Arraial do Cabo (RJ)
407	17/mai	2,5	SE/E	Santos (SP) e Arraial do Cabo (RJ)
415	19/mai	2,5	SE/E	São Sebastião (SP) e Arraial do Cabo (RJ)
447	23/mai	2,5/3,0	S/SE	Torres (RS) e São Francisco do Sul (SC)
456	23/mai	2,5	SW/S	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
501	02/jun	2,5	SW/S	Rio de Janeiro (RJ) e Cabo de São Tomé (RJ)
504	03/jun	2,5	SW/S	Rio de Janeiro (RJ) e Cabo de São Tomé (RJ)
521	04/jun	2,5	SW/SE	Cabo Frio (RJ) e Cabo de São Tomé (RJ)
541	06/jun	2,5	S/SE	Cabo de São Tomé (RJ) e Linhares (ES)
594	19/jun	2,5	SW/S	Ilhabela (SP) e Arraial do Cabo (RJ)
665	02/jul	2,5/3,0	SW/S	Santos (SP) e Arraial do Cabo (RJ)
705	06/jul	2,5	SW/SE	Cabo de Santa Marta (SC) e Cabo de São Tomé (RJ)
709	07/jul	2,5	SW/SE	Ilha Grande (RJ) e Cabo de São Tomé (RJ)
754	15/jul	2,5	S/SE	Jaguaruna (SC) e Santos (SP)
755	15/jul	2,5/3,0	SW/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
762	16/jul	2,5/3,0	SW/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
796	18/jul	2,5/3,0	SE/E	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
803	19/jul	2,5/3,0	SE/E	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
824	20/jul	2,5/3,0	SE/E	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
911	31/jul	2,5/3,0	SW/SE	Laguna (SC) e Santos (SP)
912	31/jul	2,5/3,0	SW/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
933	02/ago	2,5	SW/SE	Ilhabela (SP) e Linhares (ES)
979	08/ago	2,5	S/SE	Cananéia (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
986	09/ago	2,5	S/SE	Mostardas (RS) e Florianópolis (SC)
1015	11/ago	2,5/3,0	SW/SE	Laguna (SC) e Ilhabela (SP)
1020	12/ago	2,5/3,0	SW/SE	Ilhabela (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
1033	14/ago	2,5/3,0	SW/SE	Ilhabela (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
1072	19/ago	2,5	SW/S	Rio de Janeiro (RJ) e Cabo Frio (RJ)
1089	26/ago	2,5	SE/E	Paraty (RJ) e Vitória (ES)
1124	03/set	2,5	SW/SE	Laguna (SC) e Santos (SP)
1125	03/set	2,5/3,0	SW/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
1145	05/set	2,5/3,0	SW/S	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
1146	05/set	2,5	S/SE	Cabo de São Tomé (RJ) e Caravelas (BA)
1236	22/set	2,5	SW/SE	Peruíbe (SP) e Macaé (RJ)
1349	14/out	2,5	SW/SE	Laguna (SC) e Santos (SP)
1350	14/out	2,5	SW/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
1377	19/out	2,5	SW/S	Maricá (RJ) e Arraial do Cabo (RJ)
1419	31/out	2,5	SE/E	Peruíbe (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
1467	13/nov	2,5/3,0	SW/SE	Balneário Rincão (SC) e Santos (SP)
1472	13/nov	2,5/3,0	SW/SE	Santos (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)

Continuação da TABELA 6

Nº	Emissão	Altura das ondas (m)	Direção	Localização (entre)
1521	22/nov	2,5	S/SE	Ilha Comprida (SP) e Cabo de São Tomé (RJ)
1526	24/nov	2,5	S/SE	Vitória (ES) e Regência (ES)
1527	24/nov	2,5	S/SE	Vitória (ES) e Regência (ES)
1554	30/nov	2,5	SW	Peruíbe (SP) e Arraial do Cabo (RJ)
1563	1/dez	2,5	SW/S	Rio de Janeiro (RJ) e Arraial do Cabo (RJ)
1627	17/dez	2,5	SE/E	Florianópolis (SC) e Ilhabela (SP)

Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

De acordo com Bonetti et al. (2013) apud Serafim et al. (2019), entre os anos de 1997 e 2010 foram registrados entre zero e 12 eventos de tempestade por ano, com uma média de quatro tempestades relacionadas a danos por ano, ocorrendo com maior frequência entre os meses de maio, junho e julho.

Na região de estudo predominam os ventos associados à Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que por sua vez podem sofrer a influência do ciclone extratropical, o que pode intensificar os ventos e persistir por alguns dias. ASAS é caracterizado por ser um anticiclone, um sistema raso, geralmente de superfície, de alta pressão e com intensidade relativa. Sua circulação se dá no sentido anti-horário (REBOITA et al., 2010).

Um sistema frontal clássico, geralmente composto por uma frente fria, frente quente e centro de baixa pressão na superfície, denominado ciclone (ANDRADE, 2005), favorece a ascensão do ar quente e convergência de ar próximo da superfície, gerando formação de nuvens. Desse modo, um sistema de baixa pressão costuma ter tempo instável e chuvoso. Os ciclones extratropicais são centros profundos de baixas pressões migratórias, resultantes de oclusões, que se deslocam de oeste para leste a uma velocidade de 30 Km/h a 50 Km/h, sendo mais rápidos no inverno (MONTEIRO; MENDONÇA, 2014).

Trata-se de um fenômeno meteorológico caracterizado por fortes tempestades e ventos, definidos também como sistemas de baixa pressão atmosférica de escala sinótica. Sua ocorrência se dá em regiões de latitudes médias. A maior parte deles produz ventos fortes e chuvas moderadas a torrenciais, e dependendo da intensidade podem causar maré de tempestade, uma elevação do nível do mar associada ao sistema, responsável por provocar danos consideráveis. Os ciclones extratropicais mais severos geralmente apresentam ventos com intensidade que variam entre 89 e 117 Km/h. A partir dessa intensidade, independentemente do tipo de fenômeno

atmosférico, os ventos adquirem intensidade e poder de destruição semelhante aos de furacões (MARCELINO et al., 2014).

A ocorrência de vendavais no litoral além de estarem relacionadas com os sistemas frontais e convecções localizadas, também são originados de ciclones extratropicais. Esses fenômenos são comuns na costa catarinense, principalmente no período outono-primavera, com picos mais intensos e frequentes no inverno (MARCELINO et al. 2014). A ocorrência desses fenômenos provoca mudanças sazonais na morfologia da praia, onde se observa erosão no período outono-primavera, e acreção no verão. As mudanças sazonais na morfologia praial é tradicionalmente atribuída a uma variação no nível de energia das ondas incidentes com condições calmas no verão, resultando em praias amplas com bermas subaeriais pronunciadas e condições energéticas no inverno, causando praias estreitas com morfologia de barras próximas à costa devido a troca de sedimentos entre a praia e a zona de surfe (MASSELINK; PATTIARATCHI, 2001).

5. PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S)

5.1 Artigo científico

O primeiro artigo elaborado a partir deste trabalho foi submetido à Revista Gestão Costeira Integrada – https://www.aprh.pt/rgci/index_eng.html , conforme comprovante apresentado no Anexo B. Cópia do artigo é apresentada no Anexo C.

A equipe envolvida irá aguardar as considerações da banca avaliadora para elaborar outro artigo científico, o qual se pretende submeter à revista Drones – www.mdpi.com/journal/drones .

5.2 Proposta metodológica de monitoramento da orla com VANT

Uma cópia impressa e uma cópia digital da dissertação será disponibilizada sem custos à Prefeitura Municipal de Navegantes, podendo ser fornecidas cópias digitais a quaisquer outros municípios costeiros, fundações de meio ambiente, secretarias de segurança pública etc., que tiverem interesse de modo que possam utilizar essa ferramenta no monitoramento da orla marítima e aplicar o método para outros tipos de monitoramento.

O Procedimento operacional detalhado, passo a passo de todas as etapas envolvidas, desde o planejamento do voo, obtenção de autorização de voo, preparação do equipamento e processamento dos levantamentos, está descrito de forma que possibilite sua operacionalização. A proposta metodológica é apresentada no Anexo D.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que a região Norte (Praia do Gravatá) está bastante suscetível aos eventos meteorológicos extremos, com avançado estado de degradação da orla pela quase inexistência de restinga, sofrendo grande erosão costeira. A ausência de restinga nessa região se deve à intensa exploração imobiliária aliada à falta de planejamento urbano e à falta de conhecimento da importância desse ecossistema na proteção da orla contra os eventos meteorológicos extremos.

A região Sul (Pontal), local onde o projeto experimental de dunas embrionárias proporcionou condições para a fixação de sedimentos e desenvolvimento da restinga, teve um acréscimo considerável de área nos últimos anos, o que resulta na maior proteção da orla contra eventos meteorológicos extremos. O aumento dessa área veio acompanhado pelo grande desenvolvimento da vegetação de restinga. O local apresenta os três extratos bem definidos – restinga herbácea, restinga arbustiva e restinga arbórea. O grande volume de sedimentos fixado nessa região faz com que ela tenha maior poder de reação quando submetida a um evento meteorológico extremo, como as ressacas. O resultado disso é a orla e a infraestrutura urbana bastante protegidas.

Ambos os locais estudados estão sujeitos aos eventos meteorológicos extremos, tendo apresentado tanto acreção quanto erosão. Entretanto, os efeitos são mais visíveis e sentidos na região Norte em virtude de possuir um volume muito menor de sedimento quando comparado com o volume fixado na região Sul.

A utilização do VANT no monitoramento da dinâmica sedimentar se mostrou rápido, eficiente e com reduzido custo operacional. As limitações de uso se dão pelas condições meteorológicas (ventos fortes, chuvas, tempo nublado) e pela legislação vigente. Cabe ressaltar que Navegantes possui um aeroporto, e os voos com VANT no cone de aproximação da pista são proibidos, exceto em ocasiões especiais ou mediante prévia autorização dos órgãos competentes. O nível de precisão do equipamento utilizado demonstra grande resolução, podendo apresentar números exatos que podem ser usados para a tomada de decisões no que diz respeito ao gerenciamento costeiro.

A metodologia utilizada demonstra ser promissora e permite ser utilizada pelas secretarias municipais, fundações de meio ambiente, ONGs e demais autarquias e entidades que necessitem monitorar a orla marítima e fornecer subsídios para

elaboração de projetos e tomada de decisões.

Foram emitidos oitocentos e setenta e três (873) avisos de mau tempo para a área estudada no período compreendido entre os anos de 2004 e 2019, uma média de 54,56 avisos por ano. As emissões ocorrem ao longo de todos os meses do ano, sendo que a maior frequência de avisos ocorre entre o meio do outono, o inverno e o meio da primavera, havendo uma tendência de estabilidade a partir da segunda metade da primavera, o verão e a primeira metade do outono.

Nem todos os avisos emitidos resultam em ressaca. Da mesma forma, a ocorrência de algumas ressacas na costa não é precedida de avisos emitidos pela Marinha do Brasil.

Durante o período de estudos foram emitidos avisos de mau tempo, tendo sido registrada ressaca após o aviso de nº 705/2019. Em alguns casos o efeito da ressaca é observado alguns dias após a emissão do aviso ou alguns dias após a ocorrência da ressaca propriamente dita, como a erosão observada no último sobrevoo (T21), onde se observou a maior erosão na região Norte, com uma perda de pouco mais de meio metro no perfil praial.

Como forma de melhorar o trabalho aqui apresentado, ficam algumas sugestões. A primeira delas diz respeito ao planejamento dos voos. Caso a equipe envolvida tivesse acesso aos dados relativos aos avisos de mau tempo emitidos pela Marinha do Brasil, teria feito uma melhor programação dos voos para abranger todo o período de maior incidência das ressacas. Além dos voos previamente planejados, voos realizados após a emissão dos avisos de ressaca.

Outra sugestão diz respeito aos pontos de controle. Nesse trabalho foram adotados pontos de controle representados por estruturas naturais ou artificiais que por vezes se tornavam pouco visíveis nas imagens obtidas com os drones. A sugestão é a instalação de pontos de controle de um metro quadrado (1 m^2) subdividido em quatro (4) quadrados de $0,25 \text{ m}^2$ de coloração preta e branca. Esses pontos podem ser instalados em pontos específicos da área estudada. Quanto mais pontos de controle, maior a precisão na obtenção dos resultados.

A terceira sugestão é a obtenção das coordenadas geográficas e da altimetria dos pontos de controle com o uso de GPS em cada levantamento de modo a ter uma melhor amarração altimétrica. Isso não foi possível neste trabalho em virtude da indisponibilidade desse equipamento. No entanto, em caso de um órgão municipal optar pelo monitoramento da orla através do procedimento operacional aqui proposto,

pode não só adquirir os equipamentos (VANT, GPS), como pode promover a instalação dos pontos de controle sugeridos.

A quarta e última sugestão é a inclusão dos dados relativos à maré quando forem realizados os levantamentos. No trabalho aqui apresentado foi mapeada a faixa vegetada até a faixa de areia molhada, e foi dividido o volume adquirido pela área do levantamento para se estimar a altura dos sedimentos.

Por fim, o método demonstrou ser aplicável e preciso, podendo ser melhorado através da adoção das sugestões feitas.

REFERÊNCIAS

- AKAR, Ö. Mapping land use with using Rotation Forest Algorithm from UAV images. **European Journal of Remote Sensing**. v. 50, p. 269-279, 2017.
- ALDANA-JAGUE, E.; HECKRATH, G.; MACDONALD, A.; van WESEMAEL, B.; van OOST, K. UAS-based soil carbon mapping using VIS-NIR (480-1000 nm) multi-spectral imaging: Potencial and limitations. **Geoderma**. v. 275, p. 55-66, 2016.
- ALMEIDA F. F. M. **Origem e Evolução da Plataforma Brasileira**. Rio de Janeiro, DNPM-DGM, 1976. Boletim 241. 36p.
- ALVES, D. M.; MARTINS, K. M. **Ressaca causa grandes prejuízos aos litorais do Paraná e Santa Catarina**. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/ressaca-causa-grandes-prejuizos-aos-litorais-do-parana-e-de-santa-catarina-cubh2qd2zdn7lusy63gjsxwuxe/>. Acessado em: 14/1/2020.
- ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005. 185 p. Dissertação de Mestrado.
- ARAÚJO R. S. et al. Variação da morfologia praial e identificação de zonas de erosão acentuada (ZEA) na enseada do Itapocorói – SC. **Brazilian Journal Aquatic Science Technology** [S.l.], v. 14 (1), p. 29-38. 2010.
- ARAUJO, R. S.; KLEIN, A. H. F; PETERMANN, R. M. **Determinação do Índice de Sensibilidade do Litoral ao Derramamento de Óleo (Isl) para as Regiões Norte e Centro-Norte do Estado de Santa Catarina (SC)**. 2005. 190 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar Itajaí, SC., 2005.
- ARROYO-MORA, J. P.; KALACSKA, M.; INAMDAR, D.; SOFFER, R.; LUCANUS, O.; GORMAN, J.; NAPRSTEK, T.; SCHAAF, E. S.; IFIMOV, G.; ELMER, K.; LEBLANC, G. Implementation of a UAV-Hyperspectral Pushbroom Imager for Ecological Monitoring. **Drones**: v. 3, n. 12, 24 p., 2019.
- AUMOND, J. J. Geologia e Paleoambiente. In: AUMOND, J. J.; SEVEGNANI, L.; FRANK, B. (organizadores); PINHEIRO, Adilson ... [et al.] (autores colaboradores). – **Atlas da Bacia do Itajaí: formação, recursos naturais e ecossistemas**. Blumenau: Edifurb, 2018. P. 21-47.
- BAENA, S.; MOAT, J.; WHALEY, O.; BOYD, D. S. Identifying species from the air: UAVs and the very high resolution challenge for plant Conservation. **Plos One**: v. 12, n. 11, 21 p., 2017.
- BONETTI, J.; RUDORFF, F. M.; CAMPOS, A. V.; SERAFIM, M. B. Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) Sandy beaches susceptibility to erosion. **Ocean & Coastal Management**: n. 156, p. 198-208. 2018.

BRUNIER, G.; FLEURY, J. ANTHONY, E. J.; GARDEL, A.; DUSSOUILLEZ, P. Close-range airborne Structure-from-Motion Photogrammetry for high-resolution beach morphometric surveys: Examples from na embayed rotating beach. **Geomorphology**. v. 261, p. 76-88. 2016.

BRYSON, Mitch; REID, Alistair; RAMOS, Fábio; SUKKARIEH, Salah. Airbone vision-based mapping and classification of large farmland environments. **Journal of Field Robotics**. v. 27, p. 632-655. 2010.

CAI, G.; DIAS, J.; SENEVIRATNE, L. A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends. **Unmanned Systems**: v. 2, n. 2, p.175-199, 2014.

CARRASCOSA, F. J. M.; SÁNCHEZ, J. T.; RUMBAO, I. C.; FERRER, A. G.; PEÑA, J. M.; SERRANO, I. B.; GRANADOS, F. L. Assessing Optimal Flight Parameters for Generating Accurate Multispectral Orthomosaicks by UAV to Support Site-Specific Crop Management. **Remote Sensing**: n. 7, p. 12793-12814. 2015.

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

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999. Aprova parâmetros básicos para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. DOU nº 146, de 2 de agosto de 1999. Seção 1, páginas 29-31.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. DOU nº 053, de 18 de março de 2005. Páginas 58-63.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 410, de 5 de maio de 2009. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. DOU nº 83, de 5 de maio de 2009. Página 106.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. DOU nº 92, de 16 de maio de 2011. Página 89.

CTTMar 1999. **Projeto de Recuperação da Praia de Gravatá, Município de Navegantes (SC)**. Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar, 75 p.

D'OLEIRE-OLTMANN, Sebastian; MARZOLFF, Irene; PETER, Klaus Daniel; RIES, Johannes B. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. **Remote Sensing**. v. 4, p. 3390-3416, 2012.

DEL VECCHIO, S.; JUCKER, T.; CARBONI, M.; ACOSTA, A. T. R. 2017. Linking plant communities on land and at sea: the effects of *Posidonia oceanica* wrack on the structure of dune vegetation. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** **184**: 30–36. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.041>. Acessado em 6/2/2019.

DÍAZ-DELGADO, R.; ÓNODI, G.; KRÖEL-DULAY, G.; KERTÉSZ, M. Enhancement of Ecological Field Experimental Research by Means of UAV Multispectral Sensing. **Drones**: v. 3, n. 7, 15 p., 2019.

DOMINGUEZ, J. M. L.; GUIMARÃES, J. K.; BITTENCOURT, A. C. da S. P. **Alagoas, Sergipe e Bahia**. p. 381-432. In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Panorama da erosão costeira no Brasil [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização Dieter Muehe. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

EAMER, J. B. R.; WALKER, I. J. 2010. Quantifying sand storage capacity of large woody debris on beaches using LiDAR. **Geomorphology** **118**: 33–47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.12.006>. Acessado em 6/2/2019.

FRANKENBERGER, J. R.; HUANG, C.; NOUWAKPO, K. Low-altitude digital photogrammetry technique to assess ephemeral gully erosion. In: Proceeding of the IEEE Internacional Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2008), Boston, MA, USA, 7-11 July 2008; p.117-120.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de janeiro de 2016. 39 p. il. 2016a.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de fevereiro de 2016. 32 p. il. 2016b.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de março de 2016. 49 p. il. 2016c.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de abril de 2016. 47 p. il. 2016d.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de maio de 2016. 37 p. il. 2016e.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de junho de 2016. 45 p. il. 2016f.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de julho de 2016. 44 p. il. 2016g.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de agosto de 2016. 44 p. il. 2016h.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de setembro de 2016. 40 p. il. 2016i.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de outubro de 2016. 40 p. il. 2016j.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de novembro de 2016. 39 p. il. 2016k.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de dezembro de 2016. 38 p. il. 2017a.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de janeiro de 2017. 36 p. il. 2017b.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de fevereiro de 2017. 41 p. il. 2017c.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de março de 2017. 40 p. il. 2017d.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de abril de 2017. 36 p. il. 2017e.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de maio de 2017. 34 p. il. 2017f.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de junho de 2017. 38 p. il. 2017g.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de julho de 2017. 36 p. il. 2017h.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de agosto de 2017. 37 p. il. 2017i.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de setembro de 2017. 36 p. il. 2017j.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de outubro de 2017. 36 p. il. 2017k.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de novembro de 2017. 35 p. il. 2017l.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de dezembro de 2017. 35 p. il. 2018a.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de janeiro de 2018. 35 p. il. 2018b.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de fevereiro de 2018. 36 p. il. 2018c.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de março de 2018. 38 p. il. 2018d.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de abril de 2018. 36 p. il. 2018e.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório das atividades do mês de maio de 2018. 35 p. il. 2018f.

GAYA, João Paulo. Nossa Praia. Projeto de recuperação e proteção da orla de Navegantes. Relatório Final. 47 p. il. 2018g.

GEIPEL, J.; LINK, J.; CLAUPEIN, W. Combined Spectral and Spatial Modeling of Corn Yield Based on Aerial Images and Crop Surface Models Acquired with an Unmanned Aircraft System. **Remote Sensing**: n. 11, p. 10335-10355. 2014.

GETZIN, S.; NUSKE, R. S.; WIEGAND, K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests. **Remote Sensing**: n. 6, p. 6988-7004. 2014.

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. 1ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259-275.

GUERRA-HERNÁNDEZ, J.; GONZÁLEZ-FERREIRO, E.; SARMENTO, A.; SILVA, J. NUNES, A.; CORREIA, A. C.; FONTES, L.; TOMÉ, M.; DÍAZ-VARELA, R. Using high resolution UAV imagery to estimate tree variables in *Pinus pinea* plantation in Portugal. **Forest Systems**: v. 25, n. 2, 5 p., 2016.

GUJAR, A. R.; GANESAN, P.; IYER, S. D. GAONKAR, S. S.; AMBRE, N. V.; LOVESON, V. J. MISLANKAR, P. G. Influence of morphodynamic variability over seasonal beach sediments and its probable effect on coastal development. **Ocean & Coastal Management**: n. 54, p. 514-523. 2011.

HARDIN, P. J.; HARDIN, T. J. Small-scale remotely piloted vehicles in environmental research. **Geography Compass**: n. 4, p. 1297-1311. 2010.

HONKAVAARA, E.; SAARI, H.; HAIVOSOJA, J.; PÖLÖNEN, I.; HAKALA, T.; LITKEY, P.; Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture. **Remote Sensing**: vol. 5, n. 10, 34 p. 2013.

HORN FILHO, Norberto Olmiro. Ilha de Santa Catarina. In: Muehe D. (ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. P. 413-436.

HORN FILHO, N. O.; SCHMIDT, A. D.; ABREU, J. G. N.; ESTEVAM, C. N.; ARAUJO, R. S. Santa Catarina. In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Panorama da erosão costeira no Brasil [recurso eletrônico]** / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental e Territorial; Organização Dieter Muehe. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/navegantes/panorama> . Acessado em: 18/5/2021.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. In: **Relatório do Grupo de Trabalho II**. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 2014. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_en.pdf. Acesso em: 07/1/2020.

KARPINA, M.; JARZABEK-RYCHARD, P.; TYMKÓW, P.; BORKOWSKI, A. UAV-Based Automatic Tree Growth Measurement for Biomass Estimation. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XLI-B8, 2016. XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. p. 685-688. 2016.

KLEIN, A. H. F. **Morphodynamics of headland bay beaches**. Algarve: Universidade do Algarve, 2004. 450p. PhD Thesis.

KLEIN, A. H. F. et al. Litoral Centro-norte de Santa Catarina. In: Dieter Muehe. (ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. p. 402-412.

KOUTALAKIS, P.; TZORAKI, O.; ZAIMES, G. UAVs for Hydrologic Scopes: Application of a Low-Cost UAV to Estimate Surface Water Velocity by Using Three Different Image-Based Methods. **Drones**: v. 3, n. 14, 15 p., 2019.

LARRINAGA, A. R.; BROTONS, L. Greenness Indices from a Low-Cost UAV Imagery as Tools for Monitoring Post-Fire Forest Recovery. **Drones**: v. 3, n. 6, 16 p., 2019.

LINS-DE-BARROS, F.; ZEIDAN, F.; LIMA, R. F. Adaptação e percepção da população a eventos de ressaca no mar no litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**: v. 16, n. 2, 15 p. 2016.

LÓPEZ, J. J.; MULERO-PÁZMÁNY, M. Drones for Conservation in Protected Areas: Present and Future. **Drones**: v. 3, n. 10, 23 p., 2019.

MACHADO B. V. **Mapeamento e análise de obras de engenharia costeira no litoral do estado de Santa Catarina**. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2010. 251p. Monografia. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar.

MANFREDI, S.; MCCABE, M. F.; MILLER, P. E.; LUCAS, R.; MADRIGAL, V. P.; MALLINIS, G.; DOR, E. B.; HELMAN, D.; ESTES, L.; CIRAOLO, G.; MÜLLEROVÁ, J.; TAURO, F.; LIMA, M. I. de; LIMA, J. L. M. P. de; MALTESE, A.; FRANCES, F.; CAYLOR, K.; KOHV, M.; PERKS, M.; RUIZ-PÉREZ, G.; SU, Z.; VICO, G.; TOTH, B. On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. **Remote Sensing**: v. 10, n. 641, 28 p. 2018.

MARCELINO, I. P. V. O; MARCELINO, E. V.; OLIVEIRA, C. A. F.; ALVES, D. B. Vendaval. In: HERRMANN, M. L. P. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010**. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 5-12.

MARCELINO, I. P. V. O; MOLLERI, G. S. F.; GOERL, R. F.; MARCELINO, E. V.; MORENO, D. A.; RUDORFF, F. M.; OLIVEIRA, C. A. F.; ALVES, D. B.; HERRMANN, M. L. P.; DEBORTOLI, N. S.; MURARA, P. G. Adversidades atmosféricas no Estado de Santa Catarina no período de 1980 a 2010. In: HERRMANN, M. L. P. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010**. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 13-82.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha. Divisão de Previsões Meteorológicas. Avisos de mau tempo para a área “Charlie” entre os anos de 2004 e 2019. 2020.

MASSELINK, G.; PATTIARATCHI, C. B. Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. **Marine Geology**: n. 172. P. 243-263. 2001.

MATA, V. P. **Ocorrência natural e aspectos de interesse agrônomo de *Dalbergia ecastaphyllum* (L.) Taubert (Fabaceae) no estado da Bahia**: base para a produção de própolis vermelha. 2014. 64 f. : il. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2014.

MATESE, A.; TOSCANO, P.; DI GENNARO, S. F.; GENESIO, L.; VACCARI, F. P.; PRIMICERIO, J.; BELL, C.; ZALDEI, A.; BIANCONI, R.; GIOLI, B. Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture. **Remote Sensing**: n. 7, p. 2971-2990. 2015.

McLAUGHLIN, S.; McKENNA, J.; COOPER, J. A. G. Socioeconomic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. **Journal of Coastal Resources**: n. 36, p. 487-497. 2002.

MEDEIROS, E. C. S.; MAIA, L. P.; ARAÚJO, R. C. P. Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia de Icarai). Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**: v. 16, n. 2, 9 p. 2016.

MENEZES, J. T. **Alimentação artificial do segmento praial Navegantes/Gravatá. SC.** 2002. 114 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

MENEZES, J. T.; KLEIN, A. H. F. 1997. Variações Morfológicas das Praias do Litoral Centro Norte do Estado de Santa Catarina. In: X Semana Nacional de Oceanografia, 1997, Itajaí. **Anais da X Semana Nacional de Oceanografia**, Itajaí (SC), 1997. 58-60p.

MENEZES, J. T. e KLEIN, A. H. F. 2002. **Método de Análise da Vulnerabilidade Costeira à Erosão.** II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Pg. 1-4.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada.** Brasília: MMA/SQA; Brasília: MP/SPU, 2006. 74p. ISBN 85-7738-029-7. 2006.

MONTEIRO, M. A.; MENDONÇA, M. Dinâmica Atmosférica no Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. P. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010.** 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 5-12.

MONTREUIL, A.; BULLARD, J.; CHANDLER, J. H.; MILLETT, J. Decadal and seasonal development of embryo dunes on an accreting macrotidal beach: North Lincolnshire, UK. **Earth Surface Processes and Landforms**: n. 38, p. 1851-1868, 2013.

MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S.; CAVALCANTE, A. A. PAULA, D. P.; SILVA, R. L. Erosão costeira em praias adjacentes às desembocaduras fluviais: o caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**: v. 8, n. 2, 16 p. 2008.

NÄSI, R.; HONKAVAARA, E.; LYYTIKÄINEM-SAARENMAA, P.; BLOMQVIST, M.; LITKEY, P.; HAKALA, T.; VILJANEN, N.; KANTOLA, T.; TANHUANPÄÄ, T.; HOLOPAINEN, M. Using UAV-based photogrammetry and hyperspectral imaging for mapping bark beetle damage at tree-level. **Remote Sensing**: v. 7, n. 11, p. 15467-15493, 2015.

NAVEGANTES. Decreto nº 259 de 7 de maio de 2001. Declara em estado de calamidade pública áreas que especifica no Município de Navegantes e dá outras providências. Data de inserção no Sistema Leis Municipais: 30/8/2006. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/sc/n/navegantes/decreto/2001/26/259/decreto-n-259-2001-declara-em-estado-de-calamidade-publica-areas-que-especifica-no-municipio-de-navegantes-e-da-outras-providencias?q=decreto+259%2F2001> Acessado em 5/3/2021.

NAVEGANTES. Decreto nº 181 de 31 de outubro de 2016. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestade

(ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2114, de 1/11/2016. Página 322.

NAVEGANTES. Decreto nº 435 de 8 de setembro de 2017. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestades (ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2336, de 11/09/2017. Página 915.

NAVEGANTES. Determinação – FUMAN inicia retirada de quiosques das dunas. Notícia publicada no site da Prefeitura em 19/6/2021. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/6803/determinacao-fuman-inicia-retirada-de-quiocques-das-dunas> Acessado em 26/1/2021.

NAVEGANTES. Divulgação. Em 3 dias, ressaca causou estragos em 15 cidades de SC, diz Defesa Civil. Segundo o órgão, 84 pessoas ficaram desalojadas desde sábado. Município de Navegantes informou que deve decretar emergência. Disponível em: <http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2016/10/em-3-dias-ressaca-causou-estragos-em-15-cidades-de-sc-diz-defesa-civil.html>. Acessado em: 14/1/2020.

NAVEGANTES. Projeto de recuperação da praia de Navegantes já é desenvolvido desde 2010. Notícia publicada no site da Prefeitura em 30/10/2017. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/11310/projeto-de-recuperacao-da-praia-de-navegantes-ja-e-desenvolvido-desde-2010> Acessado em 26/1/2021.

NIETHAMMER, U.; JAMES, M. R.; ROTHMUND, S.; TRAVELLETTI, J.; JOSWIG, M. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. **Engineering Geology**. v.128, p. 2-11, 2012.

OLIVEIRA U. R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 222 p. PhD Thesis.

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 440 p. : il.

PÁDUA, L.; VANKO, J.; HRUŠKA, J.; ADÃO, T.; SOUSA, J. J.; PERES, E.; MORAIS, R. UAS, sensors, and data processing in agroforestry: a review towards practical applications. **International Journal of Remote Sensing**: v. 38, p. 2349–2391, 2017.

PAJARES, G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**: vol. 81, n. 4, p. 281-330, 2015.

PORTO DE ITAJAÍ. **Histórico**. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br/novo/c/historia>. Acessado em: 20/6/2020.

PULITI, S.; ØRKA, H. O.; GOBAKKEN, T.; NAESSET, E. Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System. **Remote Sensing**: n. 7, p. 9632-9654.

2015.

PULITI, S.; TALBOT, B.; ASTRUP, R. Tree-stump detection, segmentation, classification, and measurement using unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. **Forests**: v. 9, n. 102, 14 p. 2018.

QUIQUEREZ, A.; CHEVIGNY, E.; ALLEMAND, P.; CURMI, P.; PETIT, C.; GRANDJEAN, P. Assessing the impact of soil surface characteristics on vineyard erosion from very high spatial resolution aerial images (Côte de Baune, Burgundy, France). **Catena**. v.116, p. 163-172, 2014.

RANGEL-BUITRAGO, N.; NEAL, W. J.; JONGE, V. N. Risk assessment as a tool for coastal erosion management. **Ocean & Coastal Management**: n. 186, 15 p. 2020.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**: v. 25, n. 2, p. 185-204. 2010.

SALAMÍ, E.; BARRADO, C.; PASTOR, E. UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas. **Remote Sensing**: v. 6, n. 11, p. 11051-11081, 2014.

SANTA CATARINA. Portaria Estadual nº 024 de 19/9/1979. Enquadra os cursos d'água do Estado de Santa Catarina, a seguir especificados, na classificação estabelecida pela Portaria GM nº 013, de 15/1/1976 do Ministério do Interior. DOE nº 11.319, de 14 de setembro de 1979.

SCARELLI, F. M.; SISTILLI, F. FABBRI, S.; CANTELLI, L. BARBOZA, E. G.; GABBIANELLI, G. Seasonal dune and beach monitoring using photogrammetry from UAV surveys to apply in the ICZM on the Ravenna coast (Emilia-Romagna, Italy). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. v. 7, p. 27-39, 2017.

SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, J. L. B.; JABOR, P. 1996. Comparative hydrology and suspended matter distribution of four estuaries in Santa Catarina State – Southern Brazil. In: Anais, **Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries**. Bahia Blanca, 1996.

SCHLERF, M.; ATZBERGER, C.; HILL, J. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**: vol. 95, n. 2, p. 177-194. 2005.

SCHMIDT A. D.; HORN FILHO N. O.; ESTEVAM C. N. Estratégias adotadas para conter a erosão costeira no litoral de Santa Catarina, Brasil. In: CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 7., Maputo, **Short Papers**, 2013. p. 1-12.

SCHOFIELD, G.; KATSELIDIS, K. A.; LILLEY, M. K. S.; REINA, R. D.; HAYS, G. C. Detecting elusive aspects of wildlife ecology using drones: new insights on the mating dynamics and operational sex ratios of sea turtles. **Functional Ecology**: v.

38, p. 42–49, 2017.

SERAFIM, M. B.; SIEGLE, E.; CORSI, A. C. BONETTI, J. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 230, p. 21-32. 2019.

SERRAGLIO, J. Entre Balneários e Pontais: a invenção da paisagem em Navegantes. In: ANDRADE, F. C. D.; CARVALHO, M. C. W.; MIRANDA, N. **Rumo a Navegantes**. São Paulo: M. Carrilho Arquitetos, 2014. 192 p. : il. Color. – (Paisagens Culturais Brasileiras).

SHERMAN, D. J.; BAUER, B. O. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*, 17, 4 (1993) p. 413-447.

SHORT A. D. **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. England: Wiley, 1999. 379 p.

SIEBERTH, Till; WACKROW, Rene; CHANDLER, Jim H. Automatic detection of blurred images in UAV image sets. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 122, p. 1-16, 2016.

SILVA, A. J. P. da *et al.* **Bacias sedimentares Paleozoicas e mesocenoicas interiores**. In: BIZZI, L. A. *et al.* (Eds.) *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Brasília. CPRM, 2003, p. 55-85.

STONE, H.; D'AYALA, D.; WILKINSON, S. The use of emerging technology in post-disaster reconnaissance missions; EEFIT Report; Institution of Structural Engineers: London, UK, 2017; 25 p.

SUOMALAINEN, J.; ANDERS, N.; IQBAL, S.; ROERINK, G.; FRANKE, J.; WENTING, P.; HÜMMIGER, D.; BARTHOLOMEUS, H.; BECKER, R.; KOOISTRA, L. A Lightweight Hyperspectral Mapping System and Photogrammetric Processing Chain for Unmanned Aerial Vehicles. **Remote Sensing**: n. 6, p. 11013-11030. 2014.

TAURO, F.; PORFIRI, M.; GRIMALDI, S. Surface flow measurements from drones. *Journal of Hydrology*: vol. 540, p.240-245, 2016.

THIEL, C.; SCHMULLIUS, C. Comparison of UAV photograph-based and airborne lidar-based point clouds over forest from a forestry application perspective. *International Journal of Remote Sensing*: v. 38, p. 2411–2426, 2017.

TORRES-SÁNCHEZ, J.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; SERRANO, N.; ARQUERO, O.; PEÑA, J. M. High-throughput 3-D monitoring agricultural-tree plantations with unmanned aerial vehicle (UAV) technology. *Plos One*: v. 10, n. 1, 11 p., 2015.

VAN PUIJENBROEK, M. E. B.; LIMPENS, J.; GROOT, RIKSEN, M. J. P. M.; GLEICHMAN, M.; SLIM, P. A.; VAN DOBBEN, H. F.; BERENDSE, F. Embryo dune development drivers: beach morphology, growing season Precipitation, and storms. **Earth Surface Processes and Landforms**: n. 42, p. 1733-1744. 2017.

VIBRANS, A. C.; PELLERIN, J.; REFOSCO, J. C. A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí em Santa Catarina. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21, abril 2005, INPE, p. 1691-1698.

VILLA, T.; GONZALEZ, F.; MILJIEVIC, B.; RISTOVSKI, Z.; MORAWSKA, L. An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future perspectives. *Sensors*: v. 16 (7), n. 1072, 29 p., 2016.

WALLACE, L.; LUCIEER, A.; WATSON, C.; TURNER, D. Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. *Remote Sensing*: v. 4, n. 6, p. 1519–1543, 2012.

WALLACE, L. LUCIEER, A.; MALENOBSKÝ, Z.; TURNER, C.; VOPĚNKA, P. Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structures from motion (SfM) point clouds. *Forests*: v. 7, n. 62, 16 p. 2016.

WANG, D.; XIN, X.; SSHAO, Q.; BROLLY, M.; ZHU, Z.; CHEN, J. Modeling aboveground biomass in Hulunber grassland ecosystem by using unmanned aerial vehicle discrete lidar. *Sensors*: v. 17 (1), n. 180, 19 p., 2017.

WARFIELD, A. D.; LEON, J. X. Estimating Mangrove Forest Volume Using Terrestrial Laser Scanning and UAV-Derived Structure-from-Motion. **Drones**: v. 3, n. 32, 18 p., 2019.

WATSON, C. S. KARGEL, J. S.; TIRUWA, B. UAV-Derived Himalayan Topography: Hazard Assessments and Comparison with Global DEM Products. **Drones**: v. 3, n. 18, 19 p., 2019.

YOO, C. I.; OH, T. S. Beach volume change using UAV Photogrammetry Songjung Beach, Korea. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: Vol. XLI-B8, 2016. XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. p. 1201-1205.

ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*: vol. 13, n. 6, p. 693-712, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5> . Acessado em 29/10/2019.

ANEXO A – Cadastro da aeronave não tripulada utilizada nos levantamentos de campo

	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 INSCRIPTION CERTIFICATE – NON-RECREATIONAL

Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até 26/04/2021, salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira. <i>This Inscription Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid 04/26/2021, unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i> Operador (Operator) JOÃO PAULO GAYA GAYA CONSULTORIA AGRONÔMICA E AMBIENTAL CNPJ (document): 11.179.766/0001-00	Nº do cadastro (Inscription Number): PP-984220176 Uso (Purpose): não recreativo (non-recreational) Ramo de atividade (Business): Aerolevanteamento - Aerofotogrametria Fabricante (Maker): DJI Modelo (Model): Phantom 4 Pro Nº de série (Serial Number): OAXCF3D0B30319 Peso máximo de decolagem (MTOW): 1,38 kg Foto (Picture): 
O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências administrativas, civis e/ou criminais para o infrator.	Informações adicionais (additional information): AERONAVE PARA FINS DE LEVANTAMENTOS TÉCNICOS E AEROFOTOS
O detentor desta certidão de cadastro (o operador), ou aquele com quem for compartilhada sua aeronave, 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. <i>The holder of this inscription certificate (the operator), or the person with whom this aircraft is shared, 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>	
A validade desta certidão pode ser verificada pelo link https://sistemas.anac.gov.br/SISANT/Aeronave/ConsultarAeronave	
Local e data da emissão (Place and date of issue) Brasília, 26 de abril de 2019 Brasília, April 26th, 2019	
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 inscription 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>	

ANEXO B – PRODUTO (ARTIGO): COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO PARA PUBLICAÇÃO.

Gaya Consultoria

De: Francisco Taveira Pinto <fpinto@fe.up.pt>
Enviado em: sexta-feira, 25 de junho de 2021 10:51
Para: João Paulo Gaya
Assunto: [JICZM] Submission Acknowledgement

João Paulo Gaya:

Thank you for submitting the manuscript, " Dinâmica da Orla da Praia de Navegantes, Santa Catarina, Brasil, através do Sensoriamento Remoto" to Journal of Integrated Coastal Zone Management. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL: <https://ojs.aprh.pt/index.php/rgci/authorDashboard/submission/456>

User name: jpgaya

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Francisco Taveira Pinto

A seguinte mensagem foi enviada em nome de Revista de Gestão Costeira Integrada.

The following message was sent on behalf of the Journal of Integrated Coastal Zone Management.

ANEXO C – PRODUTO: ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA GESTÃO COSTEIRA INTEGRADA.

DINÂMICA DA ORLA DA PRAIA DE NAVEGANTES, SANTA CATARINA, BRASIL, ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO

João Paulo Gaya¹, Thiago Pereira Alves², Luiz Carlos dos Santos Córdova Júnior³,
Marcos Leandro dos Santos⁴

Resumo: A dinâmica sedimentar da orla da praia de Navegantes, Santa Catarina, Brasil foi estudada através do sensoriamento remoto e do uso de imagens satelitais pretéritas nos dois extremos do arco praial, entre os anos de 2004 e 2018. Sobrevoos com VANT em campanhas amostrais oportunistas no ano de 2019 foram realizadas após eventos de ressaca para avaliar os efeitos dos eventos meteorológicos extremos na dinâmica sedimentar em curta escala temporal. Foram obtidos um total de 32 imagens, 16 de cada área. Com o uso das imagens foi possível constatar a redução da faixa de restinga da área Norte (Praia do Gravatá) a partir de 2016, enquanto na área Sul (Praia do Pontal) foi observado incremento a partir de 2012 após início do projeto de recuperação de dunas embrionárias. A praia do Gravatá segue enfrentando problemas graves de erosão em virtude da ocupação irregular da faixa de restinga, enquanto a praia do Pontal segue aumentando, sendo fixado um grande volume de sedimentos, o que proporciona condições para o maior desenvolvimento da vegetação nativa fixadora das dunas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, dinâmica da orla, restinga, erosão praial, VANT.

Abstract: The sedimentary dynamics of the edge of Navegantes Beach, in Santa Catarina state, Brazil, was studied through remote sensing and using satellite images recorded in the past years, between 2004 and 2018, of both ends of the beach arch. UAV overflights in opportunistic sampling campaigns in 2019 were carried out after

¹ Mestrado Profissional em Clima e Ambiente. Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. CEP – 88020-300. E-mail: gaya@qayaipconsultoria.com.br

² Professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, Laboratório de Algas Nocivas e Fitotóxicas – Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, Campos Itajaí, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88307-303. E-mail: thiago.alves@ifsc.edu.br

³ L2 Engenharia e Topografia, Navegantes, Santa Catarina, Brasil. CEP - 88370-096. E-mail: cordova@L2topografia.com.br

⁴ Instituto Ambiental de Navegantes – IAN, Navegantes, Santa Catarina, Brasil. CEP – 88370-513. E-mail: marcosleandros@hotmail.com

storm surges events to assess the effects of extreme weather events on sedimentary dynamics in a short time scale. A total of 32 images were obtained, 16 from each area. By the images, it was possible to see a reduction in the restinga strip in the North area (Gravatá Beach) from 2016 onwards, while in the South area (Pontal Beach) an increase was observed since 2012 after the implementation of the project of embryonic dunes for the recovery of the sandbanks. Gravatá Beach continues to face serious erosion problems due to the irregular occupation of the sandbanks, while Pontal Beach sandbanks continue to increase, with a large volume of sediment deposited, which provides conditions for a greater development of the native vegetation that fixates the dunes.

Key-words: remote sensing, edge dynamics, restinga, beach erosion, UAV.

1. INTRODUÇÃO

As variações da morfologia costeira dependem das condições ambientais locais, do tipo de sedimento, da climatologia de ondas, da classificação morfológica das praias, da configuração costeira (Gujar et al., 2011) e utilização/exploração antrópica (Bonetti et al., 2018). Em muitos casos o uso e ocupação destas áreas não são utilizadas de forma integrada às características intrínsecas da praia, prevalecendo um estado de equilíbrio dinâmico nas quais a linha de costa ajusta continuamente sua morfologia e distribuição de sedimentos às novas condições impostas (Bonetti et al., 2018).

Os agentes oceanográficos que incidem na zona costeira moldam a linha de costa e são responsáveis por uma significativa parcela das forças que contribuem para formar as paisagens litorâneas. O entendimento destes processos permite compreender como os fenômenos de retrogradação e progradação marinha afetam a linha de costa atual (Horn Filho et al., 2018).

Apesar de ser um processo natural (Rangel-Buitrago et al., 2020) da dinâmica praial, em todo o mundo os processos erosivos de algumas praias, e sua intensificação, estão intimamente relacionadas com ações antrópicas, em diferentes níveis, afetando as características naturais associadas a dinâmica sedimentar costeira (Horn Filho et al., 2018; Rangel-Buitrago et al., 2020).

O litoral do Estado de Santa Catarina (SC) é composto por 27 municípios com frente oceânica que por vezes apresentam graves problemas associados à erosão costeira, induzida por deficiências do abastecimento sedimentar cujas consequências são intensificadas ao longo dos anos (MMA, 2006; Oliveira, 2009; Araújo et al., 2010; Machado, 2010; Schmidt et al., 2013). As praias arenosas são ambientes dinâmicos que apresentam constantes alterações morfológicas sazonais (Short, 1999; Klein, 2004; Gujar et al., 2011) e ocasionalmente, eventos meteorológicos e oceanográficos de alta energia podem intensificar os efeitos causados na orla, chegando em muitos casos, a situações catastróficas nos adensamentos urbanos implantados próximos ao ambiente praial (Horn Filho et al., 2018).

A região de Navegantes (SC) encontra-se situada em latitude subtropical, uma zona de transição entre as Massas de Ar Tropicais e Polares, criando linhas de instabilidades originadas na "Baixa do Chaco" (Paraguai), região onde formam-se os centros de baixa pressão atmosférica que dão origem aos sistemas frontais que atuam na região Sul do Brasil. De acordo com Bonetti et al. (2018), a região está sob influência de ciclones extratropicais e outros sistemas de tempestades que frequentemente atingem o sul do Brasil.

Como consequência da passagem desses sistemas meteorológicos de maior energia, ocorrem significativos incrementos da agitação marítima que são populamente denominados de ressacas e que podem provocar um recuo momentâneo da linha de costa, em decorrência de trocas transversais de sedimentos (Sherman & Bauer, 1993; Gujar et al., 2011). De acordo com Dominguez et al. (2018), essa perda momentânea não é irreversível, e o perfil praial tende a se recuperar com o retorno da estabilidade e normalização das condições climáticas. Esses processos imprimem uma variabilidade natural ao ambiente praial, que pode ser percebido mesmo em curtos intervalos de tempo. Conforme Serafim et al. (2019), eventos extremos com ondas de alta energia podem resultar em alterações ambientais expressivas em uma curta escala de tempo, sendo a gravidade dos impactos diretamente dependente do nível de exposição e vulnerabilidade.

Devido à sua localização geográfica e características geomorfológicas, a praia de Navegantes recebe diretamente ondulações de Sul à Nordeste (Menezes & Klein, 1997). A remoção quase que completa da faixa de restinga na porção Norte da orla (Praia do Gravatá), especialmente sobre o sistema de dunas, pode estar relacionado

com a erosão praial nesta porção da orla. Na porção Sul da praia (distante 6,5 Km da Praia do Gravatá), o projeto experimental de recuperação natural do sistema de dunas (ano de 2009) através da técnica de disposição de materiais biodegradáveis de origem vegetal que aportam na praia pela ação das marés, criou obstáculos artificiais para a retenção de sedimentos e expansão da vegetação.

Considerando os processos históricos de uso e ocupação da orla da praia, bem como das intervenções e obras de engenharia costeira para mitigação dos impactos negativos associados ao processo de ocupação, propomos realizar um estudo cronológico do uso e ocupação da orla e avaliar a viabilidade de utilizar um veículo aéreo não tripulado (VANT) para acompanhar a dinâmica sedimentar nos dois extremos da Praia de Navegantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O Município de Navegantes possui uma população estimada de 83.626 habitantes, distribuídos em uma extensão territorial de 111,65 Km² (IBGE, 2021) e está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu (Figura 1). O sistema de drenagem da vertente do Atlântico compreende uma área de aproximadamente 35.298 Km² (37% da área total do Estado), distribuídos em 46 Municípios, onde se destaca a Bacia do rio Itajaí com aproximadamente 15.500 Km².

A Praia de Navegantes é uma praia arenosa exposta à ação de ondas com a presença de sedimento fino, bem selecionado e declividade média de aproximadamente 2°. Possui uma zona de surf de aproximadamente 70 metros e ondas tipo deslizante com altura média variando de 0,5 a 1 m (Araújo et al., 2005). As duas áreas estudadas neste trabalho estão nos extremos da orla deste arco praial, sendo a porção Norte denominada Praia do Gravatá, e a extremidade Sul, denominada Praia do Pontal ou simplesmente Pontal (Figura 2).

De acordo com Schettini et al. (1996), a variação média de maré astronômica para o litoral onde está inserida a região deste estudo é de 0,8 m, sendo a máxima de 1,2 m. Esses autores destacam a grande importância da maré meteorológica na dinâmica costeira regional, a qual pode aumentar em até um metro os valores da

maré astronômica. Outro fator importante de ser destacado para o litoral centro-norte, está associado ao transporte de sedimento, especialmente em eventos meteorológicos extremos (ressacas), na qual tempestades geradas pela passagem de sistemas frontais, ou de ciclones extratropicais produzindo ondas que erodem o sistema de dunas frontais (MMA, 2006).



FIGURA 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. Fonte: os autores.

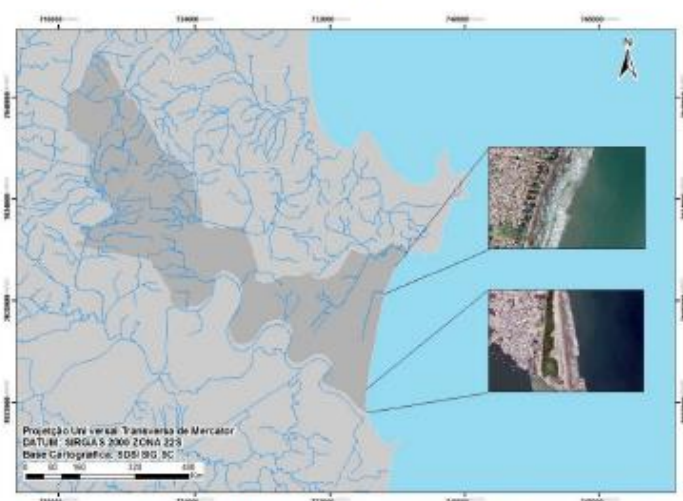


FIGURA 2 – Mapa do Município de Navegantes discriminando os dois locais de estudo. Fonte: os autores.

2.2 Cronologia histórica da ocupação antrópica da orla

Uma revisão da literatura serviu como forma de reunir estudos e saberes acerca do processo de uso e ocupação antrópica da orla da praia de Navegantes. Na primeira etapa da revisão sistemática foram consultadas as bases: Science Direct; Scielo; Springer, o site da prefeitura municipal, sites de meios de comunicação, visitas aos acervos públicos, além do próprio acervo do autor. As buscas envolveram os descritores “Erosão da Praia”, “Ressacas”, “Navegantes” e “Impactos na Praia” em combinações distintas, tanto na língua portuguesa quanto inglesa. Na busca seguinte fez-se uso da combinação de apenas dois descritores, sendo “Ressaca + Navegantes” e “Erosão + Ressacas + Navegantes”.

Após a seleção inicial, foram aplicados critérios para avaliação da qualidade e relevância considerando três dimensões para pré-avaliação: a) qualidade, b) adequação ao escopo deste estudo, e c) foco na temática desta revisão. A categorização das buscas abrangeu desde artigos originais até reportagens publicadas em veículos de comunicação local (jornais de circulação diária). Livros, manuais, documentos técnicos, teses e dissertações também foram investigados. O banco de imagens do acervo técnico do autor principal, associado com imagens satelitais pretéritas obtidas através do software *Google Earth* e processadas em software de Informações Geográficas, contribuíram para embasar este estudo de revisão e gerar os indicadores de variação da linha de costa ao longo do período de 2004 a 2018, bem como calcular a área (m²) da faixa arenosa e de restinga vegetada.

2.3 Avaliação da dinâmica sedimentar com o uso de VANT

O acompanhamento da dinâmica sedimentar nas duas regiões da Praia de Navegantes foi realizado em seis sobrevoos em cada um dos locais estudados, entre os meses de abril e julho de 2019. Utilizando como base a metodologia descrita por Yoo & Oh (2016), os levantamentos foram realizados com a utilização de um VANT tipo quadrirotor da marca DJI modelo Phantom 4 PRO, equipado com uma câmera fotográfica com sensor de 20 Mp de 1 polegada. Os sobrevoos foram aprovados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA/SARPAS), respeitando a regulamentação vigente para operação destes equipamentos.

A aerofotogrametria foi realizada a uma altura pré-definida de 100 m, sendo registrada por meio de um memorial de processamento com a sobreposição lateral de 65% e frontal de 75% entre as imagens obtidas. As imagens foram tratadas no software *Agisoft PhotoScan*[®] com aplicação de pontos de apoio materializados em solo georreferenciados com emprego de aparelho GPS/GNSS, marca *GeoMax*, *Modelo Zenith 25*, na qual os mesmos (pontos) foram pós-processados com base na Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os pontos de apoio em cada um dos locais monitorados não foram obtidos no mesmo dia, não tendo sido pós-processados com a mesma base que garantisse a amarração altimétrica entre os locais.

Foram geradas ortofotos georreferenciadas e imagens tridimensionais (imagens 3D) no software *Agisoft PhotoScan*[®] e comparadas entre cada levantamento a partir de uma mesma cota de referência, na qual se pôde aferir os volumes de sedimentos pela inclusão de curvas de nível com 0,25 m de intervalo dentro do polígono delimitado para cada local monitorado.

2.4 Eventos meteorológicos extremos

As informações referentes aos avisos de mau tempo emitidos pelo Serviço Meteorológico da Marinha do Brasil para a área de estudo no período compreendido entre os anos de 2004 e 2019 foram obtidos junto ao Centro de Hidrografia da Marinha (DHN). A autoridade marítima setoriza o litoral brasileiro em áreas, sendo que a região deste estudo localizada na Área C (Charlie), compreendida entre o Farol de Santa Marta (Laguna) e Cabo Frio (Rio de Janeiro), na região costeira. De acordo com a mesma fonte, os avisos de mau tempo referentes as ressacas indicam a possibilidade da ocorrência do evento e não se de fato ocorreu. Esses avisos são emitidos quando existe a previsão de formação de ondas de no mínimo 2,5 m de altura que possam avançar sobre as regiões litorâneas, sendo que a confirmação do efeito da ressaca pode ser obtida através do relato local pela mídia ou moradores através da observação do avanço do mar, o que é considerado informação e não dado.

2.5 Tratamento estatístico

As análises estatísticas, descritivas e comparativas, para ambas as regiões e entre elas, foram realizadas aplicando o teste t de *student* para amostras independentes (avaliando a diferenças dentro de cada tratamento – regiões) e de Wilcoxon (comparando cada região ao longo do período analisado) no software *Statsoft Statistica 7.0*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cronologia histórica da ocupação e uso da orla

O limite Sul da Praia de Navegantes ocorre junto ao molhe instalado ao Norte da Foz do Rio Itajaí-Açu. Em 1914 foram construídos 700 metros lineares do molhe Sul e, mais tarde, incluindo o enrocamento que formou o molhe Norte (Porto de Itajaí, 2020). Em 1926 o sistema foi ampliado através da instalação das defensas das margens esquerda e direita do rio e dos molhes nas duas margens (Serraglio, 2014). No ano de 2016 foi iniciada a obra de instalação da Bacia de Evolução do complexo portuário do rio Itajaí-Açu, e os molhes, sobretudo o Norte, sofreram novas intervenções ainda inacabadas.

Entre as décadas de 1980 e 1990, a vegetação existente no canto Sul era classificada, de acordo com a Resolução CONAMA nº 261 de 1999, como restinga herbácea, possuindo poucos arbustos ao longo da sua extensão. Esta porção da praia apresenta o local com a restinga mais preservada de toda a orla do Município. Com o passar dos anos, com a diminuição do trânsito de pessoas e consequente redução do pisoteio, houve um maior desenvolvimento da vegetação, passando a arbustiva, e atualmente, arbórea.

Muitos fatores contribuíram para essa situação, sendo um dos principais, senão o principal, a remoção dos quiosques, outrora instalados sobre a restinga, a partir de 2012 por uma determinação da Justiça Federal da 4ª Região, requerida pelo Ministério Público Federal (MPF) através de ação civil pública (Navegantes, 2012). Previamente à esta determinação judicial, a Fundação Municipal do Meio Ambiente de Navegantes (FUMAN) havia realizado ações com o objetivo de recuperar a restinga através da promoção do crescimento de dunas embrionárias

(2009 e 2010). Nestas ações os troncos e fragmentos de origem vegetal que chegavam até a praia passaram a ser dispostos em frente das dunas frontais, formando uma barreira física que contribuiu para a retenção de sedimentos que chegavam pela ação dos ventos, proporcionando condições para a formação da duna embrionária e para o estabelecimento da vegetação nativa (Navegantes, 2017). Este constante processo ajudou a estabilizar o pacote sedimentar, fixou as dunas e protegeu a restinga (Eamer & Walker, 2010; Montreil et al., 2013; Del Vecchio et al., 2017; Van Puijenbroek et al., 2017).

Com a emancipação política de Navegantes em 1962, ocorreu o processo de abertura da Avenida Beira Mar e a constituição do bairro Gravatá, frequentado por turistas provenientes de outras cidades do Vale do Itajaí na temporada de verão, consolidando o bairro como um balneário. A partir da segunda metade da década de 1990 houve uma intensa expansão imobiliária neste bairro que perdura até os dias atuais. A ocupação urbana desordenada no bairro Gravatá em Navegantes pode estar diretamente relacionada com a erosão costeira. Durante os últimos 25 anos diversas obras de infraestrutura pública (Avenida Beira Mar, calçamento, deck de madeira e duas praças) foram instaladas sobre o sistema de dunas, além da ocupação das áreas de manguezal do Rio Gravatá tanto no Município de Navegantes quanto no Município de Penha, o que pode também ter afetado a dinâmica sedimentar local (Menezes & Klein 2002; Menezes et al., 2003; Klein et al., 2006). Lins-de-Barros et al. (2016) em estudo realizado em Maricá (RJ), asseveram que a ausência de um planejamento urbano com limites adequados resultou na ocupação desordenada ao longo de praticamente todo o arco praial com construções localizadas próximas à escarpa do pós-praia e até mesmo avançando sobre a própria praia, tornando o litoral vulnerável às ressacas. Medeiros et al. (2016) em estudo realizado em Caucaia (CE) verificaram que o local vem sofrendo os efeitos da elevada especulação imobiliária, da ocupação desordenada da orla e elevado fluxo turístico e recreativo, acarretando sérios problemas de cunho físico, ambiental, social e econômico, além da intensificação do processo erosivo sobre a faixa de praia. Rangel-Buitrago et al. (2020) relacionaram a erosão costeira em Cartagena (Colômbia) com o aumento da urbanização. Todos esses casos são semelhantes ao que ocorreu e ocorre no bairro Gravatá.

A partir do ano 2000, os eventos meteorológicos extremos (ressacas) começaram a se tornar mais intensos e severos, provocaram danos significativos ao

longo da orla, especialmente na praia do Gravatá, danificando o patrimônio público e privado, resultando em intervenções governamentais com a publicação de decretos de estado de calamidade (Decreto nº 259/2001; Decreto nº 181/2016; Decreto nº 186/2016; Decreto nº 435/2017). De acordo com Bonetti et al. (2018), os locais com maior suscetibilidade concentram-se em áreas onde a urbanização está muito próximo da costa, em muitos casos substituindo as dunas originais.

A deficiência de abastecimento sedimentar relacionada às causas naturais como as variações médias do nível do mar que podem ser persistentes e periódicas, demonstram ser potencializada pelas múltiplas atividades antrópicas desenvolvidas na zona costeira e bacias hidrográficas próximas (Horn Filho, 2006; Klein et al., 2006).

3.2 Dinâmica da orla através do sensoriamento remoto

Foram obtidas 16 imagens de cada região estudada, totalizando 32 imagens. O valor estimado da área (m^2) entre as duas regiões estudadas entre 2004 (T0) e 2019 (T21) está apresentado na Figura 3. Entre 2004 (T0) e 2011 (T1) a área de restinga na região Sul apresentou redução, enquanto na região Norte se observava um acréscimo. Na região Sul da praia, entre 2012 (T2) e 2014 (T6), foi possível observar um expressivo incremento de $48.466 m^2$ (98,16%) em relação a 2011 (T1), e a partir de 2015 (T7) o sistema de restinga demonstra ter estabilizado indicando a recuperação desse bioma (Figura 4).

Na região Sul da praia (Figura 4), a maior área registrada foi de $105.969 m^2$ em 2019 (T15), enquanto a menor área foi de $49.372 m^2$ em 2011 (T1), quando o projeto de dunas embrionárias entrava no segundo ano. O maior crescimento proporcional se deu entre 2011 (T1) e 2012 (T2), com 61,33% de incremento de área. Esta região pôde ser dividida em três agrupamentos (T0-T2, T3-T7, T8-T21), apresentando diferença apenas entre todos os agrupamentos ($t = 28,01$; $p = 0,001$), indicando uma tendência constante de modificação, neste caso positiva. Considerando a maior e a menor área registradas (T15 e T1, respectivamente), pode-se dizer que o local apresentou uma acreção máxima de $56.597 m^2$, ou seja, um aumento de 114,63%.

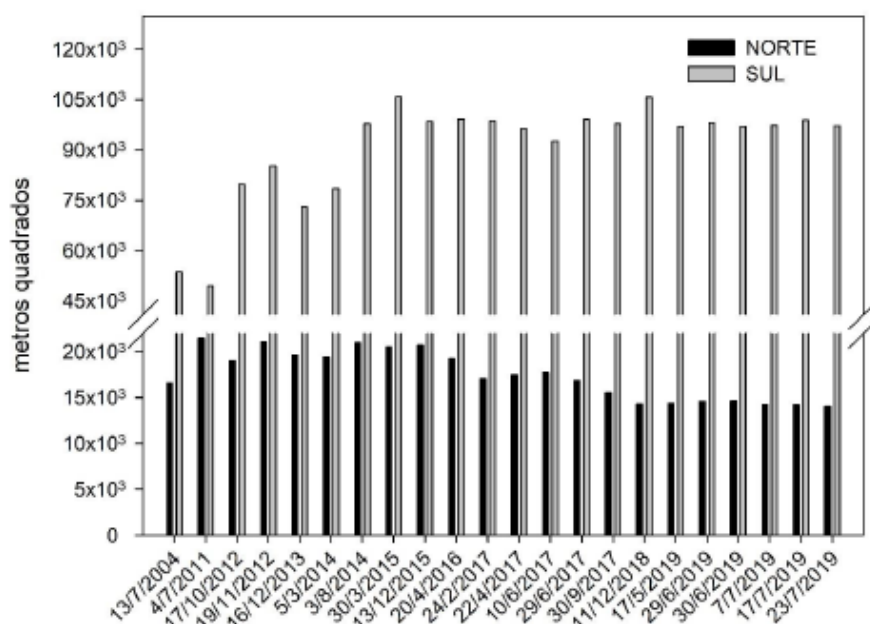


FIGURA 3 – Variação da área (m²) de restinga na região Norte (Gravatá) e na região Sul (Pontal) no período compreendido entre 13/7/2004 (T0) e 23/7/2019 (T21). Fonte: elaborado pelos autores.

Na região Norte se observava pequenas variações na área da restinga entre 2011 (T1) e 2015 (T8), com variações consideradas normais dentro dos ciclos geológicos que envolvem a dinâmica sedimentar de praias arenosas (Rangel-Buitrago et al., 2020). A partir de 2016 (T9) houve evidente perda de área de restinga anualmente até 2018 (T15), indicando que os processos erosivos nesta região da orla estão em um nível grave e crônico (Figura 5).

Em 2004 (T0) a região Norte apresentava uma área total de 16.572 m², enquanto a região Sul (Pontal) apresentava 53.605 m². A maior área registrada na região Norte foi em 2011 (T1), quando o local atingiu 21.462 m², tendo ocorrido um acréscimo de área de 4.890 m² em relação à área registrada em (T0). A partir de 2017 (T11) o processo erosivo fica mais evidente e significativo ($z = 2,70$; $p = 0,007$), e culmina com a menor área registrada em 2019 (T21), com 14.031 m². Considerando a diferença na área entre T0 e T21, a região Norte sofreu significativa ($t = 30,79$; $p = 0,001$) erosão de 2.541 m², e considerando a diferença entre área

registrada em T1 e a área em T21, a redução foi de 7.431 m², (34,62%) ou 495,4 m²/ano.

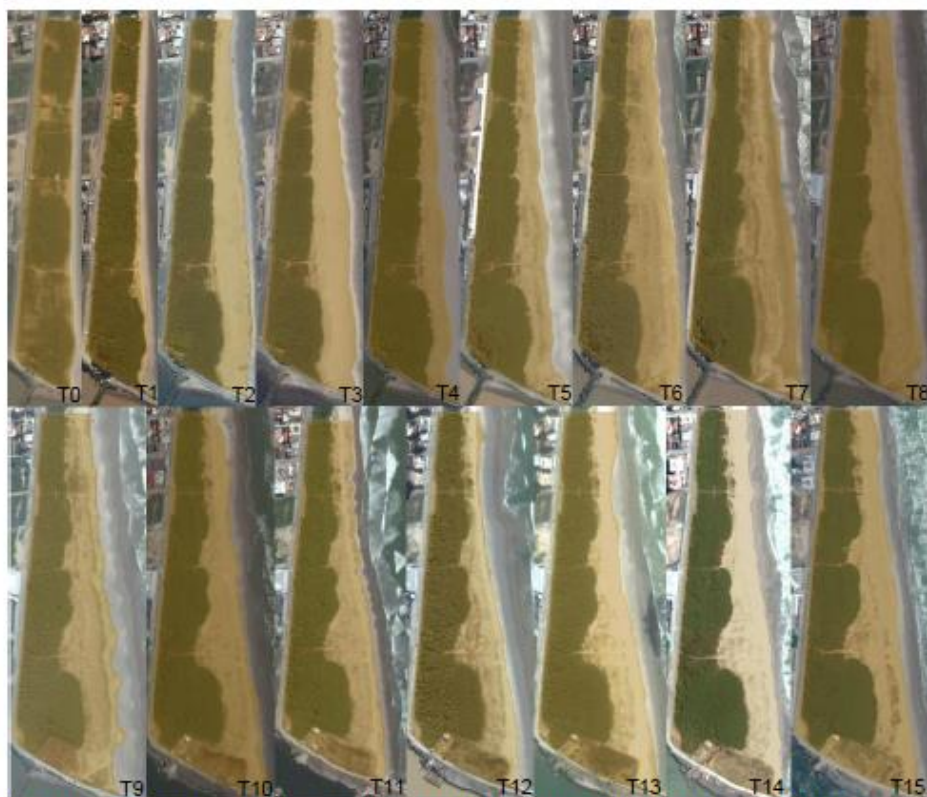


FIGURA 4 – Imagens satelitais da região Sul (praia do Pontal) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15). Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

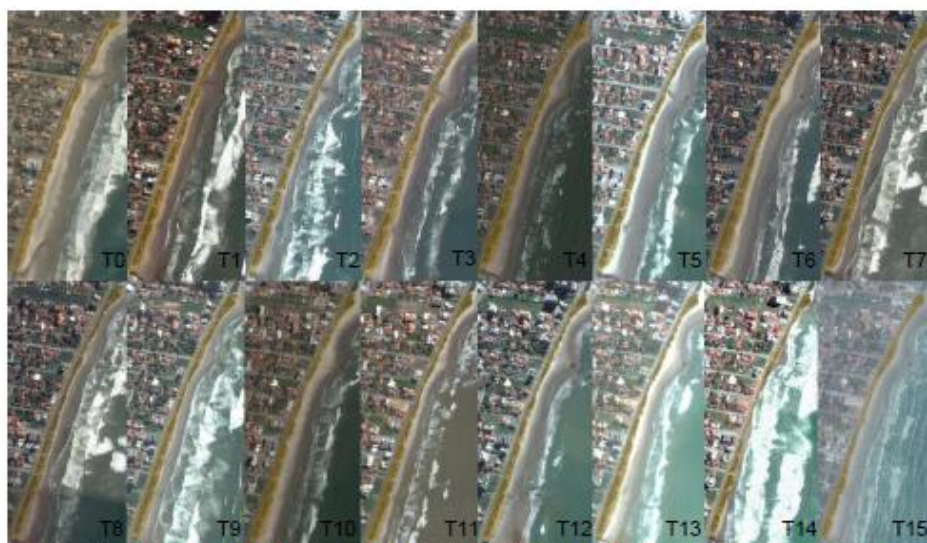


FIGURA 5 – Imagens satelitais da região Norte (praia do Gravatá) mostrando a variação da faixa de restinga entre 13/7/2004 (T0) e 11/12/2018 (T15). Fonte: Google Earth. Acessado em 10/3/2020.

3.3 Estimativa do volume sedimentar com o uso de VANT

Foram realizados seis sobrevoos em cada uma das regiões. O voo inicial na região Sul ocorreu em 26/4/2019 (T16), e na região Norte em 17/5/2019 e último voo ocorreu em 23/7/2019 (T21). Nesta menor janela temporal utilizada neste estudo, em T16 a região Norte apresentou uma área remanescente de restinga de 14.372 m², enquanto a região Sul apresentou 97.004 m².

A maior área registrada na região Sul foi em 17/7/2019 (T20), quando o local apresentou 98.929 m², e a menor área foi em 26/4/2019 (T16), com 97.004 m², e uma área média de 97.589 m². Neste período (T16-T21) o processo de erosão consumiu 1.925 m², uma redução de 1,97% em relação à média do período (Figura 6).



FIGURA 6 – Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Sul (Ponta) mostrando a variação da faixa de restinga entre 26/4/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21). Fonte: elaborado pelos autores.

Na região Norte, a maior área registrada nos aerolevantamentos foi em 30/6/2019 (T18), quando o local atingiu 14.670 m². E a menor área de todo o período analisado, considerando a análise histórica apresentada foi 14.031 m² registrada em 23/7/2019 (T21). Considerando apenas o período compreendido entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21), a região Norte apresentou uma área média de 14.354 m², e um processo erosivo que consumiu 639 m², ou seja, uma redução de 4,45% em relação à área média do período (Figura 7).



FIGURA 7 – Ortoimagens dos aerolevantamentos da região Norte (praia do Gravata) mostrando a variação da faixa de restinga entre 17/5/2019 (T16) e 23/7/2019 (T21). Fonte: elaborado pelos autores.

Uma das principais vantagens do uso do VANT consiste na possibilidade de estimar o volume de sedimentos contidos em ambos os locais estudados através da inserção de curvas de nível nos polígonos pré-estabelecidos. Os resultados dos levantamentos (Tabela 1) mostraram que ambos os locais estudados podem apresentar tanto processo de acreção quanto de erosão provocados pelos agentes naturais como os eventos meteorológicos extremos. A média de volume de sedimentos na região Norte foi de 6.032,02 m³ dentro da área de 46.297 m² utilizada para o estudo, com uma acreção média de 227,52 m³. Ao se considerar o volume médio de sedimentos na região Norte, têm-se uma altura média de apenas 13,03 cm.

Na região Sul, a média de sedimentos foi de 76.032,95 m³ dentro da área de 73.408 m² utilizada para o estudo. A erosão média foi de 2.239,68 m³. Considerando o volume médio de sedimentos pela área, têm-se uma altura média de 103,57 cm, o que representa um volume de sedimentos 7,92 vezes superior, quando comparado com a região Norte. O incremento dessa área (região Sul), se deu ao longo dos anos de execução do projeto de dunas embrionárias no local, tendo ocorrido a fixação de um grande volume de sedimentos que proporcionou a expansão da faixa de areia e da faixa vegetada. Essa região possui uma grande reserva de sedimentos, o que harmoniza a dinâmica sedimentar e uma maior capacidade de suportar os eventos meteorológicos extremos sem comprometer a infraestrutura pública, tal qual ocorre na região Norte.

TABELA 1 – Volumes de sedimentos calculados nas porções Norte e Sul da Praia de Navegantes durante o intervalo de tempo entre T16 e T21. Diferença (m³) representa o valor discrepante em relação à faixa de restinga de cada uma das porções.

relação a taxa de ressinga de cada uma das porções.

NORTE: 46.297 m²				SUL: 73.408 m²			
	Data	Vol. (m³)	Diferença (m³)		Data	Vol. (m³)	Diferença (m³)
T16	17/5/2019	3.686,50	0,00		26/4/2019	80.313,50	0,00
T17	29/6/2019	5.968,40	+ 2.281,90		29/6/2019	73.071,10	- 7.242,40
T18	30/6/2019	6.332,20	+ 363,80		7/7/2019	67.560,50	- 5.510,60
T19	7/7/2019	4.801,80	- 1.530,40		8/7/2019	65.613,50	- 1.947,00
T20	17/7/2019	10.351,60	+ 5.549,80		17/7/2019	102.763,70	+ 37.150,20
T21	23/7/2019	5.051,60	- 5.300,00		23/7/2019	66.875,40	- 35.888,30
Média		6.032,02	227,52			76.032,95	-2.239,68

Fonte: elaborado pelos autores.

3.4 Avisos de mau tempo

Um total de duzentos e cinquenta (250) avisos foram emitidos entre os anos de 2004 e 2019 para a área Charlie, o que perfaz uma média de 15,63 avisos/ano. Os anos com o maior número de avisos (Figura 8) emitidos foram 2010 e 2016 (27), 2005 (24), 2011 (20), 2018 (19), 2006 e 2008 (18) e 2009 com 16 avisos. Os meses do ano com maior frequência foram maio, setembro, agosto, novembro, abril, julho e março (Figura 9).

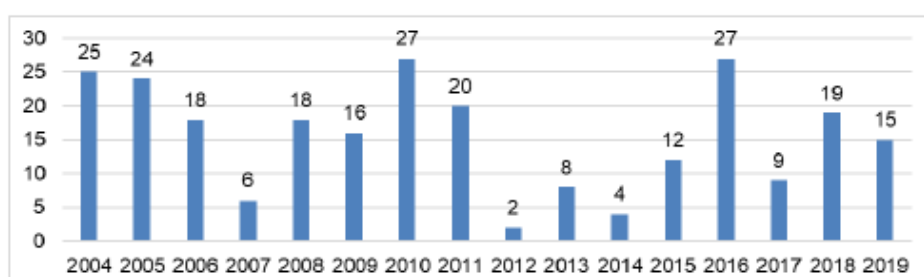


FIGURA 8 – Frequência anual de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019. Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

Dentre os avisos emitidos, alguns de fato se tornaram ressaca e atingiram as duas áreas estudadas durante o interstício que foram realizados os sobrevoos: nº 378/2019, nº 705/2019 e nº 754/2019. A ressaca promoveu erosão nas regiões Norte e Sul, com 1.530,40 m³ e 5.510,60 m³, respectivamente, conforme constatado nos sobrevoos realizados em 7/7/2019. Em 8/7/2019 foi realizado novo sobrevoos sobre a região Sul, onde novamente foi constatada erosão de 1.947,00 m³, mostrando o efeito continuado da ressaca.

Efeito contrário foi observado a partir do sobrevoos realizado dias após a emissão do aviso nº 754/2019, onde em ambas as regiões foi observada acreção – 5.549,80 m³ na região Norte e 37.150,20 m³ na região Sul. A maior erosão registrada em ambas as regiões foi no último sobrevoos, ocorrido em 23/7/2019, com 5.300,00 m³ na região Norte e 35.888,30 m³ na região Sul. No entanto, na ressaca registrada nessa data não foram emitidos avisos de mau tempo pela Marinha do Brasil.

Na região de estudo predominam os ventos associados à Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que por sua vez podem sofrer a influência do ciclone extratropical, o que pode intensificar os ventos e persistir por alguns dias (Reboita et

al., 2010). Os ciclones extratropicais são centros profundos de baixas pressões migratórias, resultantes de oclusões, que se deslocam de Oeste para Leste a uma velocidade de 30 Km/h a 50 Km/h, sendo mais rápidos no inverno (Monteiro & Mendonça, 2014).

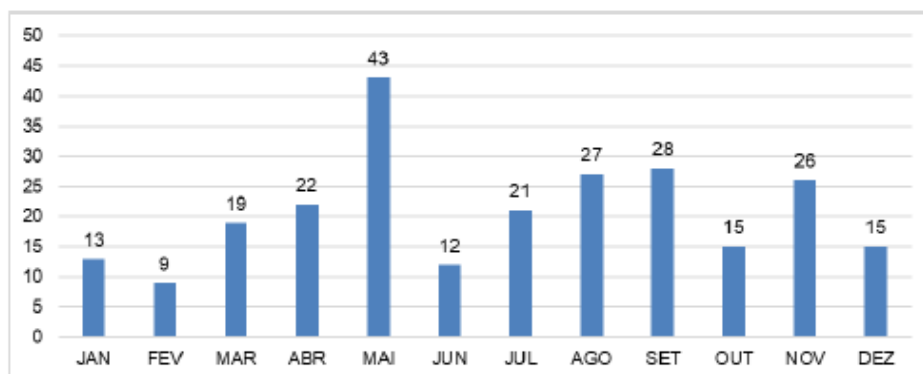


FIGURA 9 – Frequência mensal de avisos de mau tempo no período compreendido entre 2004 e 2019. Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha, Serviço Meteorológico Marinho da Marinha do Brasil, 2020.

A ocorrência de vendavais no litoral além de estarem relacionadas com os sistemas frontais e convecções localizadas, também são originados de ciclones extratropicais. Esses fenômenos são comuns no litoral catarinense, principalmente no período outono-primavera, com picos mais intensos e frequentes no inverno (Marcelino et al. 2014). A ocorrência desses fenômenos provoca mudanças sazonais na morfologia da praia, onde se observa erosão no período outono-primavera, e acreção no verão. As mudanças sazonais na morfologia praial tradicionalmente atribuída a uma variação no nível de energia das ondas incidentes com condições calmas no verão, resultando em praias amplas com bermas subaeriais pronunciadas e condições energéticas no inverno, causando praias estreitas com morfologia de barras próximas à costa devido a troca de sedimentos entre a praia e a zona de surfe (Masselink & Pattiratchi, 2001).

4. CONCLUSÕES

A erosão costeira tem sido observada ao longo do litoral brasileiro em decorrência de diversos fatores sobretudo nos municípios que apresentam a linha de

costa modificada do estado natural para antrópico (MMA, 2006; Oliveira, 2009; Araújo et al., 2010; Machado, 2010; Schmidt et al., 2013). Em Navegantes desde meados da década de 1960 esse processo vem ocorrendo, inicialmente pela construção da malha viária do município, especialmente a Avenida Beira Mar, posteriormente com a sua utilização como estacionamento durante a temporada de veraneio, e a instalação dos decks e calçadas, contribuíram para suprimir os remanescentes de vegetação, o que deixou o solo exposto aos agentes intempéricos que erodiram o pacote sedimentar e culminaram nos danos à infraestrutura urbana.

Rangel-Buitrago et al. (2020) afirmam que o aumento da urbanização na zona costeira está diretamente relacionado com a erosão, sobretudo com a destruição de ecossistemas, e McLaughlin et al. (2002), consideram a ocupação antrópica ao longo da costa como a principal causa da erosão praial. A disposição de rochas onde deveria ser o sistema de dunas e a construção de muros de contenção (sea walls) visando proteger a orla frente aos sucessivos eventos meteorológicos (ressacas), são “soluções” paliativas, e necessita estar associada com outras medidas de médio e longo prazo para recompor o sistema de dunas e sua vegetação de modo a garantir a retenção e o provimento de volume sedimentar para ser remobilizados durante os eventos meteorológicos mais extremos, como forma de dissipar a energia destes fenômenos e proteger a orla da praia.

Os resultados obtidos demonstraram que a região Norte (Praia do Gravatá) está bastante suscetível aos eventos meteorológicos extremos, com avançado estado de degradação da orla pela quase inexistência de restinga, sofrendo grande erosão costeira.

A região Sul (Pontal), local onde o projeto experimental de dunas embrionárias proporcionou condições para a fixação de sedimentos e desenvolvimento da restinga, demonstrou-se um acréscimo considerável de área nos últimos anos, o que resulta na maior proteção da orla contra eventos meteorológicos extremos.

Ambos os locais estudados estão sujeitos aos eventos meteorológicos extremos, tendo apresentado tanto acreção quanto erosão. Entretanto, os efeitos são mais visíveis e sentidos na região Norte em virtude de possuir um volume muito menor de sedimento quando comparado com o volume fixado na região Sul.

A utilização do VANT no monitoramento da dinâmica sedimentar se mostrou rápido, eficiente e com reduzido custo operacional. As limitações de uso se dão pelas condições meteorológicas (ventos fortes, chuvas, tempo nublado) e pela legislação vigente. Cabe ressaltar que Navegantes possui um aeroporto, e os voos com VANT no cone de aproximação da pista são proibidos, exceto em ocasiões especiais ou mediante prévia autorização dos órgãos competentes. O nível de precisão do equipamento utilizado demonstra grande resolução, podendo apresentar números exatos que podem ser usados para a tomada de decisões no que diz respeito ao gerenciamento costeiro.

A metodologia do uso do VANT demonstra ser promissora e permite ser utilizada pelas secretarias municipais, fundações de meio ambiente, ONGs e demais autarquias e entidades que necessitem monitorar a orla marítima e fornecer subsídios para elaboração de projetos e tomada de decisões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO R. S. et al. Variação da morfologia praial e identificação de zonas de erosão acentuada (ZEA) na enseada do Itapocorói – SC. *Brazilian Journal Aquatic Science Technology* [S.l.], v. 14 (1), p. 29-38. 2010.
- ARAUJO, R. S.; KLEIN, A. H. F.; PETERMANN, R. M. Determinação do Índice de Sensibilidade do Litoral ao Derramamento de Óleo (Isl) para as Regiões Norte e Centro-Norte do Estado de Santa Catarina (SC). 2005. 190 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar Itajaí, SC., 2005.
- BONETTI, J.; RUDORFF, F. M.; CAMPOS, A. V.; SERAFIM, M. B. Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) Sandy beaches susceptibility to erosion. *Ocean & Coastal Management*: n. 156, p. 198-208. 2018.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999. Aprova parâmetros básicos para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. DOU nº 146, de 2 de agosto de 1999. Seção 1, páginas 29-31.
- DEL VECCHIO, S.; JUCKER, T.; CARBONI, M.; ACOSTA, A. T. R. 2017. Linking plant communities on land and at sea: the effects of *Posidonia oceanica* wrack on the structure of dune vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 184: 30–36. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.041>. Acessado em 6/2/2019.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; GUIMARÃES, J. K.; BITTENCOURT, A. C. da S. P. Alagoas, Sergipe e Bahia. p. 381-432). In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Panorama da erosão costeira no Brasil [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização Dieter Muehe. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

EAMER, J. B. R.; WALKER, I. J. 2010. Quantifying sand storage capacity of large woody debris on beaches using LiDAR. *Geomorphology* 118: 33–47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.12.006>. Acessado em 6/2/2019.

GUJAR, A. R.; GANESAN, P.; IYER, S. D. GAONKAR, S. S.; AMBRE, N. V.; LOVESON, V. J. MISLANKAR, P. G. Influence of morphodynamic variability over seasonal beach sediments and its probable effect on coastal development. *Ocean & Coastal Management*: n. 54, p. 514-523. 2011.

HORN FILHO, Norberto Olmiro. Ilha de Santa Catarina. In: Muehe D. (ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. P. 413-436.

HORN FILHO, N. O.; SCHMIDT, A. D.; ABREU, J. G. N.; ESTEVAM, C. N.; ARAUJO, R. S. Santa Catarina. In: Brasil. Ministério do Meio Ambiente. *Panorama da erosão costeira no Brasil [recurso eletrônico]* / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental e Territorial; Organização Dieter Muehe. – Brasília, DF: MMA, 2018. 759 p. : il. (algumas color.).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/navegantes/panorama> . Acessado em: 18/5/2021.

KLEIN, A. H. F. *Morphodynamics of headland bay beaches*. Algarve: Universidade do Algarve, 2004. 450p. PhD Thesis.

KLEIN, A. H. F. et al. Litoral Centro-norte de Santa Catarina. In: Dieter Muehe. (ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, 2006. p. 402-412.

LINS-DE-BARROS, F.; ZEIDAN, F.; LIMA, R. F. Adaptação e percepção da população a eventos de ressaca no mar no litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*: v. 16, n. 2, 15 p. 2016.

MACHADO B. V. *Mapeamento e análise de obras de engenharia costeira no litoral do estado de Santa Catarina*. Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2010. 251p. Monografia. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar.

MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; OLIVEIRA, C. A. F.; ALVES, D. B. Vendaval. In: HERRMANN, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCNUFSC. 2014. p. 5-12.

MARCELINO, I. P. V. O.; MOLLERI, G. S. F.; GOERL, R. F.; MARCELINO, E. V.; MORENO, D. A.; RUDORFF, F. M.; OLIVEIRA, C. A. F.; ALVES, D. B.; HERRMANN, M. L. P.; DEBORTOLI, N. S.; MURARA, P. G. Adversidades atmosféricas no Estado de Santa Catarina no período de 1980 a 2010. In: HERRMANN, M. L. P. *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010*. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCNUFSC. 2014. p. 13-82.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia da Marinha. Divisão de Previsões Meteorológicas. Avisos de mau tempo para a área "Charlie" entre os anos de 2004 e 2019. 2020.

MASSELINK, G.; PATTIARATCHI, C. B. Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. *Marine Geology*: n. 172. P. 243-263. 2001.

- McLAUGHLIN, S.; McKENNA, J.; COOPER, J. A. G. Socioeconomic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Resources*: n. 36, p. 487-497. 2002.
- MEDEIROS, E. C. S.; MAIA, L. P.; ARAÚJO, R. C. P. Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia de Icarai). Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*: v. 16, n. 2, 9 p. 2016.
- MENEZES, J. T.; KLEIN, A. H. F. 1997. Variações Morfológicas das Praias do Litoral Centro Norte do Estado de Santa Catarina. In: X Semana Nacional de Oceanografia, 1997, Itajaí. *Anais da X Semana Nacional de Oceanografia*, Itajaí (SC), 1997. 58-60p.
- MENEZES, J. T. Alimentação artificial do segmento praial Navegantes/Gravatá. SC. 2002. 114 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.
- MENEZES, J.T. e KLEIN, A. H.F. 2002. Método de Análise da Vulnerabilidade Costeira à Erosão. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, II Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas. Pg. 1-4.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada. Brasília: MMA/SQA; Brasília: MP/SPU, 2006. 74p. ISBN 85-7738-029-7. 2006.
- MONTEIRO, M. A.; MENDONÇA, M. Dinâmica Atmosférica no Estado de Santa Catarina. In: HERRMANN, M. L. P. Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980 a 2010. 2ª Edição. Florianópolis (SC): Instituto Histórico e Geográfico de Santa Catarina – IHGSC; Cadernos Geográficos – GCN/UFSC. 2014. p. 5-12.
- MONTREUIL, A.; BULLARD, J.; CHANDLER, J. H.; MILLETT, J. Decadal and seasonal development of embryo dunes on an accreting macrotidal beach: North Lincolnshire, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*: n. 38, p. 1851-1868, 2013.
- NAVEGANTES. Decreto nº 259 de 7 de maio de 2001. Declara em estado de calamidade pública áreas que especifica no Município de Navegantes e dá outras providências. Data de inserção no Sistema Leis Municipais: 30/8/2006. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/sc/n/navegantes/decreto/2001/26/259/decreto-n-259-2001-declara-em-estado-de-calamidade-publica-areas-que-especifica-no-municipio-de-navegantes-e-da-outras-providencias?q=decreto+259%2F2001> Acessado em 5/3/2021.
- NAVEGANTES. Decreto nº 181 de 31 de outubro de 2016. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestade (ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2114, de 1/11/2016. Página 322.
- NAVEGANTES. Decreto nº 435 de 8 de setembro de 2017. Declara situação de emergência nas áreas do Município afetadas por ciclones – mares de tempestades (ressacas), Cobrade 13112, conforme IN/MI 01/2012. DOM/SC Edição nº 2336, de 11/09/2017. Página 915.
- NAVEGANTES. Determinação – FUMAN inicia retirada de quiosques das dunas. Notícia publicada no site da Prefeitura em 19/6/2021. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/6803/determinacao-fuman-inicia-retirada-de-quiocques-das-dunas> Acessado em 26/1/2021.

- NAVEGANTES. Projeto de recuperação da praia de Navegantes já é desenvolvido desde 2010. Notícia publicada no site da Prefeitura em 30/10/2017. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/noticia/11310/projeto-de-recuperacao-da-praia-de-navegantes-ja-e-desenvolvido-desde-2010> Acessado em 26/1/2021.
- OLIVEIRA U. R. Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 222 p. PhD Thesis.
- PORTO DE ITAJAÍ. Histórico. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br/novo/c/historia>. Acessado em: 20/6/2020.
- RANGEL-BUITRAGO, N.; NEAL, W. J.; JONGE, V. N. Risk assessment as tool for coastal erosion management. *Ocean & Coastal Management*: n. 186, 15 p. 2020.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*: v. 25, n. 2, p. 185-204. 2010.
- SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, J. L. B.; JABOR, P. 1996. Comparative hydrology and suspended matter distribution of four estuaries in Santa Catarina State – Southern Brazil. In: *Anais, Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries*. Bahia Blanca, 1996.
- SCHMIDT A. D.; HORN FILHO N. O.; ESTEVAM C. N. Estratégias adotadas para conter a erosão costeira no litoral de Santa Catarina, Brasil. In: CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 7., Maputo, *Short Papers*, 2013. p. 1-12.
- SERAFIM, M. B.; SIEGLE, E.; CORSI, A. C. BONETTI, J. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of Environmental Management*, v. 230, p. 21-32. 2019.
- SERRAGLIO, J. Entre Balneários e Pontais: a invenção da paisagem em Navegantes. In: ANDRADE, F. C. D.; CARVALHO, M. C. W.; MIRANDA, N. Rumo a Navegantes. São Paulo: M. Carrilho Arquitetos, 2014. 192 p. : il. Color. – (Paisagens Culturais Brasileiras).
- SHERMAN, D. J.; BAUER, B. O. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*, 17, 4 (1993) p. 413-447.
- SHORT A. D. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. England: Wiley, 1999. 379 p.
- VAN PUIJENBROEK, M. E. B.; LIMPENS, J.; GROOT, RIKSEN, M. J. P. M.; GLEICHMAN, M.; SLIM, P. A.; VAN DOBBEN, H. F.; BERENDSE, F. Embryo dune development drivers: beach morphology, growing season Precipitation, and storms. *Earth Surface Processes and Landforms*: n. 42, p. 1733-1744. 2017.
- YOO, C. I.; OH, T. S. Beach volume change using UAV Photogrammetry Songjung Beach, Korea. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: Vol. XLI-B8, 2016. XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic. p. 1201-1205.

ANEXO D – PRODUTO: PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS.



PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS

JOÃO PAULO GAYA

Orientador: Dr. THIAGO PEREIRA ALVES

Coorientador: M. Sc. LUIZ CARLOS DOS SANTOS CÓRDOVA JÚNIOR

Coorientador: Dr. MARCOS LEANDRO DOS SANTOS

Florianópolis (SC)

Agosto de 2021

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Passo 1: Menu.....	2
Figura 2 – Passo 2: Mapa.	2
FIGURA 3 – Passo 3: Discriminação do polígono, definição de altitude de voo, batismo do projeto.....	3
FIGURA 4 – Passo 3: Detalhamento do voo gerado pelo programa.	4
FIGURA 5 – 1° e 2° Passos da solicitação do voo.	5
FIGURA 6 – 3° Passo: Princípio de Sombra.	5
FIGURA 7 – 4° Passo: Localização da Operação.	6
FIGURA 8 – 5° Passo: Dados da Operação.....	7
FIGURA 9 – 6° Passo: Formas de Comunicações.	7
FIGURA 10 – 7° Passo: Declaração de ciência e enviar solicitação.....	8
FIGURA 11 – 8° Passo: Imprimindo o voo aprovado.....	9
FIGURA 12 – Detalhes do voo aprovado.	9
FIGURA 13 – Montagem da pista de pouso. A) Pista na embalagem de transporte. B) Pista de pouso dobrada junto com os ganchos de fixação. C) Pista de pouso montada e fixada ao solo.	10
FIGURA 14 – Montagem do equipamento. A) VANT na embalagem de transporte. B) VANT fora da embalagem. C) Dois pares de hélices. D) Hélice com detalhe preto e suporte com detalhes (círculos) pretos. E) Hélice com detalhe prata e suporte branco, sem detalhes. F) VANT com as hélices instaladas.	11
FIGURA 15 – Checagem da carga da bateria. A) Apertar o botão “ligar”. B) Luzes acesas indicam que a bateria está com carga completa.	12
FIGURA 16 – Instalação da bateria no VANT. A) Local onde deve ser feita a instalação (encaixe). B) Bateria devidamente instalada.	12
FIGURA 17 – Remoção do protetor (trava) do gimbal. A) Câmera e gimbal com o protetor. B) Protetor removido.....	13
Figura 18 – Ligação do controle remoto. A) Pressionar por alguns segundos o botão “ligar/desligar”. B) Controle remoto ligado, com as luzes mostrando a carga completa da bateria.	13
FIGURA 19 – Acesso ao aplicativo DroneDeploy e ao voo planejado. A) Tablet. B) Seleção do aplicativo instalado no tablet. C) Tela com o voo planejado.	14

FIGURA 20 – Conexão do tablet com o controle remoto. A) Conexão via cabo USB. B) Clicar no botão “iniciar o checklist” do voo. C) Checklist concluído. D) Clicar no botão “Iniciar o voo”.	14
FIGURA 21 – Embalagem antichama própria para o armazenamento de baterias. .	15
FIGURA 22 – 2º passo: salvar o projeto.....	16
FIGURA 23 – 3º passo: importar as fotos.	17
FIGURA 24 – Fotos importadas para o programa.	17
FIGURA 25 – Remoção de fotos indesejadas. Selecione a foto e clique em “X” para remover.....	18
FIGURA 26 – Conversão do sistema de coordenadas.	18
FIGURA 27 – Conversão do sistema de coordenadas com a seleção do DATUM e zona.	19
FIGURA 28 – Alinhar fotos.....	19
FIGURA 29 – Preenchimento da caixa de diálogo.	20
FIGURA 30 – Preenchimento da caixa de diálogo.	20
FIGURA 31 – Gerar DEM.....	21
FIGURA 32 – Gerar DEM.....	21
FIGURA 33 – Resultado do processamento do DEM.....	22
FIGURA 34 – Gerar Ortofoto.....	22
FIGURA 35 – Gerar DEM.....	23
FIGURA 36 – Ortofoto.....	24
FIGURA 37 – Guia “Reference”.	24
FIGURA 38 – Importar o arquivo .txt com os pontos de controle.....	25
FIGURA 39 – Caixa de diálogo de importação dos pontos de controle.	26
FIGURA 40 – Detalhes da importação dos pontos de controle.	26
FIGURA 41 – Pontos de controle sobre o levantamento.	27
FIGURA 42 – Edição dos pontos de controle.	27
FIGURA 43 – Mosaico da fotointerpretação.	28
FIGURA 44 – Excluindo a ortofoto e o ortomosaico.	30
FIGURA 45 – Excluindo o DEM.	31
FIGURA 46 – Confirmação da exclusão do DEM.	31
FIGURA 47 – Alinhar fotos.....	32
FIGURA 48 – Criar o “Dense Cloud”.	32
FIGURA 49 – Preenchimento da caixa de diálogo.	33

FIGURA 50 – Classificação dos pontos do levantamento.	34
FIGURA 51 – Processo de classificação dos pontos do levantamento propriamente dito.	34
FIGURA 52 – Preenchimento da caixa de diálogo.	35
FIGURA 53 – Pontos classificados.	36
FIGURA 54 – Ferramenta de seleção para excluir pontos indesejados.	36
FIGURA 55 – Levantamento após exclusão dos pontos indesejados.	37
FIGURA 56 – Construindo o modelo.	37
FIGURA 57 – Preenchimento da caixa de diálogo.	38
FIGURA 58 – Preenchimento da caixa de opções.	38
FIGURA 59 – Construção do Tiled Model.	39
FIGURA 60 – Opções da caixa de texto.	39
FIGURA 61 – Construção do DEM corrigido.	40
FIGURA 62 – Caixa de comando.	41
FIGURA 63 – Seleção das classes de pontos.	42
FIGURA 64 – DEM corrigido.	42
FIGURA 65 – Gerando a Ortofoto retificada.	43
FIGURA 66 – Caixa de diálogo.	44
FIGURA 67 – Gerando curvas de nível.	45
FIGURA 68 – Preenchimento da caixa de diálogo.	45
FIGURA 69 – Curvas de nível.	46
FIGURA 70 – Ferramenta de desenho.	46
FIGURA 71 – Desenho da poligonal sul.	47
FIGURA 72 – Comando para realizar os cálculos.	48
FIGURA 73 – Cálculos realizados. A) Perímetro e área. B) Gráfico de perfil. C) Cálculo de volume.	48
FIGURA 74 – Customização para o cálculo de volume a partir de uma cota de referência.	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Passo a passo do ajuste dos pontos de controle nas imagens.....	28
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APP	Área de Preservação Permanente
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul ou Anticiclone do Atlântico Sul
ATC	Air Traffic Control – Controle de Tráfego Aéreo
ATS	Air Traffic Services – expressão genérica que se aplica, segundo os casos, aos serviços de controle de tráfego aéreo, serviço de informação de voo, serviço de alerta e serviço de assessoramento
Cfa	Sigla do clima subtropical úmido de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger de 1900
cm	centímetro
cm/px	centímetro por pixel
CTTMar	Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar
DATUM	Modelo matemático teórico de representação da superfície da Terra ao nível do mar utilizado pelos cartógrafos numa dada carta ou mapa
DCEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DEM	Digital Elevation Model – Modelo Digital de Elevação
DJI	Dà-Jiǎng Innovations
EPSG	European Petroleum Survey Group – Grupo de Pesquisa Petrolífera Europeia
FUMAN	Fundação Municipal do Meio Ambiente de Navegantes
GNSS	Global Navigation Satellite System – Sistema Global de Satélites de Navegação
GPS	Global Position System – sistema de posicionamento global
IAN	Instituto Ambiental de Navegantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
Km	Quilômetro
Km/h	quilômetro por hora
Km ²	quilômetro quadrado

m	Metro
m ³	metro cúbico
m ²	metro quadrado
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Mp	Megapixels
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RPA	Remotely Piloted Aircraft – aeronaves remotamente pilotadas
R\$	reais
SARPAS	Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas. Sistema cuja origem e orientação é geocêntrica, ou seja, adota um referencial que tem a origem dos seus três eixos cartesianos localizada no centro de massa da Terra. Utiliza como referência os sistemas globais de navegação (posicionamento) por satélites GNSS
Ton.	tonelada
3D	três dimensões
.txt	Extensão de arquivo para arquivos de texto que não contém formatação
UNIVALI	Universidade do Vale do Itajaí
USB	Universal Serial Bus – porta universal
UTM	Universal Transversa de Mercator – sistema de coordenadas cartesianas bidimensional para dar localizações na superfície da Terra
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VFR (V)	Visual Flight Rules – Regras de voo visual
VLOS	Visual Line-of-sight – operações com drones que ocorrem em condições meteorológicas visuais
Vol.	volume
WGS84	World Geodetic System 1984
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

% – percentual

°C – graus Celsius

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	II
LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	VI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VIII
SUMÁRIO	IX
1. PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS	1
1.1 Elaboração do plano de voo	1
1.2 Autorização do voo	4
1.3 Execução do voo	9
1.4 Processamento do voo	16
2. CONCLUSÕES.....	50

1. PROCEDIMENTO OPERACIONAL PARA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO NO MONITORAMENTO DA DINÂMICA SEDIMENTAR DE PRAIAS

O procedimento operacional detalhado das etapas envolvidas na utilização do VANT no monitoramento da dinâmica sedimentar é apresentado de forma simples e detalhada de modo a possibilitar a sua operacionalização de um drone registrado por uma pessoa devidamente habilitada. A seguir é apresentado o passo a passo, desde o planejamento do voo, a obtenção de autorização de voo, a preparação do equipamento e processamento dos levantamentos.

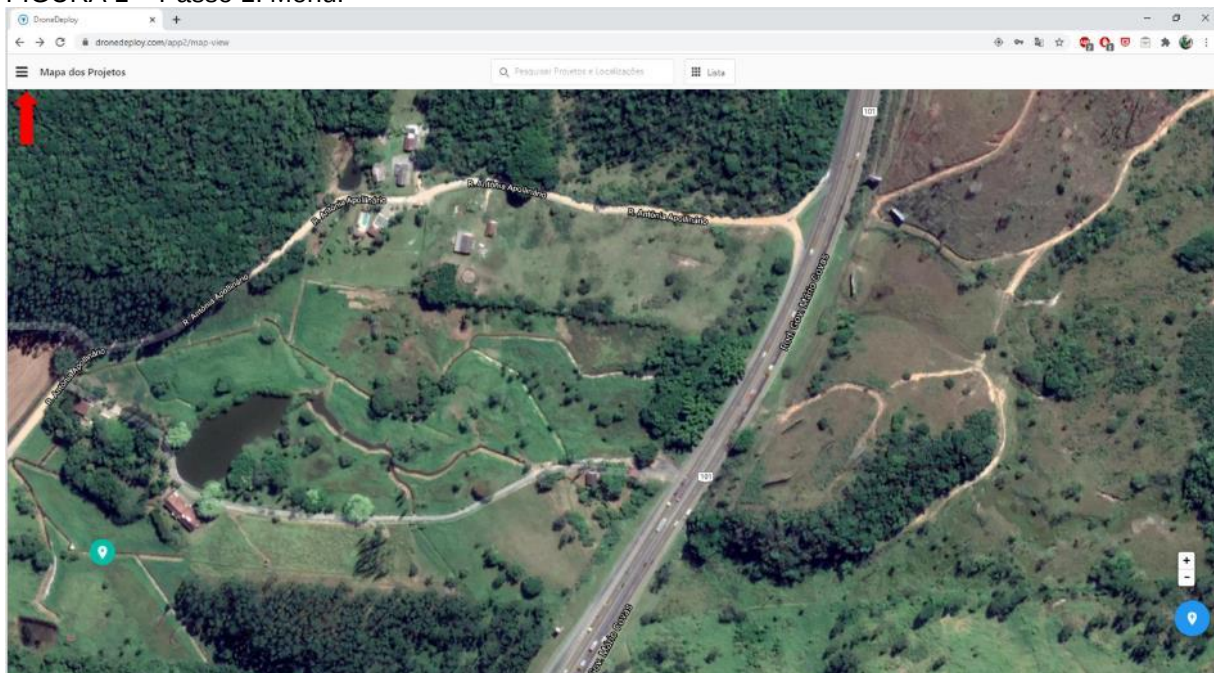
1.1 Elaboração do plano de voo

O plano de voo deve ser elaborado no site DroneDeploy no endereço eletrônico:

<https://www.dronedeploy.com/app2/auth/signin>

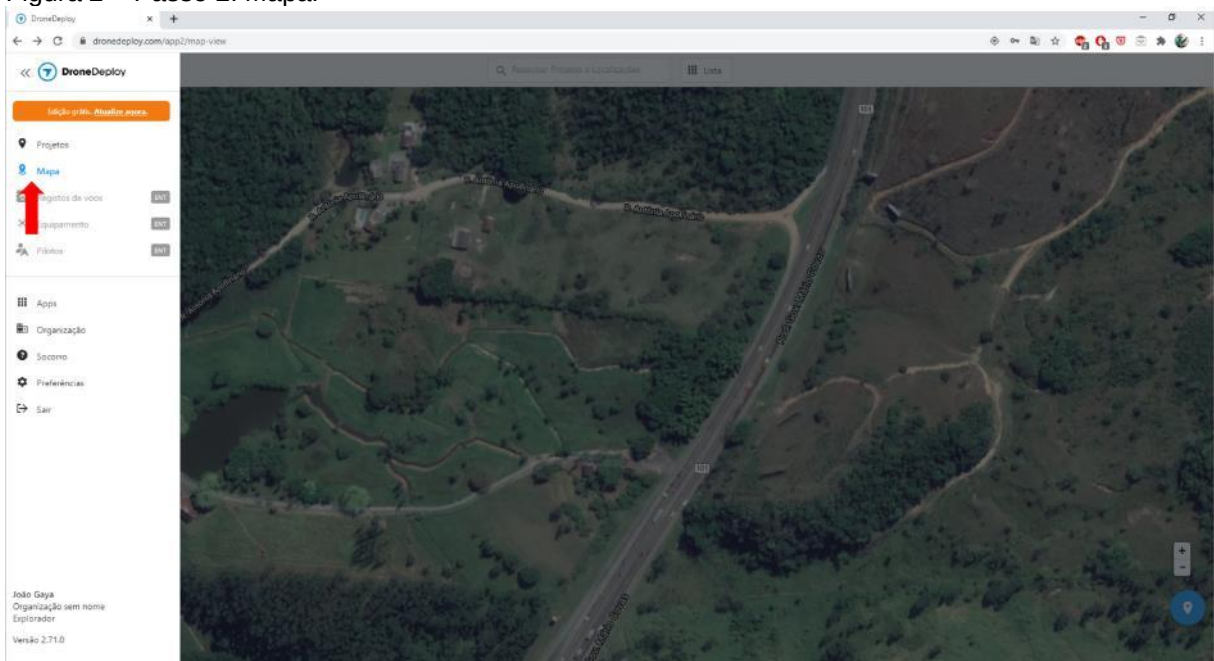
Primeiramente deve-se abrir uma conta no site, e preenchido um formulário, registrando um e-mail e uma senha de acesso. Depois de efetuado o login, deve-se clicar em “Menu” (Figuras 1 – Passo 1), e na sequência “Mapa” (Figura 2 – Passo 2).

FIGURA 1 – Passo 1: Menu.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 – Passo 2: Mapa.

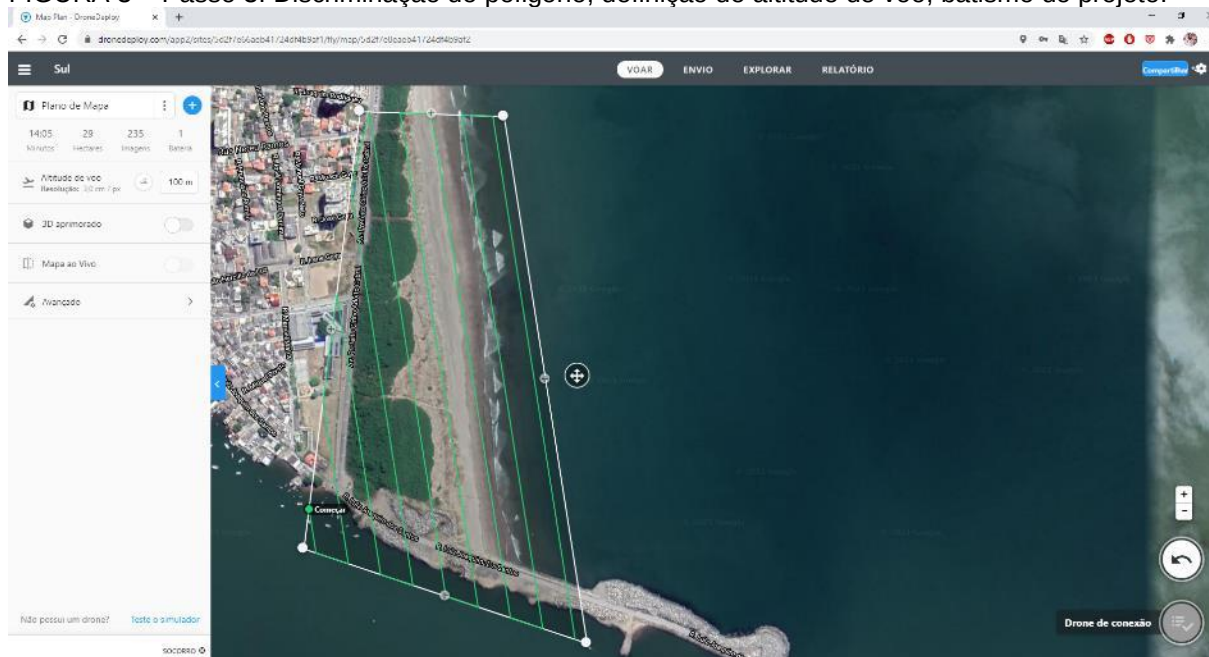


Fonte: Elaborado pelo autor.

Abrirá um polígono que deve ser arrastado para a área onde se pretende elaborar o plano de voo. A elaboração do plano de voo deve-se levar em consideração que para a geração da Ortoimagem há a necessidade de sobreposição lateral e frontal das imagens. Portanto, tanto a área frontal quanto lateral devem ser ampliadas para uma melhor definição das imagens no momento do processamento. Depois de

discriminado o polígono, deve-se definir a altitude do voo e nomear o projeto (Figura 3 – Passo 3), tomando o cuidado de salvar.

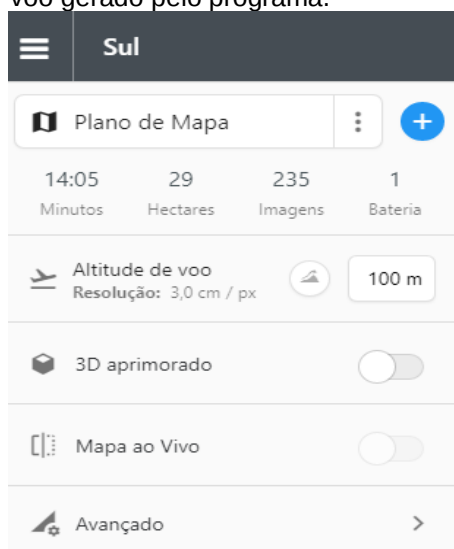
FIGURA 3 – Passo 3: Discriminação do polígono, definição de altitude de voo, batismo do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante uma visita prévia ao local para verificar a existência de morros, edifícios ou quaisquer outras estruturas que possam ser obstáculos para o VANT. Nesse caso em específico, a altitude do voo foi definida em 100 metros. O programa então desenvolve o trajeto do equipamento (linhas verdes). Estima o tempo de voo, a área coberta (em hectares), o número de imagens obtidas, a quantidade de baterias utilizadas e a resolução (cm/px), conforme detalhes apresentados na Figura 4 (Passo 3). De acordo com o detalhamento do voo gerado pelo programa, o voo na região Sul (Pontal), teve uma duração estimada em 14 minutos e 5 segundos, cobre uma área de 29 hectares, capta um total de 235 imagens e demanda de uma bateria. O voo foi realizado a uma altura de 100 metros, tendo uma resolução de 3 cm/px.

FIGURA 4 – Passo 3: Detalhamento do voo gerado pelo programa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

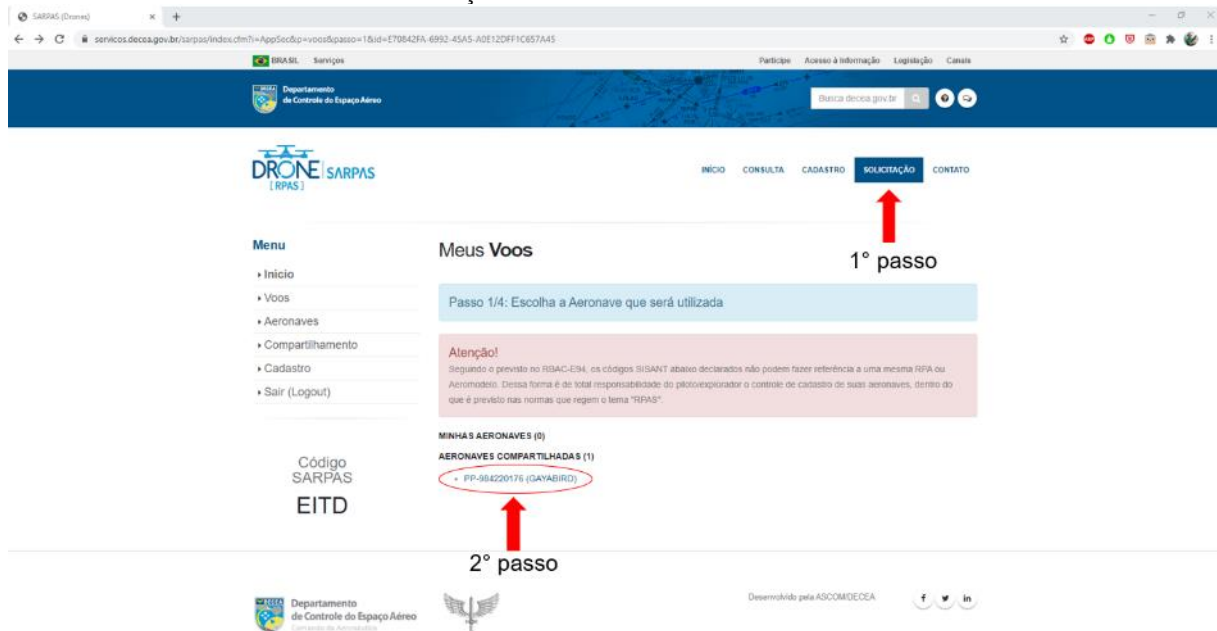
1.2 Autorização do voo

As autorizações de voo devem ser obtidas no Departamento de Controle de Espaço Aéreo no endereço:

<https://servicos.decea.gov.br/sarpas/?CFID=296cff3c-89cd-4563-9257-af295a9762ce&CFTOKEN=0&login=3642D56F-1EE7-4B54-8D61CD7CBAB2DCCD&msg=logout>

Da mesma forma, primeiramente deve-se abrir uma conta no site, e preenchido um formulário, registrando um e-mail e uma senha de acesso. Tanto o operador quanto o VANT deverão estar devidamente registrados junto à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Depois de efetuado o login, deve-se clicar em Solicitação (1º Passo), e na sequência no nome da aeronave (2º Passo), conforme demonstrado na Figura 5.

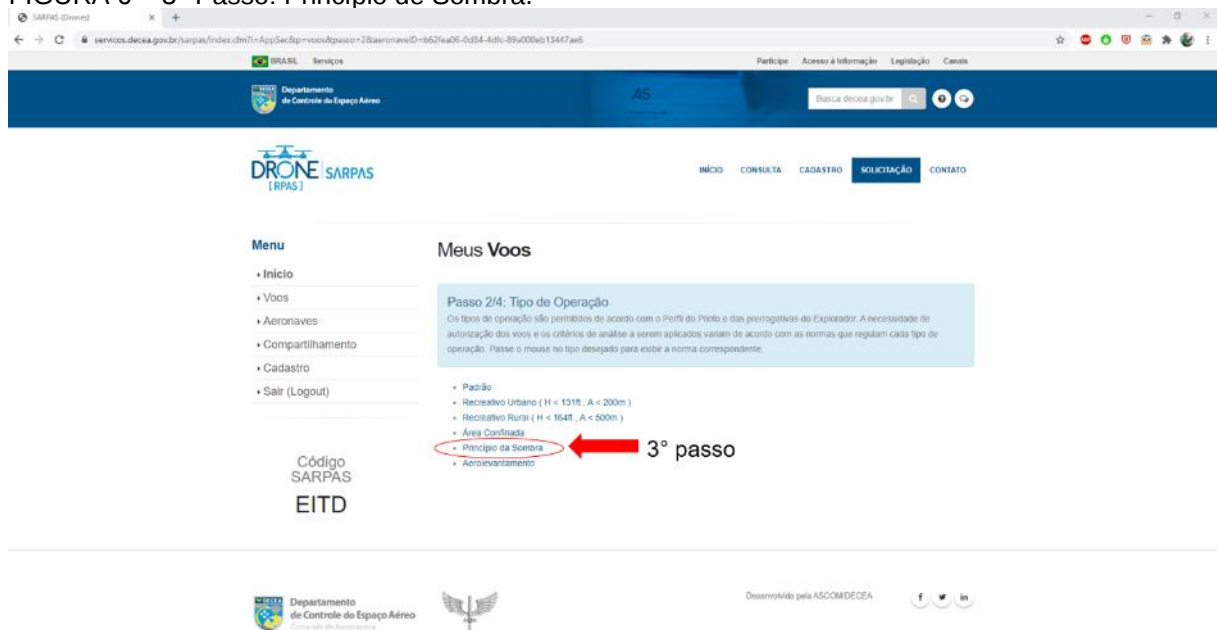
FIGURA 5 – 1º e 2º Passos da solicitação do voo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tela seguinte deve-se clicar no ícone Princípio de Sombra (Figura 6 – 3º Passo).

FIGURA 6 – 3º Passo: Princípio de Sombra.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tela seguinte deve-se informar a “Localização da Operação” com a definição do “ponto de decolagem”, que pode ser obtido através de um mapa (Figura 7 – 4º Passo).

FIGURA 7 – 4º Passo: Localização da Operação.

Meus Voos

Passo 3/4: Localização da Operação

Nesse passo você deve definir o local da Operação, que consiste no local exato de decolagem da aeronave. Caso já tenha as coordenadas, você pode preencher os campos latitude e longitude (no formato indicado pelo exemplo). O local exato será exibido no mapa e será necessário confirmar, clicando em "Definir ponto de decolagem", para passar para próxima etapa.

Caso não saiba as coordenadas, pode usar diretamente o mapa. Basta clicar no local exato da decolagem e confirmar. A caixa de busca na parte superior do mapa pode auxiliar.

Importante: Os círculos vermelhos indicam um raio de 3NM de um aeródromo. Nessas áreas o prazo de análise é no máximo de 2 dias (06h).

Latitude: Exemplo: -15.500162150387888 Longitude: Exemplo: -47.88116455078125 **Exibir no Mapa**

Código SARPAS: EITD

4º passo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tela seguinte deve-se preencher o formulário com as informações da operação, sendo um “Nome”, o “Tipo da Operação” – VLOS, a “Regra de Voo” – VFR (V), a “Janela de Operação”, definindo o “Início” e o “Fim” (dias), e a “Hora inicial da Janela” e a “Hora final da Janela”. É importante considerar alguns aspectos para a definição da hora, sobretudo com relação à iluminação natural (pouca incidência de iluminação natural prejudica a nitidez das imagens) e, dependendo da região e época do ano, uma maior incidência de vento ou propensão à chuva. Ventos de maior intensidade comprometem a durabilidade da bateria, o que pode afetar consideravelmente o tempo para a realização do levantamento. Os fabricantes da maioria dos VANTs não recomendam voos com chuva sob risco de danificar os equipamentos. Por isso se recomenda escolher uma janela de operação compreendida entre um ou dois dias, e início pela manhã e fim ao final da tarde. No ícone “Trajeto Requerido, clicar em “Área” e inserir um raio de 30 metros. Importante também definir a altura do voo, tentando-se à unidade de medida, neste caso pés (Figura 8). Considerando a medida do pé (0,3048 m), e a altura planejada para o voo (100 m), deve-se dividir a altura pela medida do pé ($100 \div 0,3048 = 329$ pés).

FIGURA 8 – 5º Passo: Dados da Operação.

Meus Voos

Passo 4/4: Preencha o formulário com os dados da operação.
Ao parar o ponteiro do mouse sobre os símbolos '?', aparecerá uma breve explicação sobre o campo.

Dados Básicos da Operação

Nome da Operação ? REGIÃO SUL Código SARPAS ? EITD Tipo de Operação ? VLOS Regra de Voo ? VFR (V)

Janela de Operação

Atenção! Os horários de operação devem seguir o horário oficial da aviação UTC-Zulu. Saiba mais

Início ? 15/07/2020 Fim ? 16/07/2020 Hora Inicial da Janela ? 08:00 Hora Final da Janela ? 17:00

Localização

Ponto de Decolagem ? -26.908983, -48.643266 Destino ? -26.908983, -48.643266

Trajeto Requerido: Área Corretor

Insira o RSO em metros ? 30 Altura/Altitude ? Altura Valor da Altura/Tij(Altitude(Ti)) ? 329

Documentação Requerida ? Escolher arquivo Nenhum arquivo selecionado

Menu

- Início
- Voos
- Aeronaves
- Compartilhamento
- Cadastro
- Sair (Logout)

Código SARPAS
EITD

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência preencher as formas de “Comunicações”, tanto “Com órgão ATS” quanto “Entre o Piloto Remoto e Observador da RPA”, sendo que em ambos deve ser selecionada a opção “TELEFONIA CELULAR” (Figura 9).

FIGURA 9 – 6º Passo: Formas de Comunicações.

Meus Voos

Comunicações

Cód. de Chamada ? RPA-EITD-75 Com órgão ATS ? TELEFONIA CELULAR Entre o Piloto Remoto e Observador da RPA ? TELEFONIA CELULAR

RPS ?

RPS	Nome	Latitude	Longitude	Telefone
RPS 1	JOÃO PAULO GAYA	-26.908983	-48.643266	(47) 98422-0175
RPS 2				
RPS 3				

Observações

Descrição da Operação ?

Menu

- Início
- Voos
- Aeronaves
- Compartilhamento
- Cadastro
- Sair (Logout)

Código SARPAS
EITD

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tela abrirá a “Declaração de Ciência”, devendo ser informada a distância do aeródromo mais próximo; que o voo irá ocorrer fora das zonas de aproximação e decolagem de aeródromos cadastrados; dos meios de contato com os Órgãos ATS/ATC; as normas que se aplicam à operação; da necessidade de cumprir a Legislação em vigor com relação à iluminação da aeronave e equipamentos de

comunicação; bem como verificação do status da operação ANTES de iniciá-la. Todas as opções devem ser assinaladas e na sequência clicar no ícone “Enviar Solicitação”, conforme demonstrado na Figura 10.

FIGURA 10 – 7º Passo: Declaração de ciência e enviar solicitação.

Descrição de Operação 7

Menu

- Início
- Voos
- Aeronaves
- Compartilhamento
- Cadastro
- Sair (Logout)

Código SARPAS EITD

Declaração de Ciência

- ☒ Declaro estar ciente que minha operação ocorrerá a **2.45KM de distância do aeródromo SBHF**
- ☒ Declaro que minha operação vai ocorrer fora da Zonas de Aproximação e Decolagem de Aeródromos cadastrados, de acordo com a legislação, exceto se expressamente autorizado.
- ☒ Declaro estar ciente dos meios de contato com os Órgãos ATIS/ATC, necessários à minha operação.
- ☒ Declaro estar ciente das Normas que se aplicam à minha operação e que estou de acordo com as mesmas.
- ☒ Declaro estar ciente da necessidade de cumprir a Legislação em vigor em termos de utilização de Luzes da Aeronave e Equipamentos de Comunicação.
- ☒ Declaro estar ciente de que deve ser verificado o status da minha operação **ANTES** de iniciá-la, a fim de verificar se a mesma não foi cancelada por motivos operacionais.

Enviar Solicitação

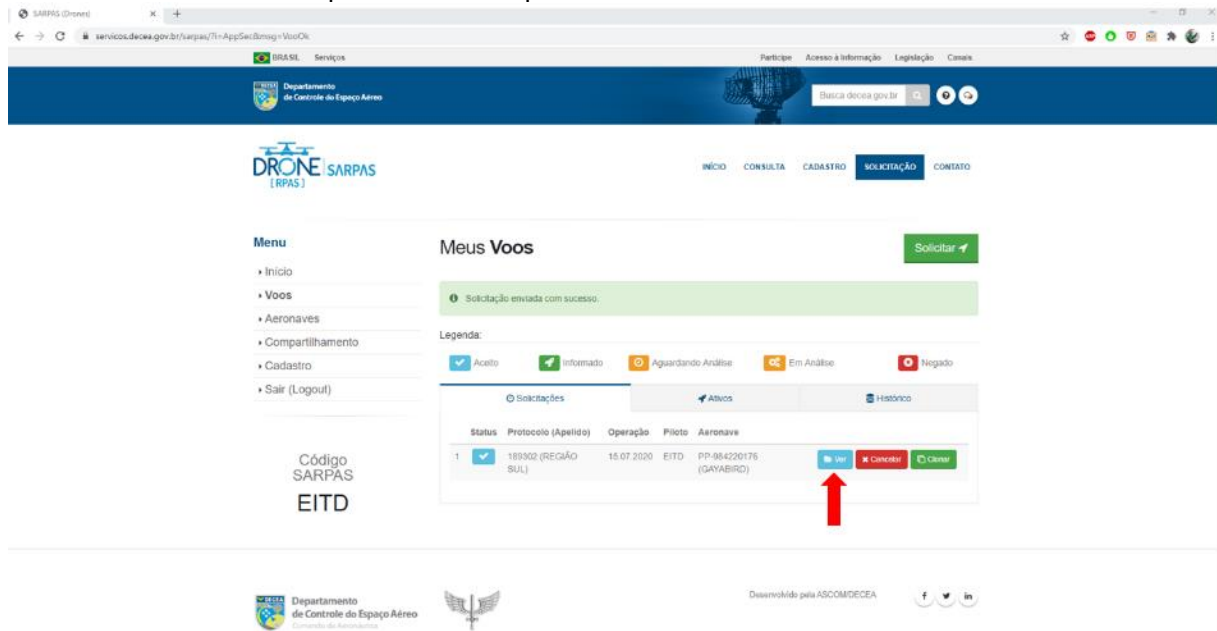
Departamento de Controle do Espaço Aéreo
Comando de Aeronáutica

Desenvolvido pela ASCOMDECEA

Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois de conferidas as informações, o sistema emite a autorização de voo. Ao clicar no ícone “Ver” (Figura 11), o sistema abre os detalhes do voo (Figura 12). É importante que o operador leve impresso uma cópia da autorização, e que esteja sempre de posse dos documentos de registro do VANT e seus documentos de identificação.

FIGURA 11 – 8º Passo: Imprimindo o voo aprovado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 12 – Detalhes do voo aprovado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.3 Execução do voo

Depois de elaborado o plano de voo e ter obtido a autorização junto ao DCEA, é hora da sua execução. Estando no local previsto para a decolagem, deve-se primeiramente observar as condições do tempo, sobretudo com relação à ventos fortes, possibilidade de chuva e nevoeiro. Estando as condições adequadas, é possível executar o voo, conforme procedimento a seguir:

- 1) Montar a pista de pouso (Figura 13). Caso o operador não possua uma pista de pouso própria, sugere-se que se estenda um pano ou plástico para evitar que partículas sejam suspensas nos momentos de decolagem e pouso. Essas partículas podem danificar o equipamento.

FIGURA 13 – Montagem da pista de pouso. A) Pista na embalagem de transporte. B) Pista de pouso dobrada junto com os ganchos de fixação. C) Pista de pouso montada e fixada ao solo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- 2) Retirar o VANT da embalagem de transporte e fazer a sua montagem (Figura 14). Inicialmente deve-se fazer a instalação das hélices. Notar que o equipamento possui dois pares de hélices com detalhes em cores diferentes. Os suportes de montagem também têm cores diferentes. As hélices devem ser montadas nos suportes com detalhes da mesma cor.

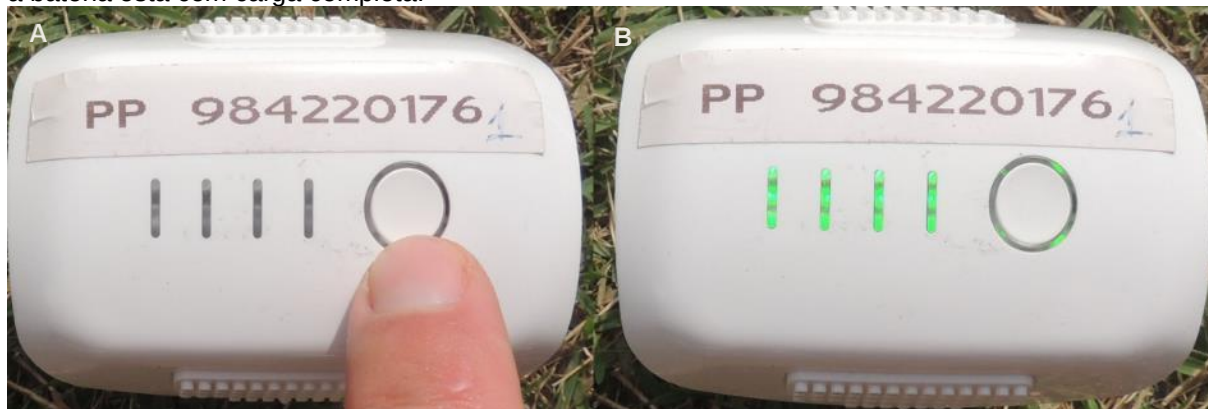
FIGURA 14 – Montagem do equipamento. A) VANT na embalagem de transporte. B) VANT fora da embalagem. C) Dois pares de hélices. D) Hélice com detalhe preto e suporte com detalhes (círculos) pretos. E) Hélice com detalhe prata e suporte branco, sem detalhes. F) VANT com as hélices instaladas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- 3) Verificar a carga da bateria (Figura 15), apertando rapidamente o botão de “ligar”, e observar as luzes que se acendem indicando o nível de carga da bateria. É sempre recomendado que a bateria esteja com a sua carga completa para a realização de voos. Isso permite uma maior autonomia, e por consequência, um melhor aproveitamento do voo.

FIGURA 15 – Checagem da carga da bateria. A) Apertar o botão “ligar”. B) Luzes acesas indicam que a bateria está com carga completa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- 4) Instalar a bateria no VANT (Figura 16). A bateria deve ser instalada desligada no VANT, devendo-se fazer uma verificação se está devidamente encaixada no local adequado.

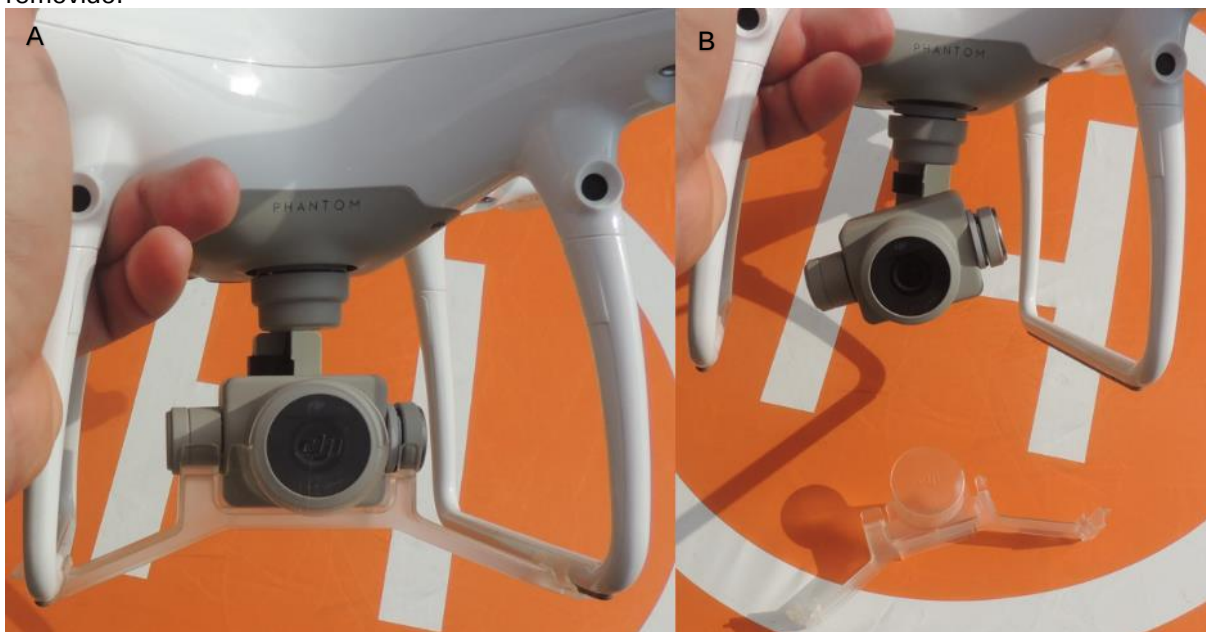
FIGURA 16 – Instalação da bateria no VANT. A) Local onde deve ser feita a instalação (encaixe). B) Bateria devidamente instalada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- 5) Remover o protetor (trava) do gimbal (Figura 17). O gimbal é o suporte onde fica instalado o sensor (câmera) do VANT. O protetor é uma peça acrílica transparente que deve ser removida antes de ligar o VANT sob pena de provocar danos ao mecanismo do gimbal e à câmera.

FIGURA 17 – Remoção do protetor (trava) do gimbal. A) Câmera e gimbal com o protetor. B) Protetor removido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- 6) Ligar o controle remoto (Figura 18) e verificar a sua carga através das luzes acesas. A exemplo da bateria, é sempre importante que a carga do controle esteja completa.

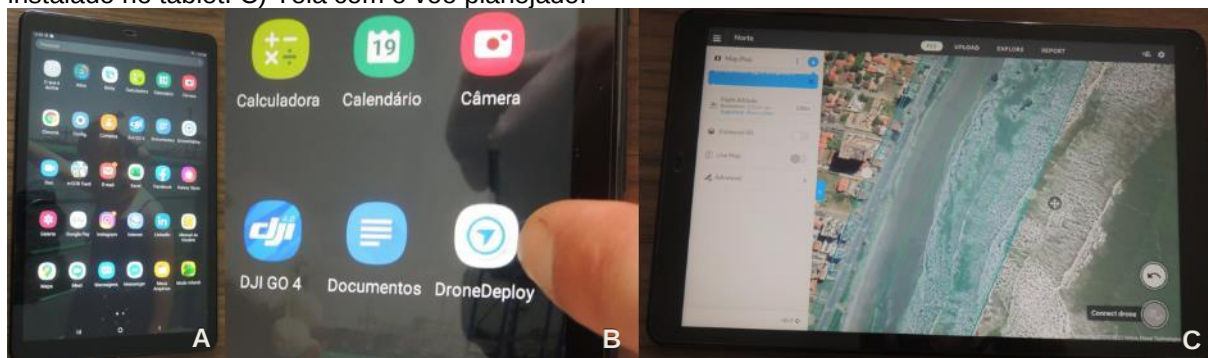
Figura 18 – Ligação do controle remoto. A) Pressionar por alguns segundos o botão “ligar/desligar”. B) Controle remoto ligado, com as luzes mostrando a carga completa da bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- 7) Acessar o aplicativo DroneDeploy (Figura 19) ou site, clicando no voo planejado. O acesso pode ser feito via celular ou tablet conectados à internet.

FIGURA 19 – Acesso ao aplicativo DroneDeploy e ao voo planejado. A) Tablet. B) Seleção do aplicativo instalado no tablet. C) Tela com o voo planejado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- 8) Conectar o tablet ou celular ao controle remoto (Figura 20), através de um cabo USB. Automaticamente o aplicativo irá perguntar se “aceita a conexão”. Após aceitação, o aplicativo se comunicará com o equipamento e deve-se clicar em “checklist do voo”. Concluído o checklist, basta clicar no botão “Iniciar voo”, que o equipamento decola e inicia o levantamento, realizando o voo planejado.

FIGURA 20 – Conexão do tablet com o controle remoto. A) Conexão via cabo USB. B) Clicar no botão “iniciar o checklist” do voo. C) Checklist concluído. D) Clicar no botão “Iniciar o voo”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o voo é possível verificar a localização do VANT na tela do tablet ou celular. Recomenda-se, no entanto, que o monitoramento visual da localização deve ser também realizado, tomando sempre o cuidado com o trajeto a ser percorrido. Ao concluir o voo, o VANT retorna sozinho ao local de decolagem. Nesse momento o VANT emite um aviso sonoro pelo controle remoto, indicando que está aterrissando. A aterrissagem pode também ser realizada manualmente pelo operador.

Após o VANT pousar, o seu desligamento é automático. Somente após a parada completa das hélices deve-se tocar no VANT. Recomenda-se primeiro retirar as hélices; na sequência a bateria; e, por fim, recolocar o protetor do gimbal. Não é recomendado guardar o VANT com a bateria. Recomenda-se que as baterias sejam armazenadas em embalagens antichamas apropriada (Figura 21). O VANT deve então ser disposto em sua embalagem, e a pista de pouso deve ser desmontada e guardada.

FIGURA 21 – Embalagem antichama própria para o armazenamento de baterias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em casos de levantamentos onde os voos têm duração superior a 20 minutos, serão usadas duas ou mais baterias. Quando a carga atinge 25% da sua capacidade de carga, o VANT retorna automaticamente para o ponto de decolagem para a troca de baterias. Após a troca e religamento do VANT, o aplicativo irá perguntar se deve

ser “reiniciado o levantamento”, devendo-se responder afirmativamente. O VANT decola novamente e reinicia o levantamento do ponto onde parou. Todo o procedimento restante é o mesmo já descrito.

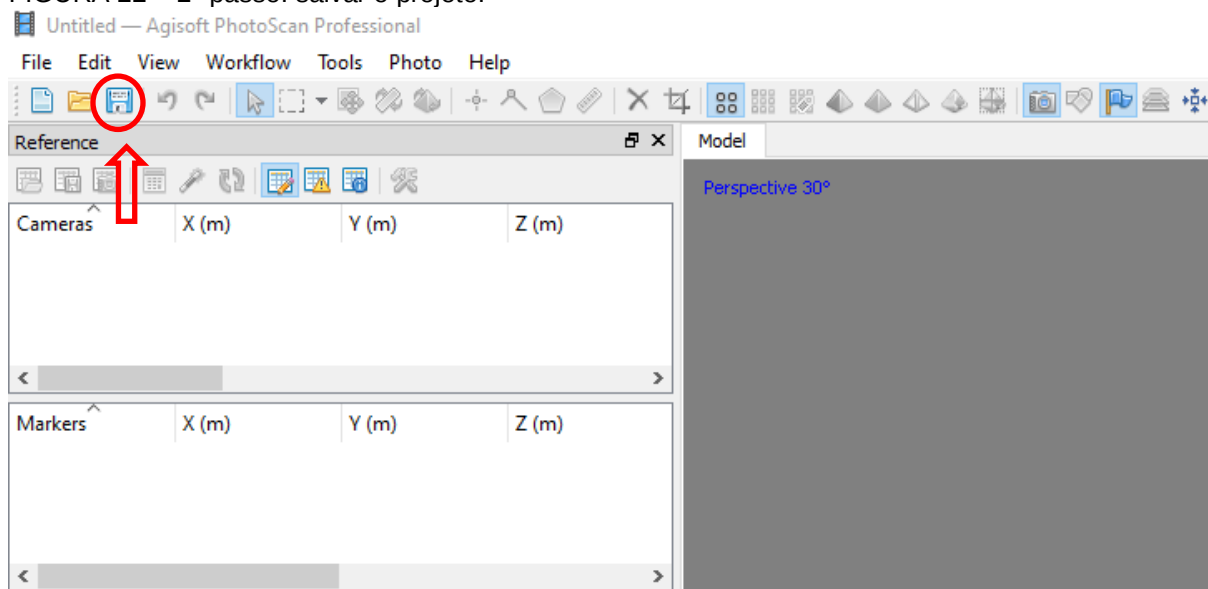
1.4 Processamento do voo

Concluído o voo, o primeiro procedimento a ser adotado é descarregar (baixar) as fotos do levantamento. Isso pode ser feito conectando o VANT diretamente ao computador através de um cabo USB, ou removendo o seu cartão de memória e inserindo em um leitor também no computador. Recomenda-se a criação de uma pasta com o nome do levantamento e descarregar as imagens de cada levantamento na sua respectiva pasta. Realizar o processamento no software Agisoft PhotoScan, conforme é apresentado a seguir:

1º Passo: abrir o programa selecionando o mesmo no desktop do seu computador.

2º Passo: salvar o projeto clicando no ícone salvar (SAVE), colocando o nome e alocando no diretório desejado para o projeto em seu computador, conforme demonstrado na Figura 22.

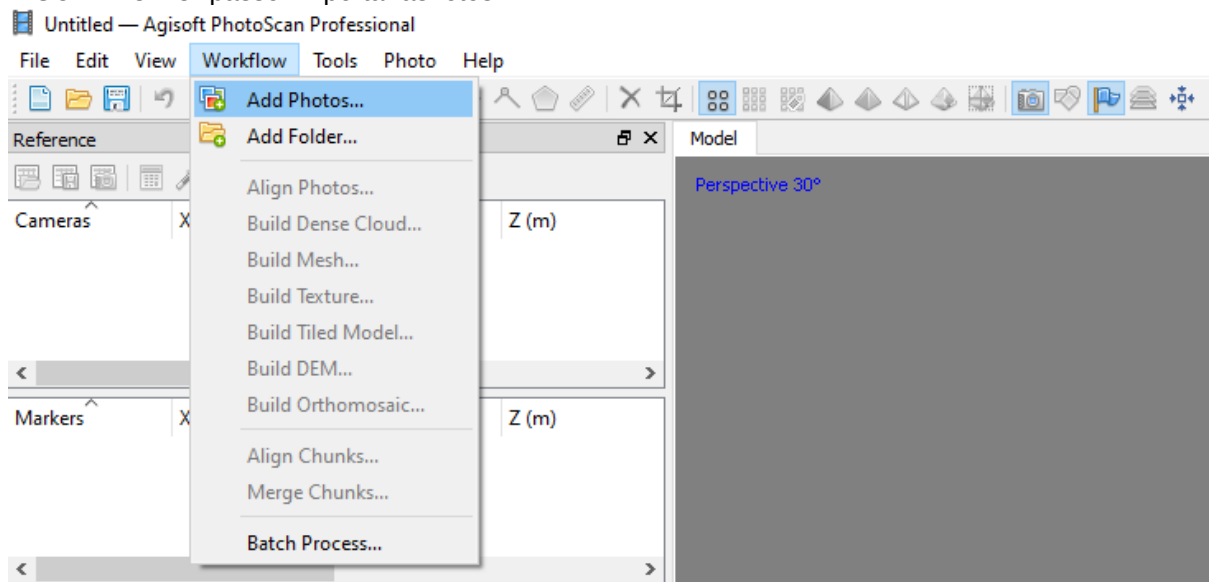
FIGURA 22 – 2º passo: salvar o projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3º Passo: importar as fotos do levantamento (Figura 23) clicando na guia “WORKFLOW” (fluxo de trabalho nas versões em português), em seguida clicar no comando “Add Photos” (adicionar fotos).

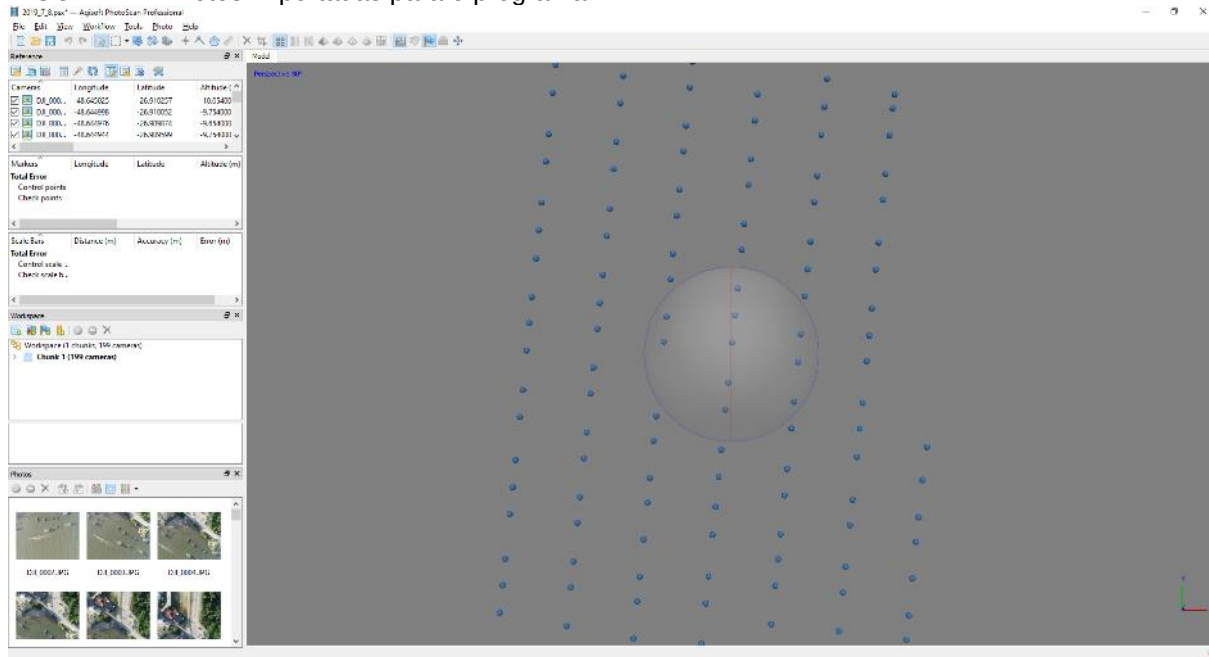
FIGURA 23 – 3º passo: importar as fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após clicar na guia para adicionar as fotos, deve-se selecionar todas as fotos do levantamento. A tela do programa aparecerá conforme demonstrado na Figura 24.

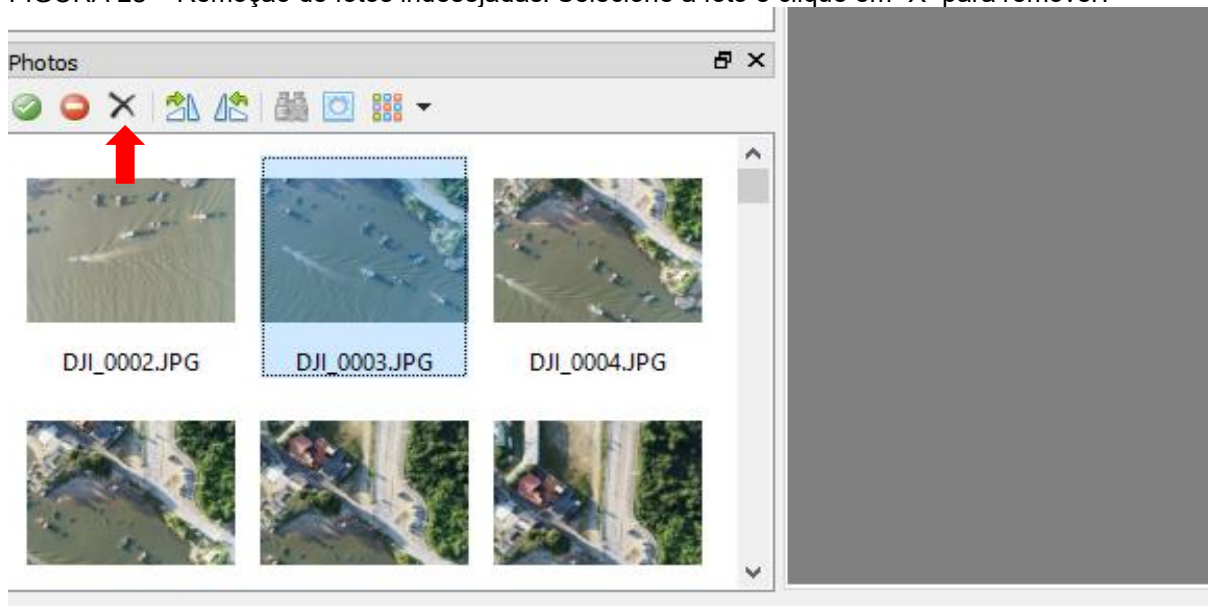
FIGURA 24 – Fotos importadas para o programa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fotos indesejadas podem ser removidas na guia “Photos”, localizada na aba esquerda inferior do programa (Figura 25).

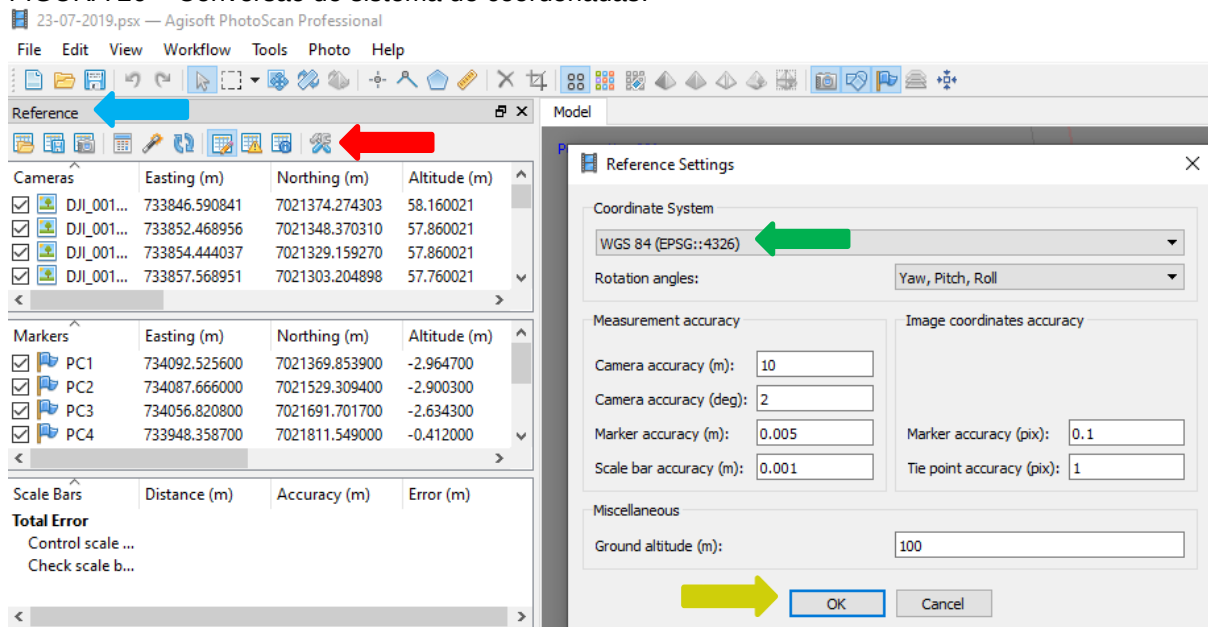
FIGURA 25 – Remoção de fotos indesejadas. Selecione a foto e clique em “X” para remover.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4º Passo: Conversão do sistema de coordenadas clicando primeiramente na aba “Reference” (seta azul), em seguida no ícone “seetings” (seta vermelha), verificando se o sistema está em WGS84 (seta verde), e clicar em OK (seta amarela), conforme demonstrado na Figura 26.

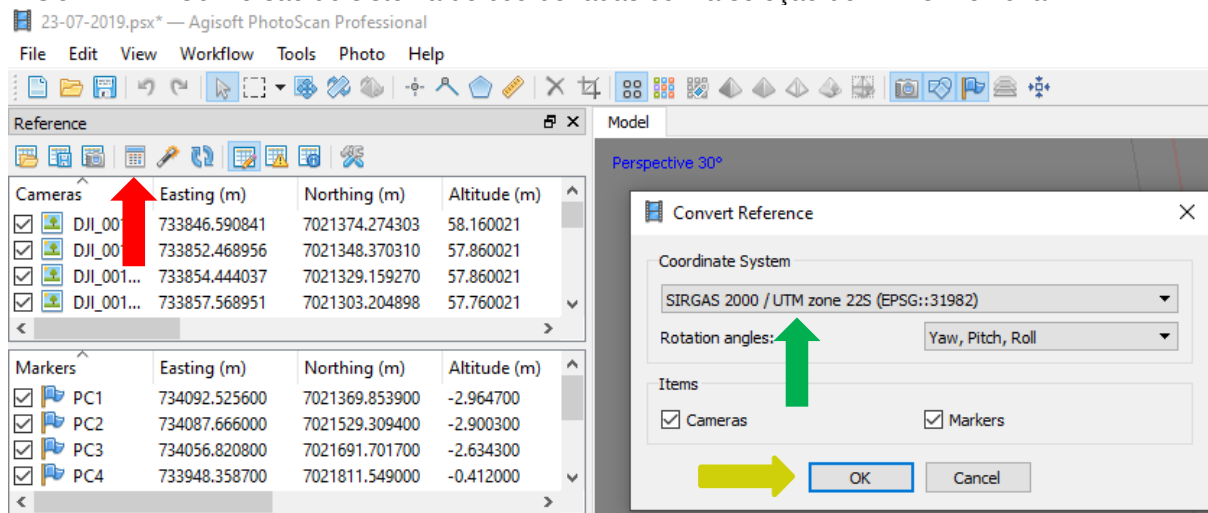
FIGURA 26 – Conversão do sistema de coordenadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo em seguida, clicar no ícone “Convert” (seta vermelha). Na caixa “Convert Reference”, escolher o sistema de coordenadas (DATUM) da sua região (SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)) para a região litorânea de Santa Catarina (seta verde). Clicar em “OK” (seta amarela) após a seleção do DATUM e zona, conforme demonstrado na Figura 27.

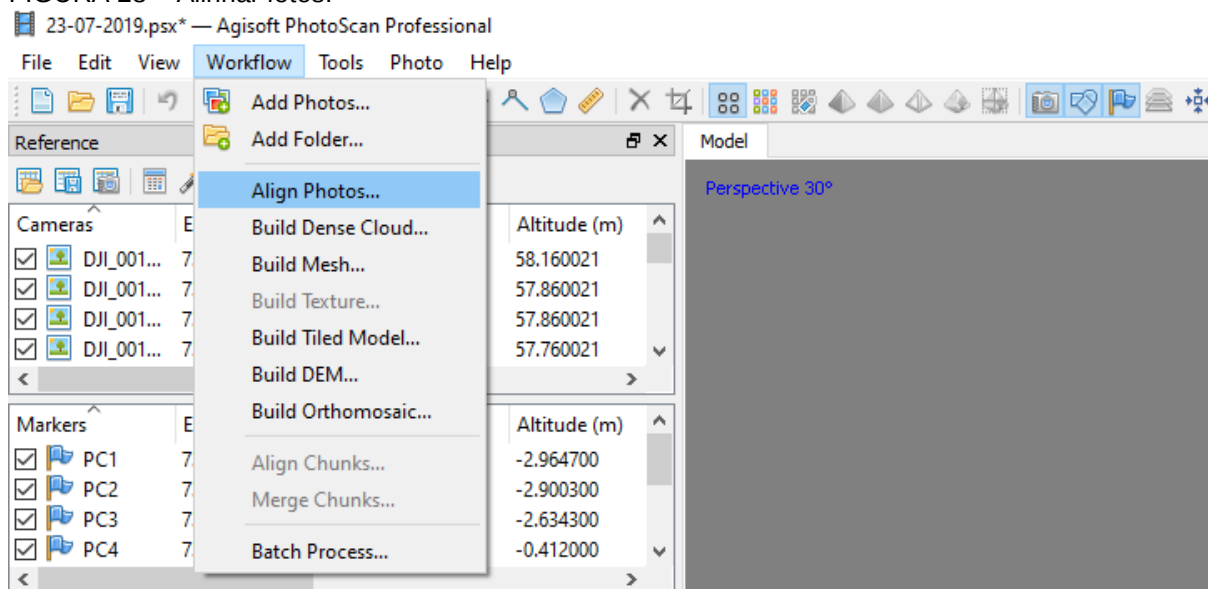
FIGURA 27 – Conversão do sistema de coordenadas com a seleção do DATUM e zona.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5º Passo: Alinhar fotos clicando na aba “WORKFLOW” (fluxo de trabalho) e em seguida “Align Photos” (alinhar fotos), conforme demonstrado na Figura 28.

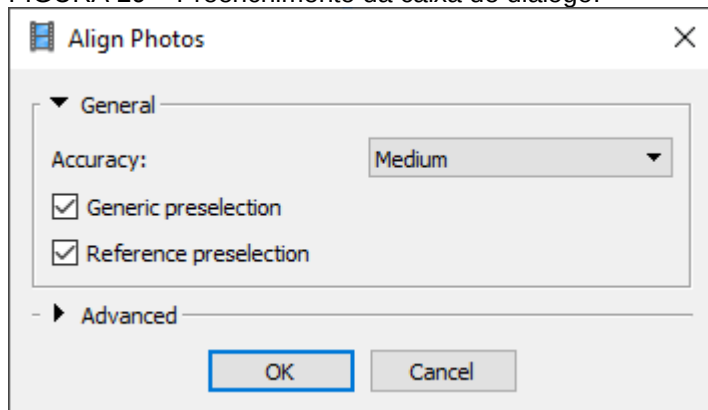
FIGURA 28 – Alinhar fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A caixa de diálogo deve ser preenchida conforme demonstrado na Figura 29, e na sequência deve-se clicar em “OK”, e o programa iniciará o processamento.

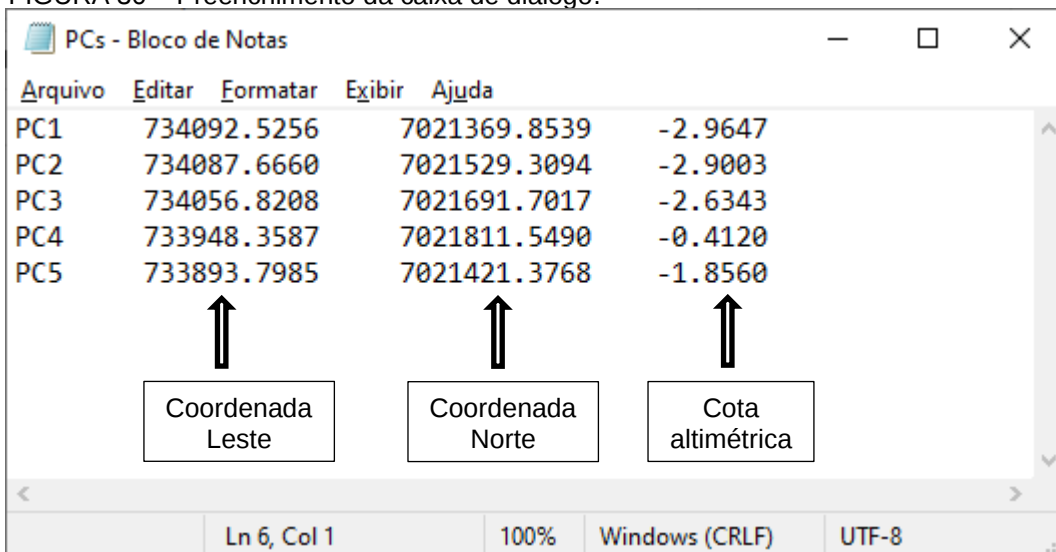
FIGURA 29 – Preenchimento da caixa de diálogo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6º Converter os pontos de controle em arquivo de texto. Os pontos de controle são pontos materializados no campo, devidamente registrados com apoio de GPS/GNSS, estação total ou outro tipo de referência. Os resultados dos levantamentos desses pontos de controle devem ser salvos em um bloco de notas (formato .txt) seguindo a configuração apresentada na Figura 30.

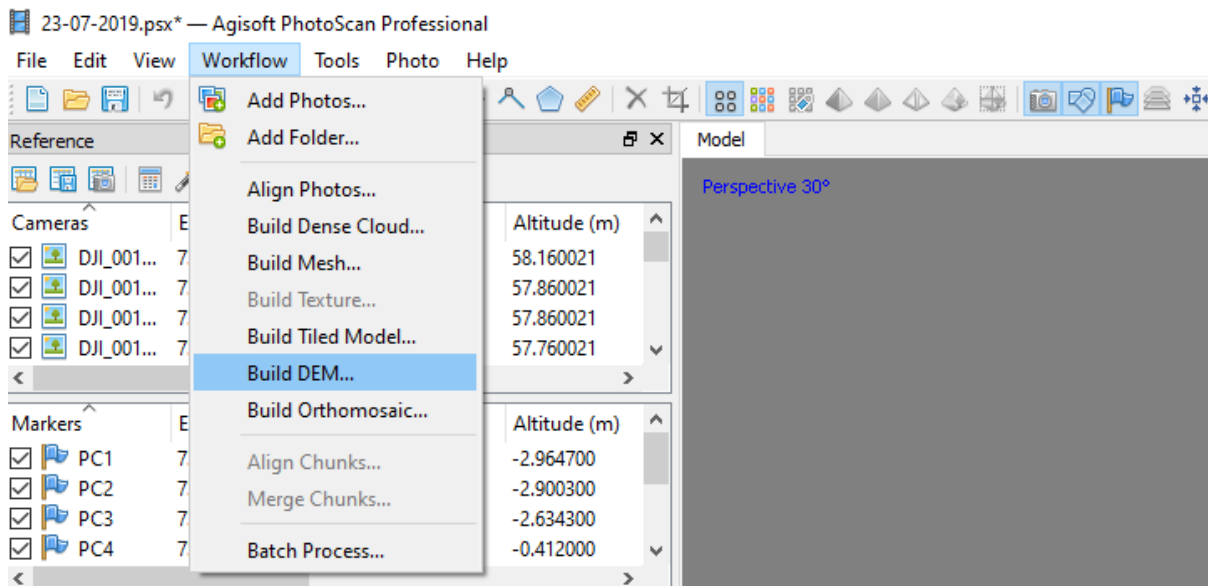
FIGURA 30 – Preenchimento da caixa de diálogo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

7º Passo: Gerar DEM por meio da guia “WORKFLOW” (fluxo de trabalho) e em seguida o comando “Build DEM” (construir DEM), conforme demonstrado na Figura 31.

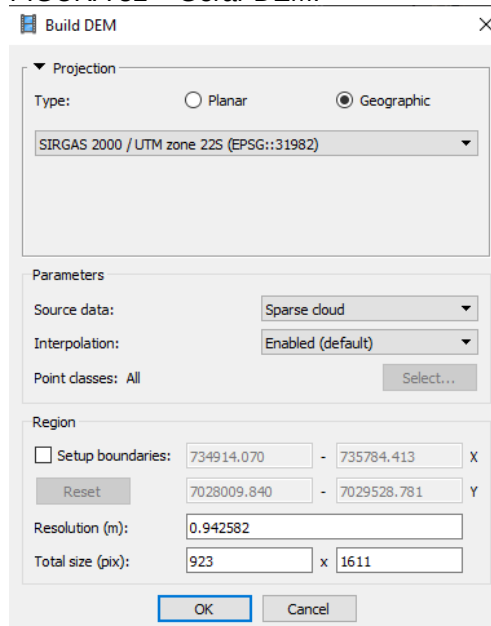
FIGURA 31 – Gerar DEM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após abrir uma caixa de comando (Figura 32), observar o DATUM, verificando se representa o mesmo selecionado no 4º Passo, e na sequência clicar em “OK”.

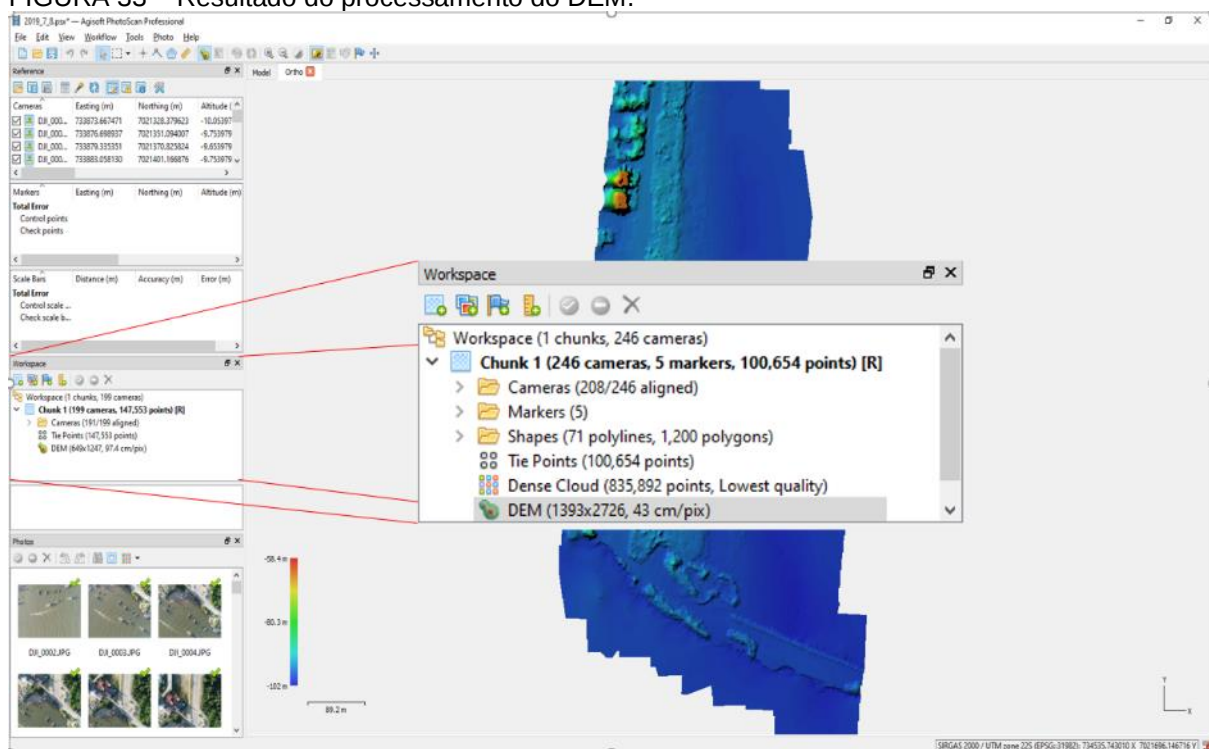
FIGURA 32 – Gerar DEM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado do processamento do DEM aparecerá na guia “Workspace” (área de trabalho) localizado no lado esquerdo da tela do software, conforme demonstrado na Figura 33.

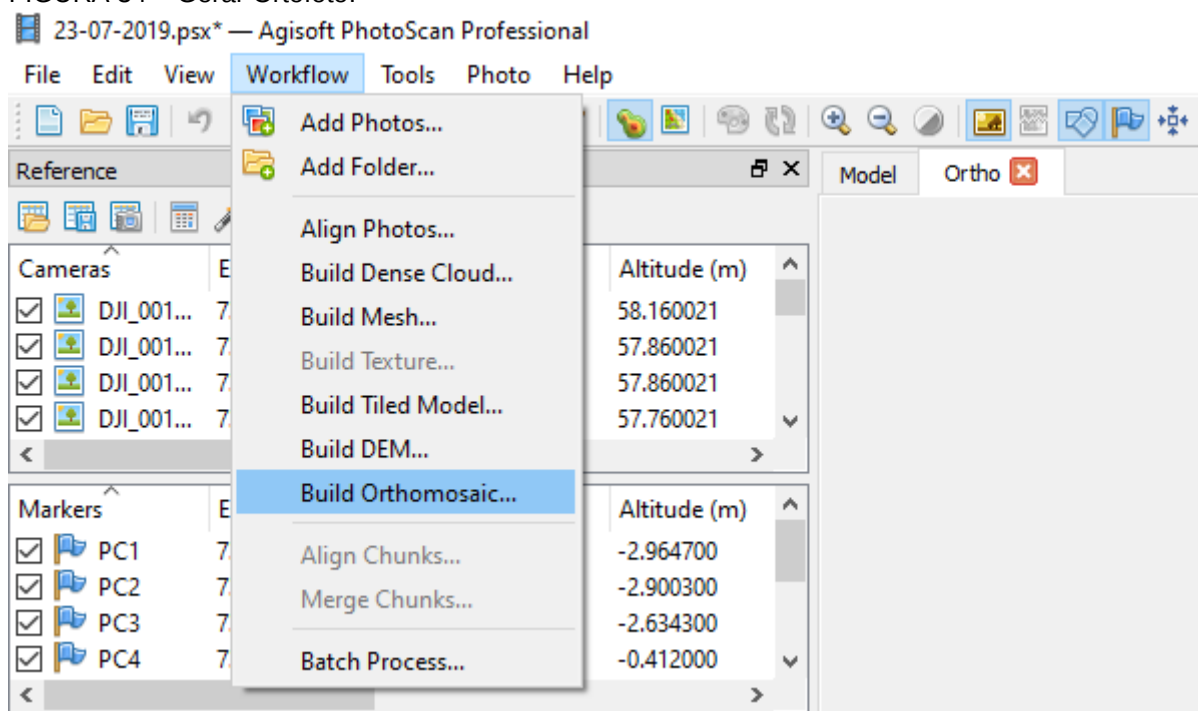
FIGURA 33 – Resultado do processamento do DEM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

8º Passo: Gerar ORTOFOTO por meio da guia “WORKFLOW” e em seguida no comando “Build Orthomosaic”, conforme demonstrado na Figura 34.

FIGURA 34 – Gerar Ortofoto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência, abrirá uma guia conforme demonstrado na Figura 35. Observar se todos os campos estão conforme indicados na Figura.

FIGURA 35 – Gerar DEM.

Build Orthomosaic

Projection

Type: ☐ Planar ☒ Geographic

SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Parameters

Surface: DEM

Blending mode: Mosaic (default)

☐ Enable color correction

☒ Enable hole filling

☒ Pixel size (m): 0.0293175 X

Metres... 0.0293175 Y

☐ Max. dimension (pix): 4096

Region

☐ Setup boundaries: X

Estimate Y

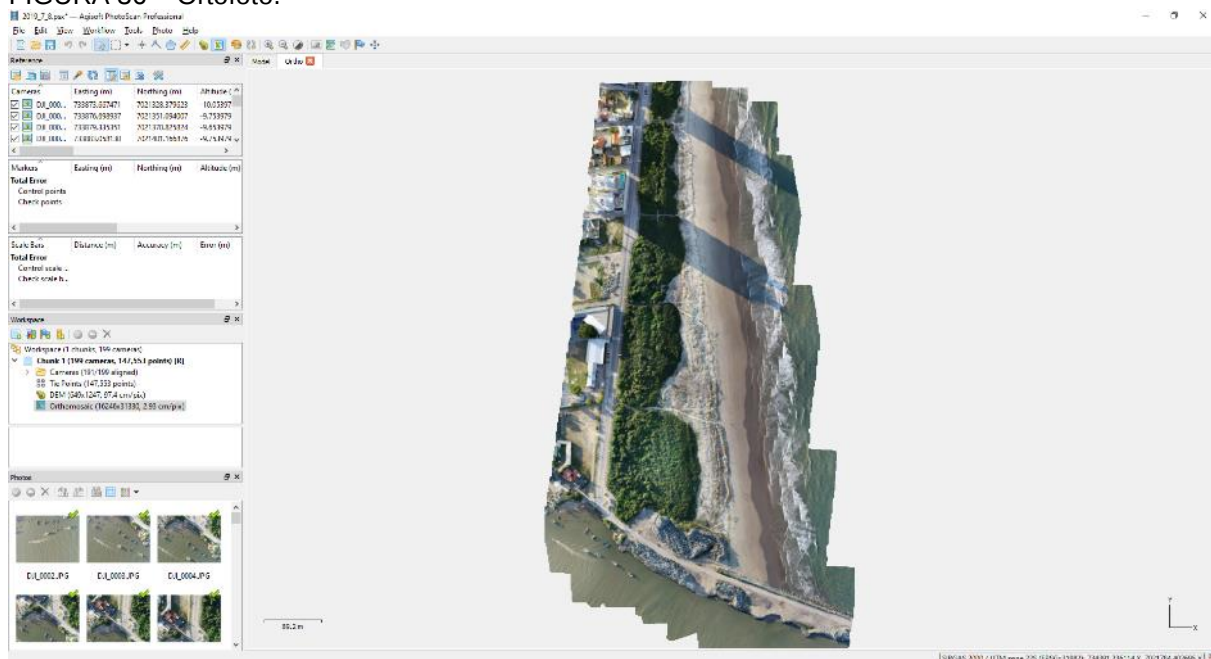
Total size (pix): x

OK Cancel

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado do processamento da ortofoto estará disponível na guia lateral da tela do software (Workspace) conforme mostrado na Figura 36.

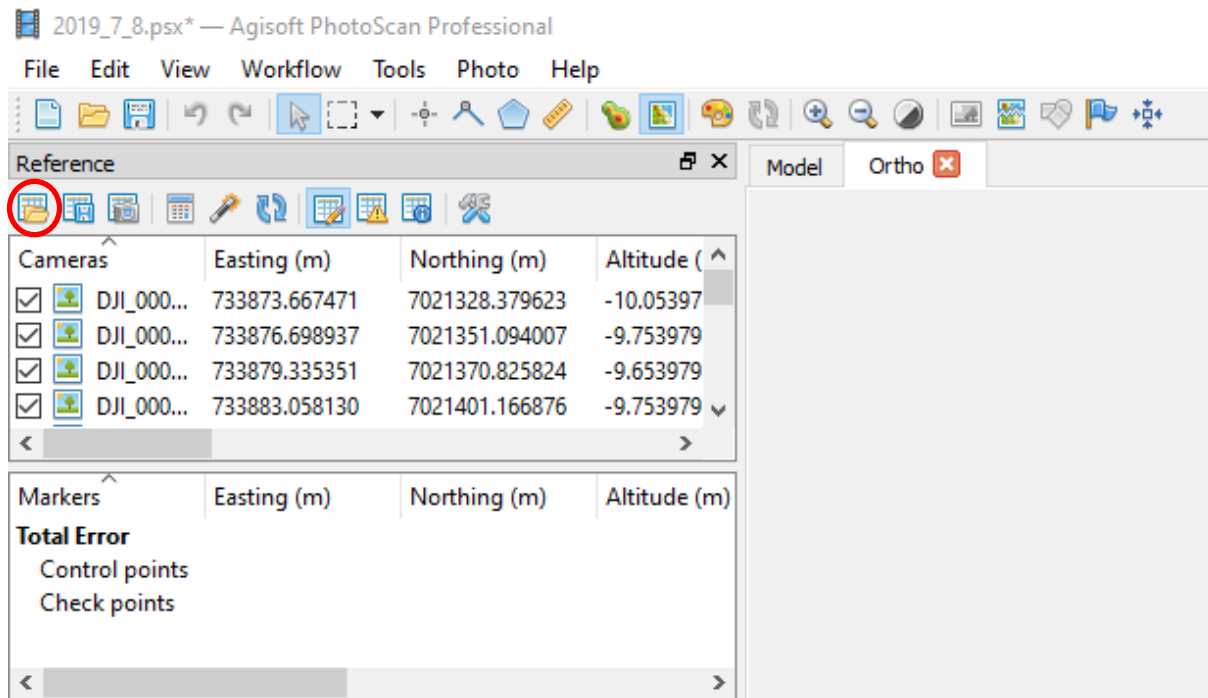
FIGURA 36 – Ortofoto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

9º Importar os pontos de controle. Clicar na guia “Reference” (Figura 37).

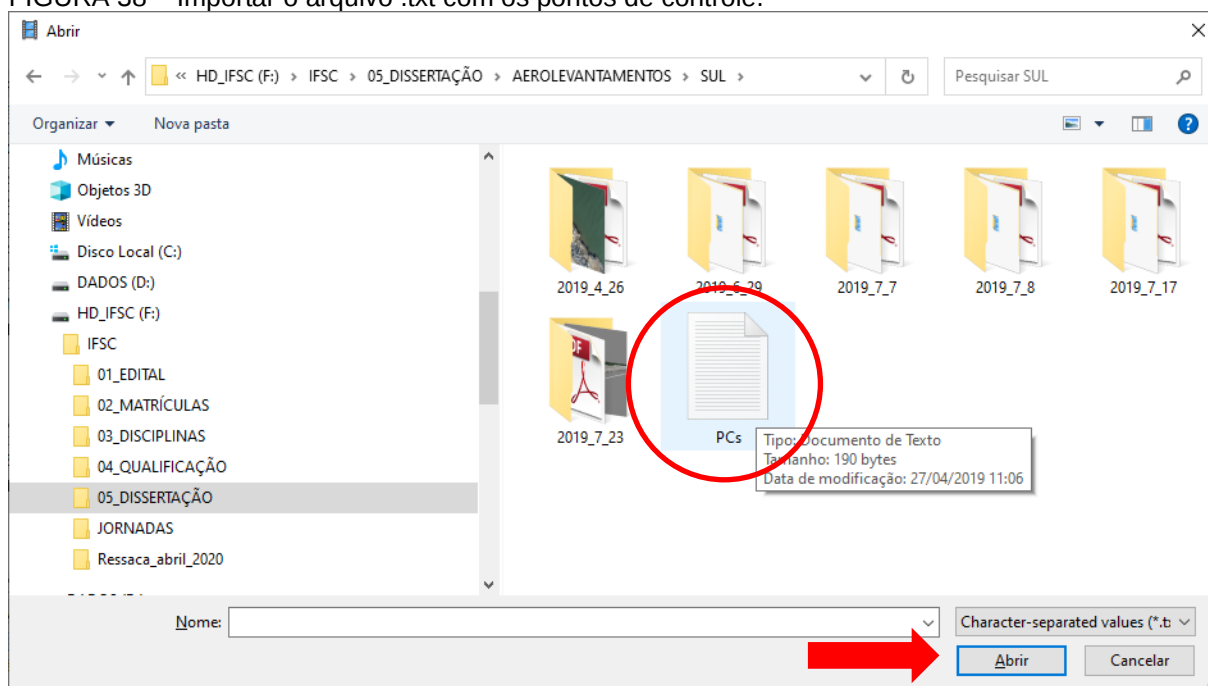
FIGURA 37 – Guia “Reference”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao clicar no ícone “Import” (importar – detalhe da Figura 37), abrirá a caixa de diálogo, devendo-se selecionar o arquivo .txt na pasta onde esse está salvo, conforme demonstrado na Figura 38.

FIGURA 38 – Importar o arquivo .txt com os pontos de controle.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Basta selecionar o arquivo “PCs” e dar o comando “Abrir”. Em seguida surgirá a caixa de diálogo apresentada na Figura 39, e clicar em “OK”.

FIGURA 39 – Caixa de diálogo de importação dos pontos de controle.

Import CSV

Coordinate System
SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

Delimiter
☒ Tab
☐ Semicolon
☐ Comma
☐ Space
☐ Other:
☐ Combine consecutive delimiters

Columns
 Label: 1 ☐ Accuracy ☒ Rotation ☐ Accuracy
 Easting: 2 ☐ Accuracy Yaw: 5 ☐ Accuracy
 Northing: 3 ☐ Accuracy Pitch: 6 ☐ Accuracy
 Altitude: 4 ☐ Accuracy Roll: 7 ☐ Accuracy
☐ Enabled flag: 10 ☐ Accuracy

Start import at row: 1

Label	Easting	Northing	Altitude	Yaw	Pitch	Roll
PC1	734092.5256	7021369.8539	-2.9647			
PC2	734087.6660	7021529.3094	-2.9003			
PC3	734056.8208	7021691.7017	-2.6343			
PC4	733948.3587	7021811.5490	-0.4120			
PC5	733893.7985	7021421.3768	-1.8560			

OK Cancel

Fonte: Elaborado pelo autor.

O programa exibirá a caixa de opções a seguir, devendo-se clicar na opção “Yes to All” (sim para todos), conforme demonstrado na Figura 40.

FIGURA 40 – Detalhes da importação dos pontos de controle.

Agisoft PhotoScan

Can't find match for 'PC1' entry. Create new marker?

Yes Yes to All No No to All

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após esse processo aparecerão “bandeirinhas” azuis como mostrado na Figura 41, indicando que os pontos de controle estão sobre o levantamento.

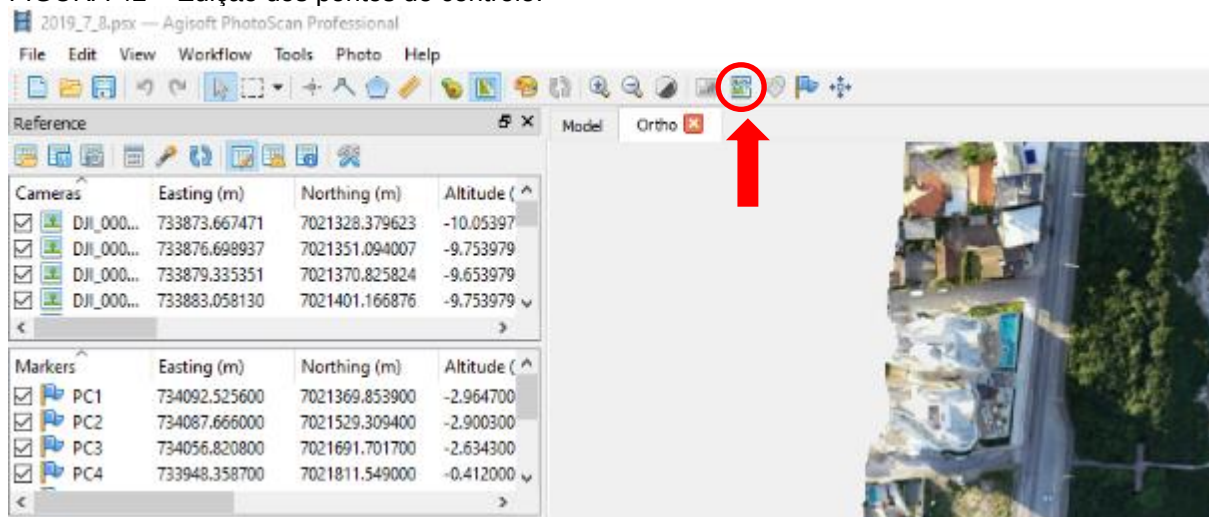
FIGURA 41 – Pontos de controle sobre o levantamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

10º Editar os pontos de controle. Clicar no ícone “Show Seamlines” conforme demonstrado na Figura 42.

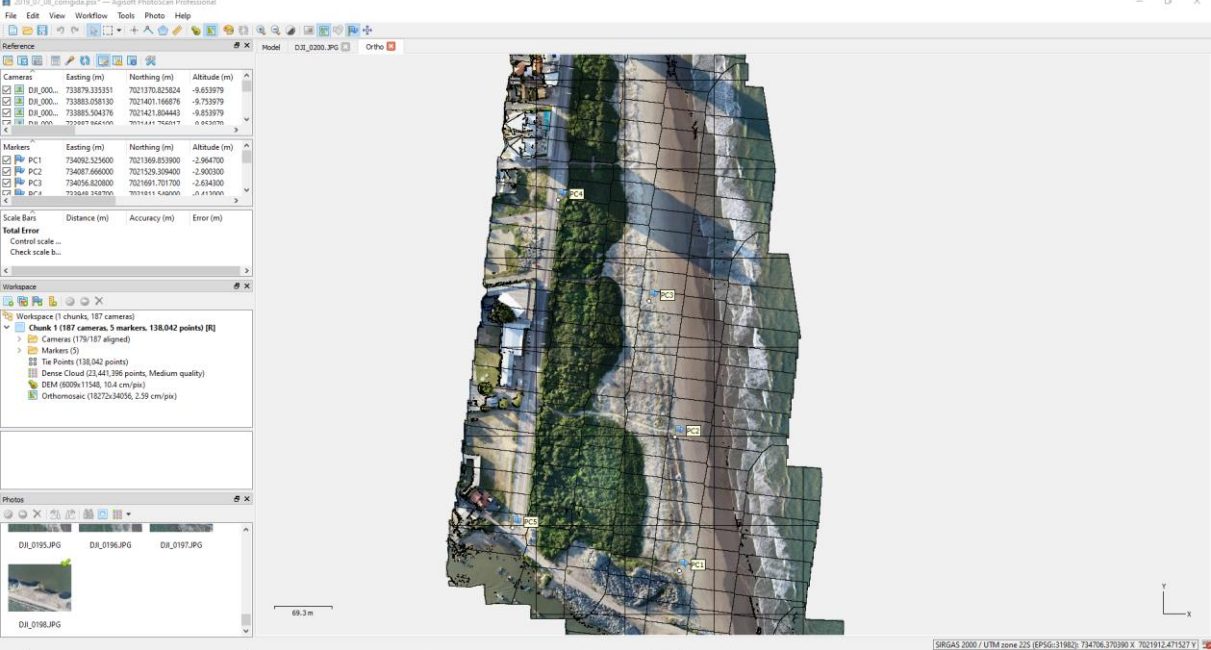
FIGURA 42 – Edição dos pontos de controle.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O software passará a mostrar o mosaico montado na fotointerpretação do levantamento, como demonstrado na Figura 43.

FIGURA 43 – Mosaico da fotointerpretação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após esse processo, para cada ponto de controle, proceder conforme passo-a-passo a seguir demonstrado na Tabela 1:

TABELA 1 – Passo a passo do ajuste dos pontos de controle nas imagens.

	Dar zoom no polígono em que o primeiro ponto de controle está inserido.
	Clicar com o botão direito e escolher a opção “Filter Photos by Point”.

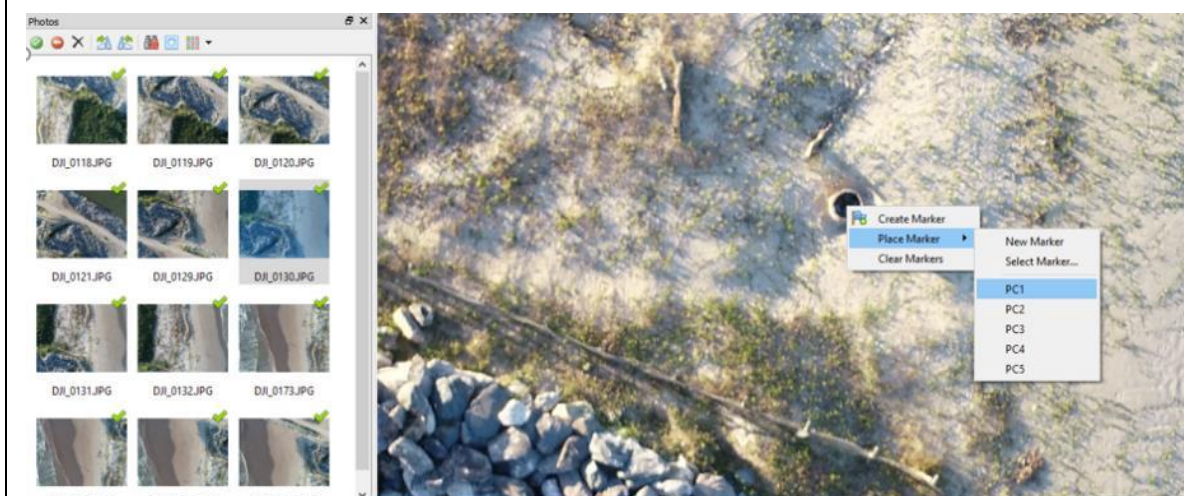


Após esse processo, na parte esquerda do software aparecerão somente as fotos que registram esse ponto.

Ocorrendo que as bandeirinhas azuis não apareçam de pronto, pode-se posicioná-las manualmente, procedendo da seguinte forma:

É necessário que se saiba em qual ponto de controle se deseja incluir a bandeira, no que é importante se ter em mãos um planejamento prévio do levantamento.

Assim pode-se clicar com o botão direito do mouse sobre o ponto de controle registrado na foto e escolher a opção “Place Marker”, no que uma lista contendo os pontos de controle já importados surgirão, podendo selecionar o ponto correspondente à posição desejada, conforme demonstrado abaixo.



Nota-se, no entanto, que dando o zoom, que os pontos indicados pelas bandeirinhas não coincidem em 100% com os pontos de controle implantados em campo. O passo seguinte tratará dos ajustes desses pontos.



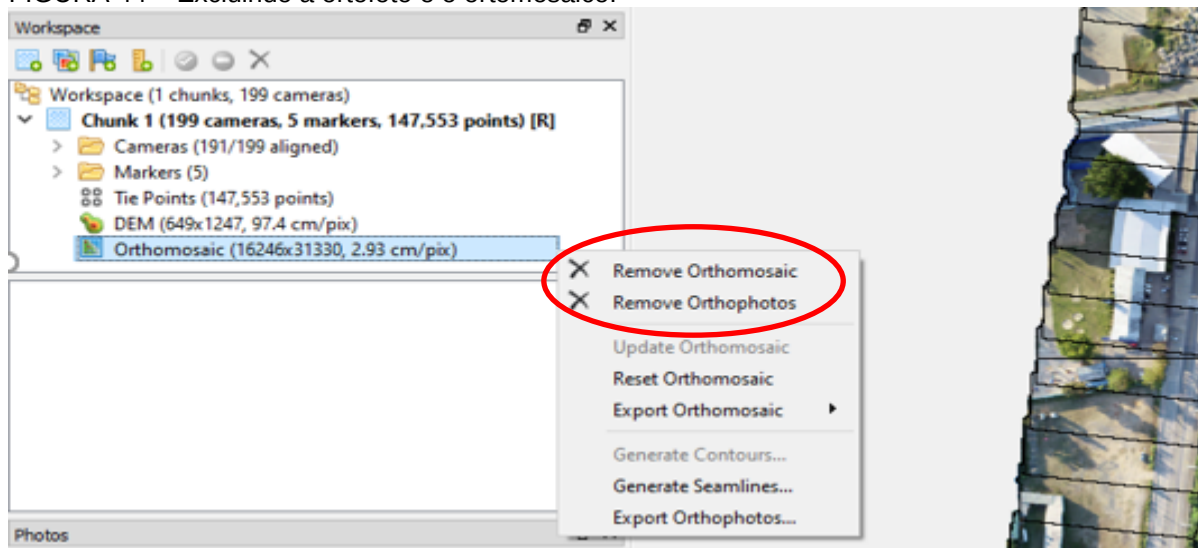
Ao dar zoom é possível notar que o PC1 está fora do ponto onde foi obtida a coordenada geográfica, que no caso, é no interior do círculo apresentado na imagem.

	Clicando com o mouse sobre o ponto é possível arrastá-lo para a posição correta.
	Uma bandeirinha verde passará a ser exibida na miniatura da foto.
Esse processo deverá ser repetido com todas as imagens onde esse ponto estiver inserido. Da mesma forma, esse processo deverá ser repetido para todos os pontos de controle, um a um.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

11º Reprocessar o levantamento. Primeiramente excluir a ortofoto e o ortomosaico criados anteriormente (Workspace) clicando com o botão direito do mouse no ícone da “Orthomosaic”, selecionando em seguida “Remove Orthofotos” e em seguida “Remove Orthomosaic”, conforme demonstrado na Figura 44.

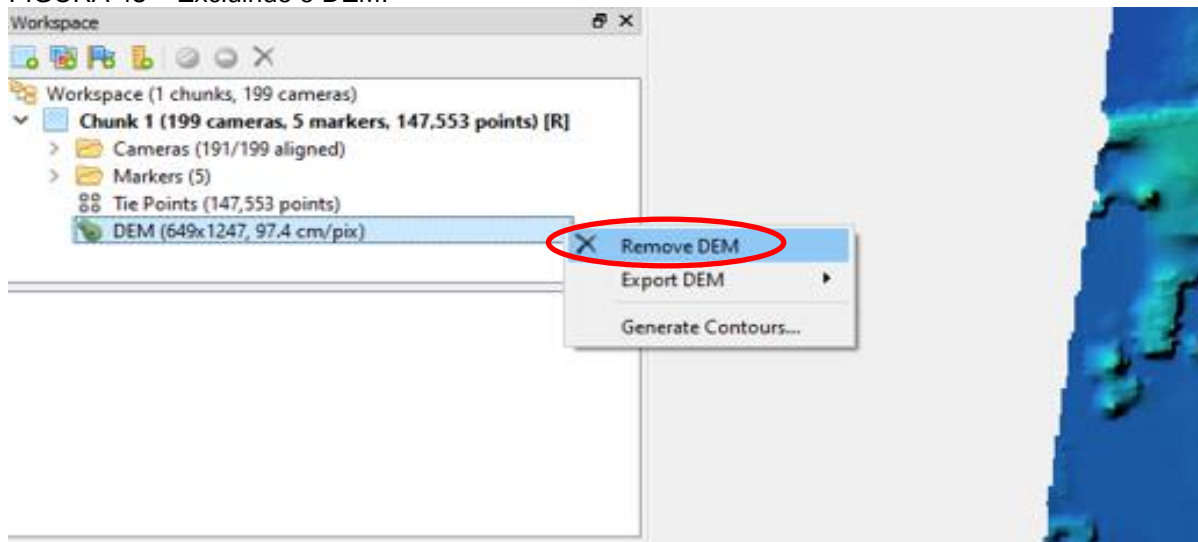
FIGURA 44 – Excluindo a ortofoto e o ortomosaico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência excluir o DEM criado anteriormente (Workspace) clicando com o botão direito do mouse no ícone “DEM”, selecionando em seguida “Remove DEM”, conforme demonstrado na Figura 45.

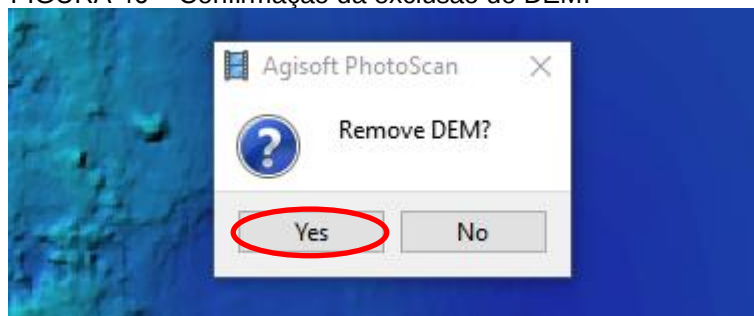
FIGURA 45 – Excluindo o DEM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na sequência abrirá uma caixa de diálogo solicitando a confirmação da exclusão, o qual deve ser clicado em “Yes” (sim), conforme demonstrado na Figura 46.

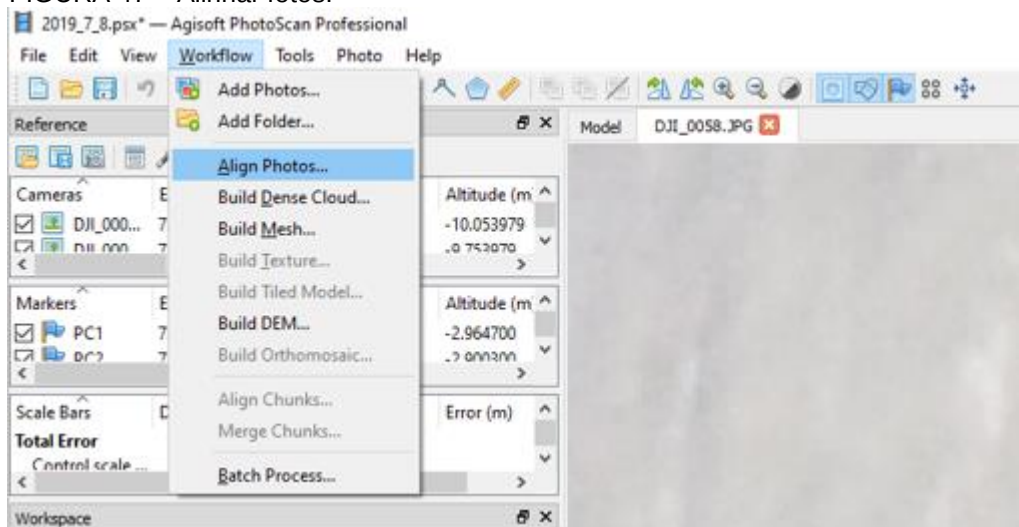
FIGURA 46 – Confirmação da exclusão do DEM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida reprocessar os dados clicando em “Workflow”, e na sequência, “Align Photos”, conforme demonstrado na Figura 47.

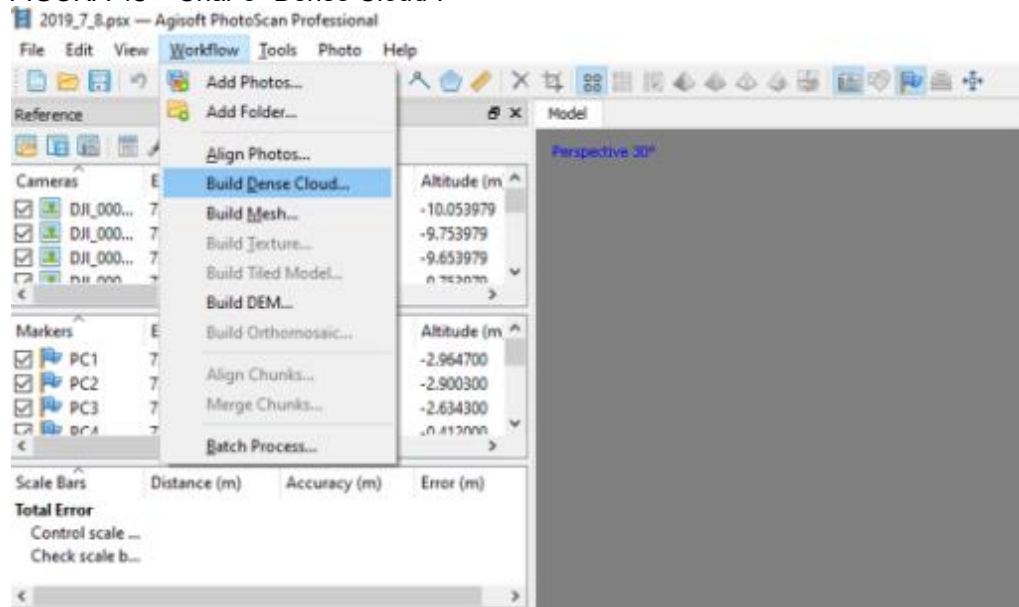
FIGURA 47 – Alinhar fotos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Criar o “Dense Cloud” do levantamento através do menu “Workflow” e em seguida “Build Dense Cloud”, conforme demonstrado na Figura 48.

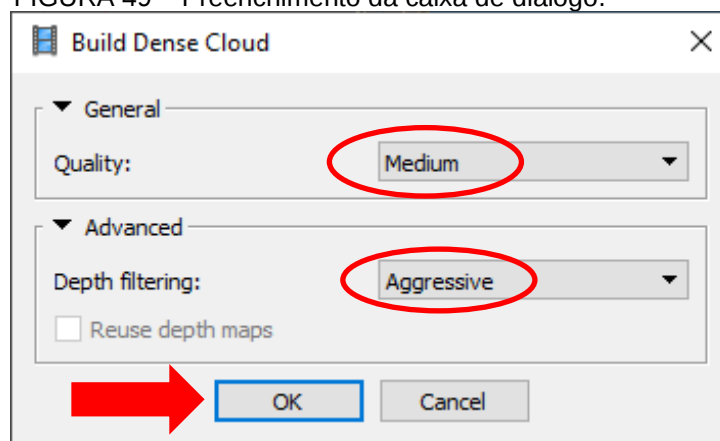
FIGURA 48 – Criar o “Dense Cloud”.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o programa abrirá uma caixa de diálogo que deverá ser preenchida com os seguintes valores conforme demonstrado na Figura 49, e na sequência clicar em “OK” para iniciar o processamento.

FIGURA 49 – Preenchimento da caixa de diálogo.

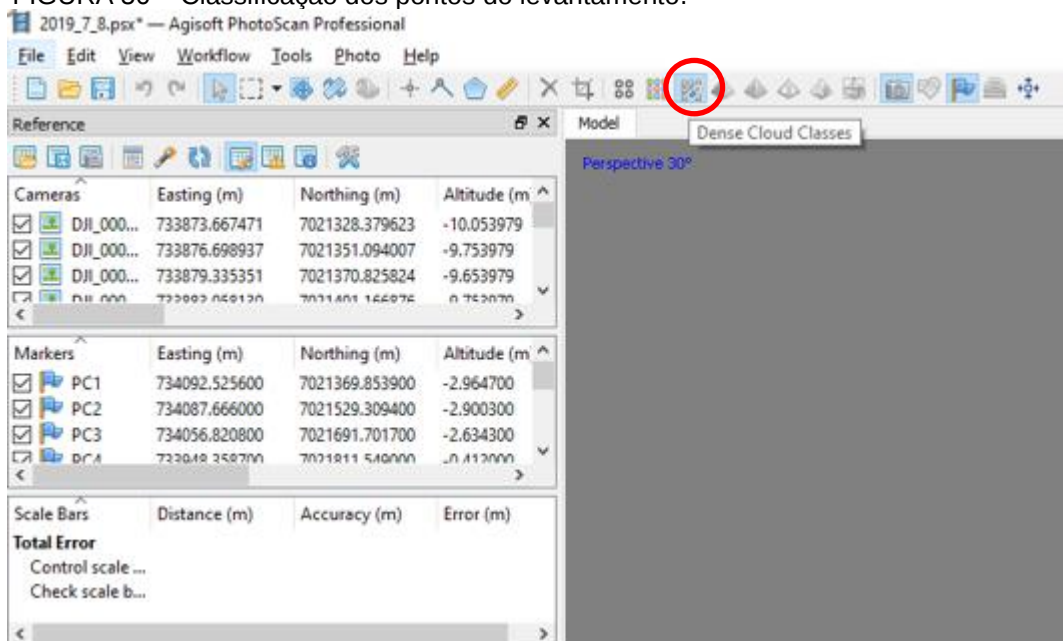


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em caso de dispor de um equipamento (computador) rápido e com maior capacidade de processamento, recomenda-se utilizar a qualidade (Quality) no nível “alto” (High) ou “muito alto” (Very High), clicando em ok em seguida. Vale salientar que quando se opta por um nível de qualidade alto, o tempo de processamento mais que triplica em relação ao nível médio. Como exemplo, o mesmo processamento realizado para esta ilustração durou 25 minutos e 32 segundos para o nível médio, enquanto para o nível alto o tempo foi de uma hora 20 minutos e 14 segundos. A opção pelo nível de qualidade depende do tipo de processamento que se pretende fazer e a finalidade do produto final. Quanto maior a demanda por “precisão”, maior deve ser o nível de qualidade utilizado no processamento.

12º Classificar os pontos do levantamento, clicando no ícone “Dense Cloud Classes” conforme demonstrado na Figura 50.

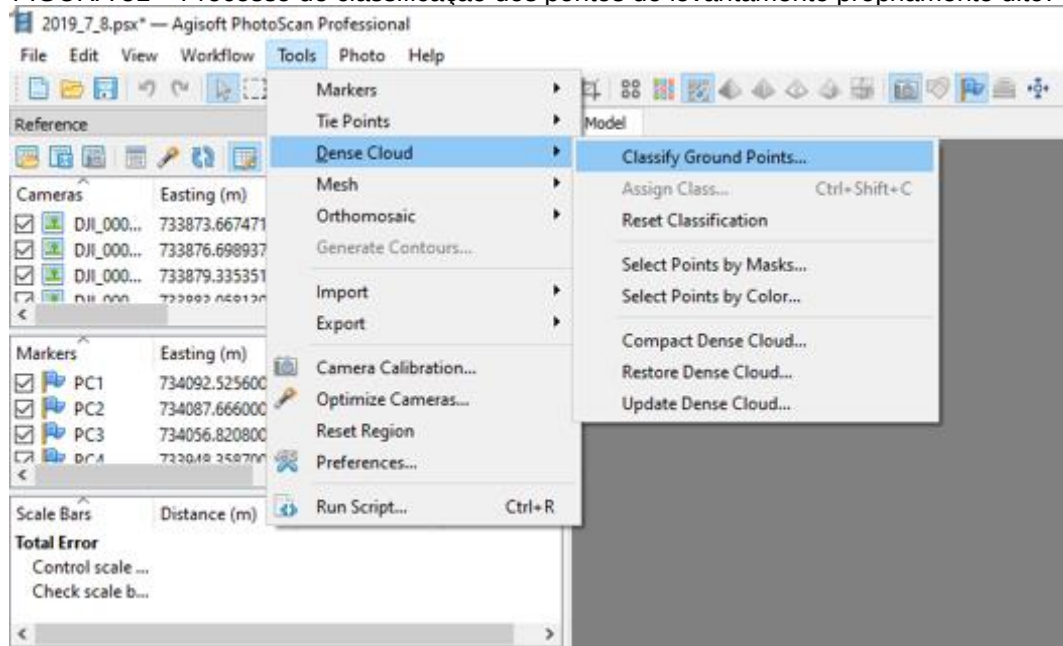
FIGURA 50 – Classificação dos pontos do levantamento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida dar início ao processo de classificação em si. Através do menu “Tools” clicar no submenu “Dense Cloud” e em seguida “Classify Ground Points”, conforme demonstrado na Figura 51.

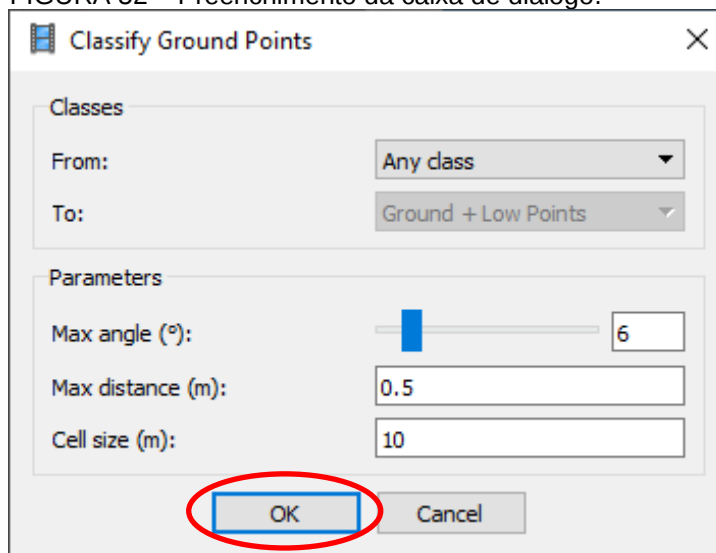
FIGURA 51 – Processo de classificação dos pontos do levantamento propriamente dito.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após tal processo, surgirá a caixa de diálogo conforme demonstrado na Figura 52, devendo os valores estarem conforme indicado. Clicar em “OK” e na sequência o processo se inicia.

FIGURA 52 – Preenchimento da caixa de diálogo.

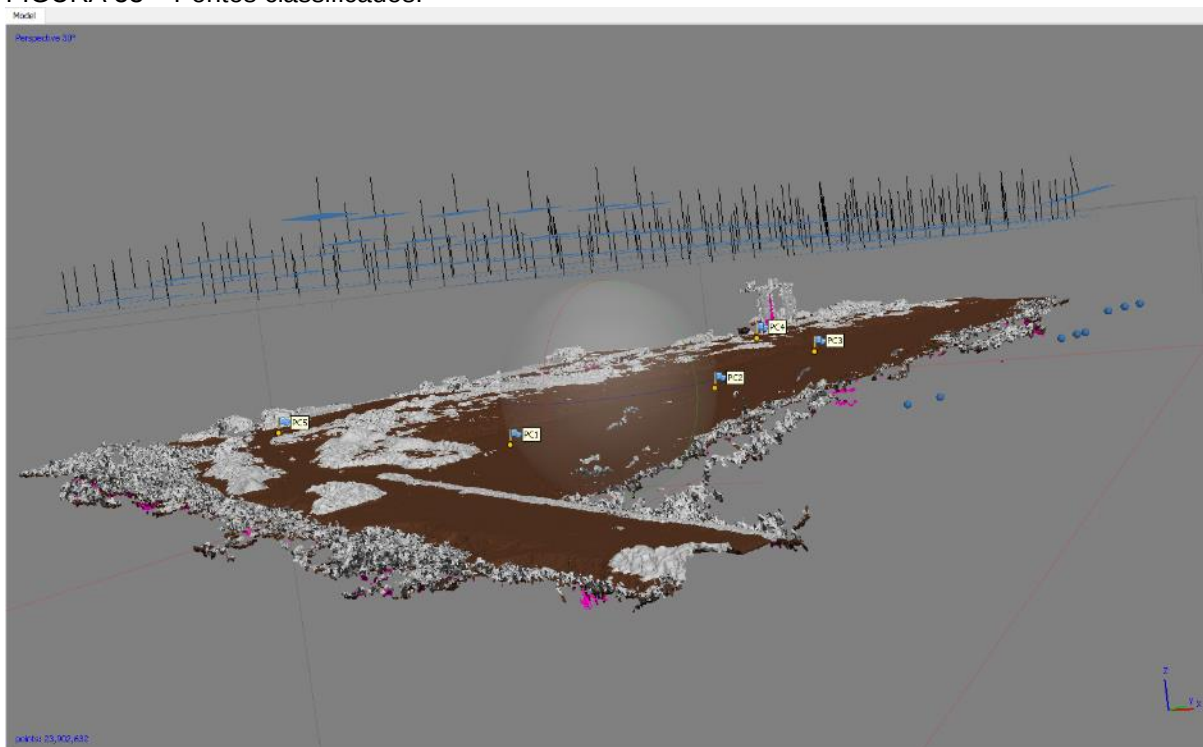


Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo de classificação nada mais é do que dizer o que cada ponto coletado representa, proporcionando eliminar ruídos, pontos indesejados e excluir elementos que não fazem parte do levantamento em si. Após o processo, o levantamento passará a ser apresentado da maneira conforme demonstrado na Figura 53.

Notar que os pontos em marrom são de fato pontos do solo, ou seja, pertinentes ao levantamento. Todavia, os pontos brancos são irrelevantes ou desnecessários ao levantamento, ou seja, são muros, edificações vizinhas etc., que serão desconsiderados no processamento final.

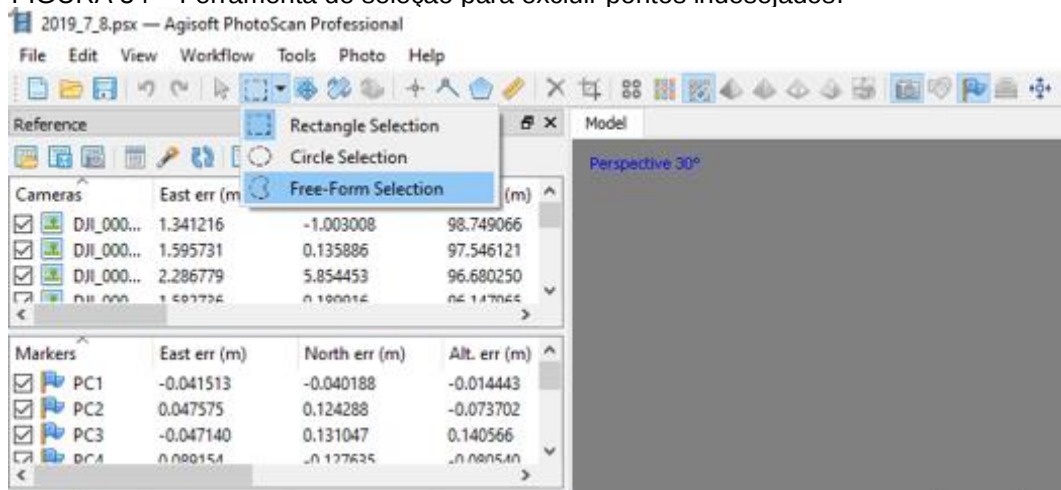
FIGURA 53 – Pontos classificados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O levantamento pode ser melhorado incluindo ou excluindo pontos e manchas de pontos através da ferramenta de seleção apresentada na Figura 54.

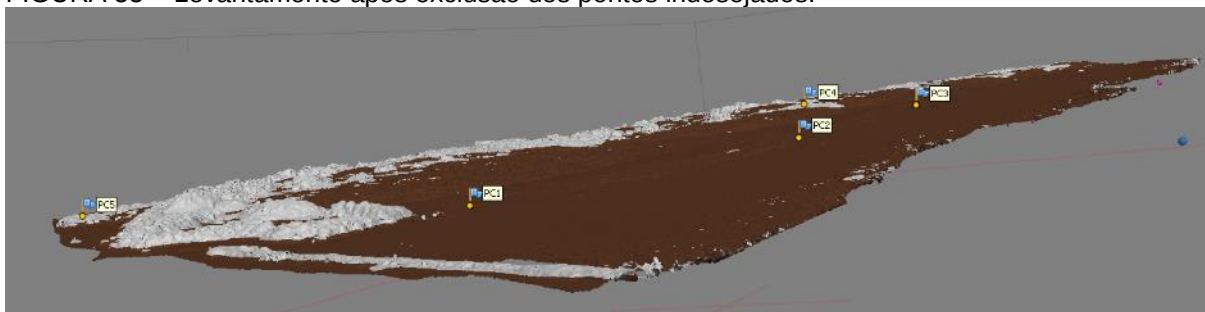
FIGURA 54 – Ferramenta de seleção para excluir pontos indesejados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao selecionar os pontos ou manchas indesejadas, o levantamento fica mais “limpo”, conforme demonstrado na Figura 55, podendo ser mais bem processado.

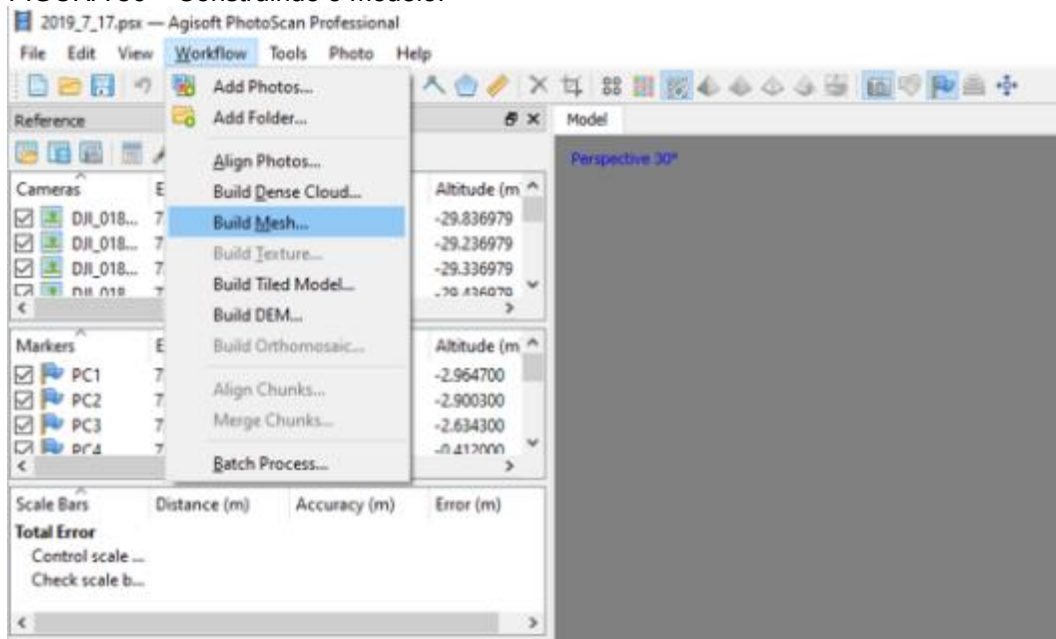
FIGURA 55 – Levantamento após exclusão dos pontos indesejados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

13º Construir modelo, clicando na guia “Workflow” e em seguida no comando “Build Mesh” conforme demonstrado na Figura 56.

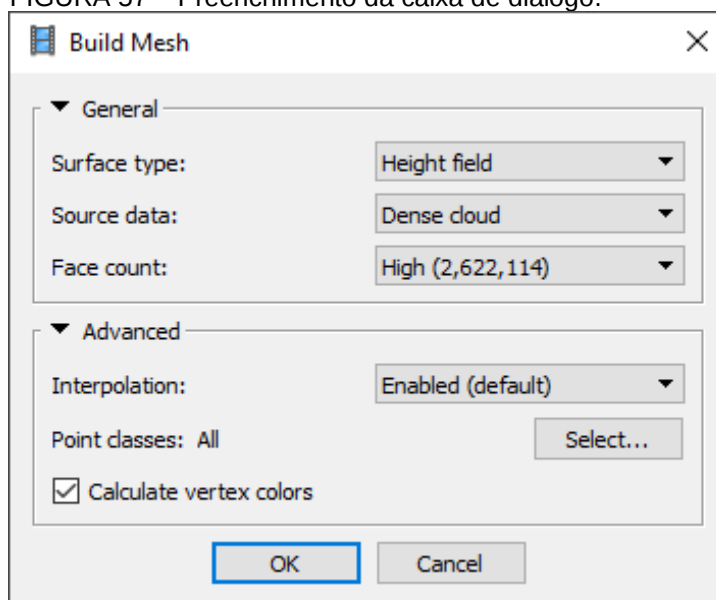
FIGURA 56 – Construindo o modelo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida surgirá uma caixa de diálogo que deverá estar preenchida conforme apresentado na Figura 57.

FIGURA 57 – Preenchimento da caixa de diálogo.



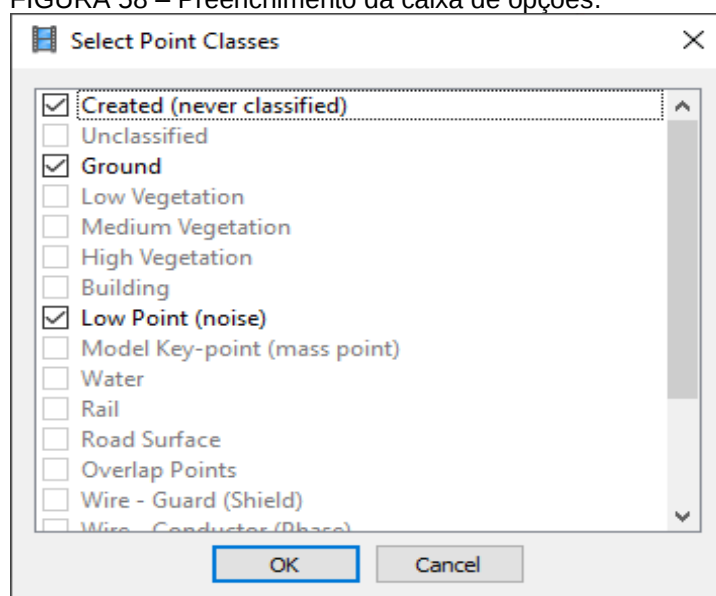
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observações:

- Clicar no texto “Advanced” para habilitar os campos “Interpolation” e “Point classes”;
- Se a opção “Point Classes” não estiver habilitada, verifique se o campo “Source Data” está selecionado “Dense Cloud”.

Em seguida, clicar na guia “Point Classes”, no que surgirá a caixa de opções conforme apresentado na Figura 58.

FIGURA 58 – Preenchimento da caixa de opções.

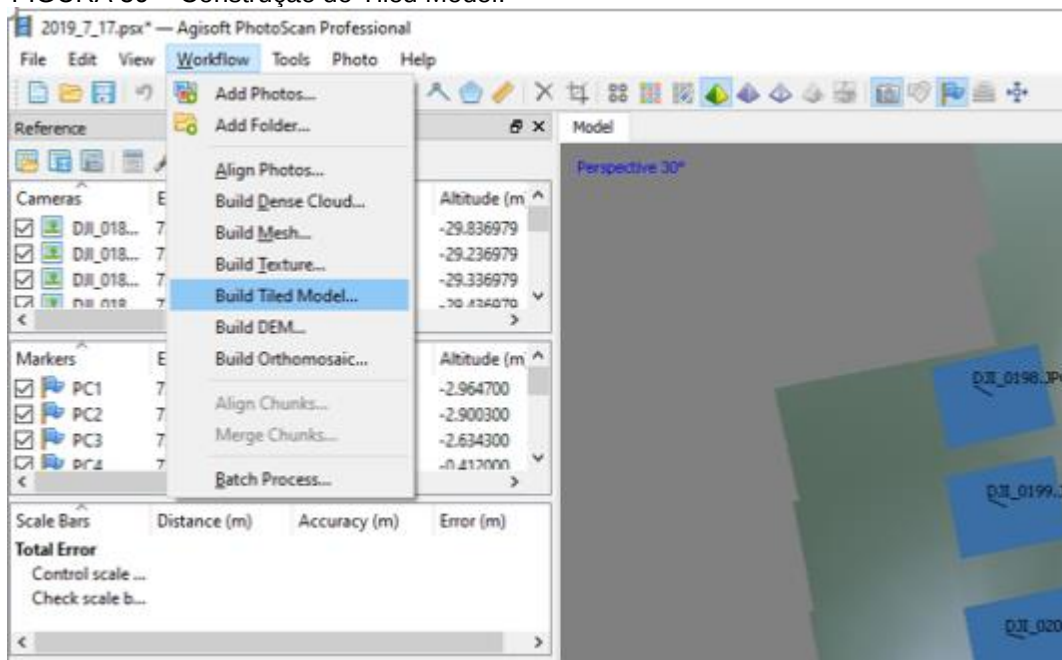


Fonte: Elaborado pelo autor.

Devem ser selecionadas somente as classes de pontos que se deseja considerar no processamento.

14º Construir Tiled Model, clicando na guia “Workflow” e em seguida no comando “Build Tiled Model” conforme demonstrado na Figura 59.

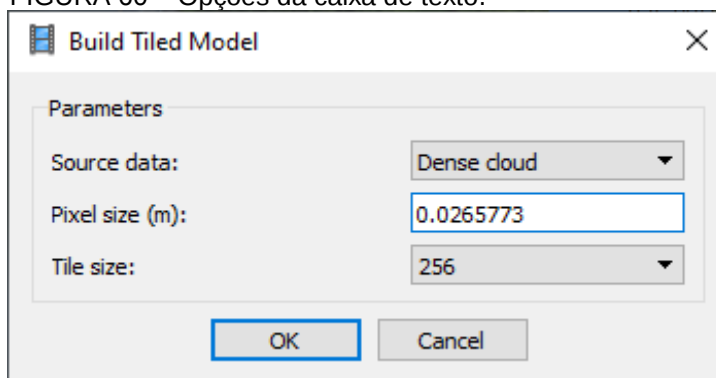
FIGURA 59 – Construção do Tiled Model.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida surgirá uma caixa de texto com as seguintes opções (Figura 60):

FIGURA 60 – Opções da caixa de texto.

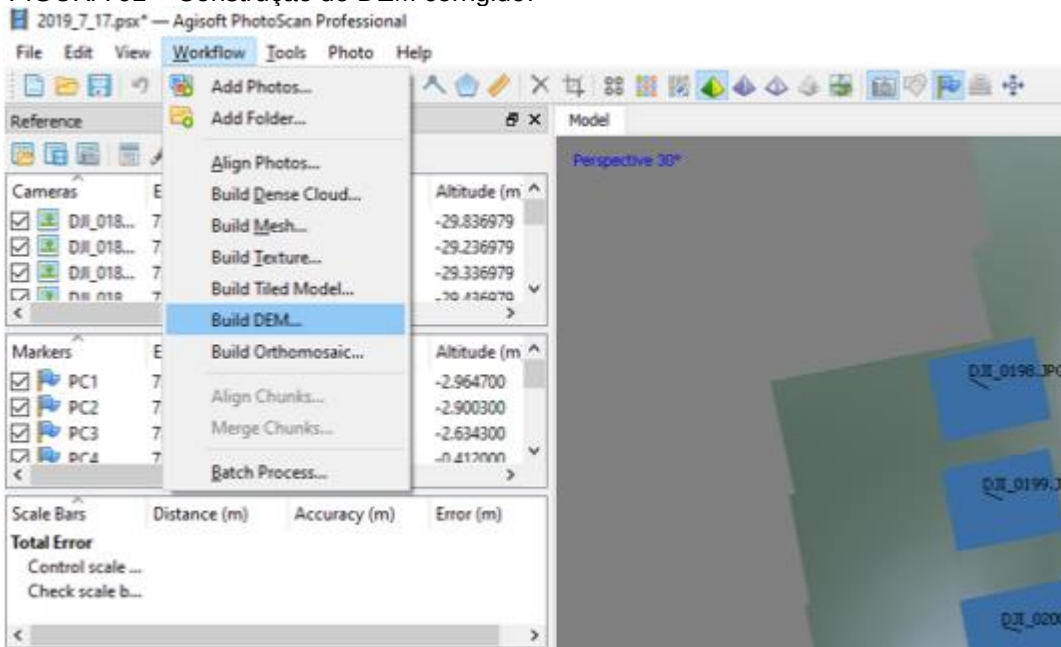


Fonte: Elaborado pelo autor.

Via de regra os valores podem ser deixados como apresentados, observado sempre se o campo “Source data” está indicando a opção “Dense cloud”. Apertar o botão “OK” e será iniciado o processamento.

15° Gerar o DEM corrigido. Explicado no 7° passo, mas que é recapitulado aqui devendo-se observar algumas mudanças no processo. Por meio da guia “Workflow” e em seguida no comando “Build DEM”, conforme demonstrado na Figura 61.

FIGURA 61 – Construção do DEM corrigido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após abrirá uma caixa de comando conforme indicado na Figura 62.

FIGURA 62 – Caixa de comando.

Build DEM

▼ Projection

Type: ☐ Planar ☒ Geographic

SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Parameters

Source data: Dense cloud

Interpolation: Enabled (default)

Point classes: All Select...

Region

☐ Setup boundaries: 733631.143 - 734427.745 X

Reset 7020902.650 - 7022223.978 Y

Resolution (m): 0.106309

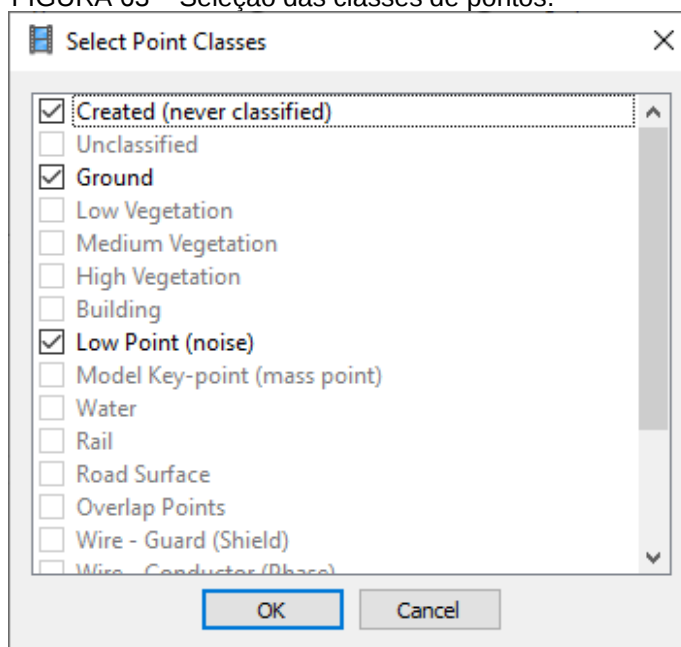
Total size (pix): 7491 x 12425

OK Cancel

Fonte: Elaborado pelo autor.

As opções aqui são um pouco diferentes das dispostas no 7º passo. Atentar para a opção “Source data” esteja agora selecionada “Dense cloud”. Em seguida, clicar na opção “Select” para selecionar as classes de pontos que lhe interessam ao seu processamento, conforme demonstrado na Figura 63.

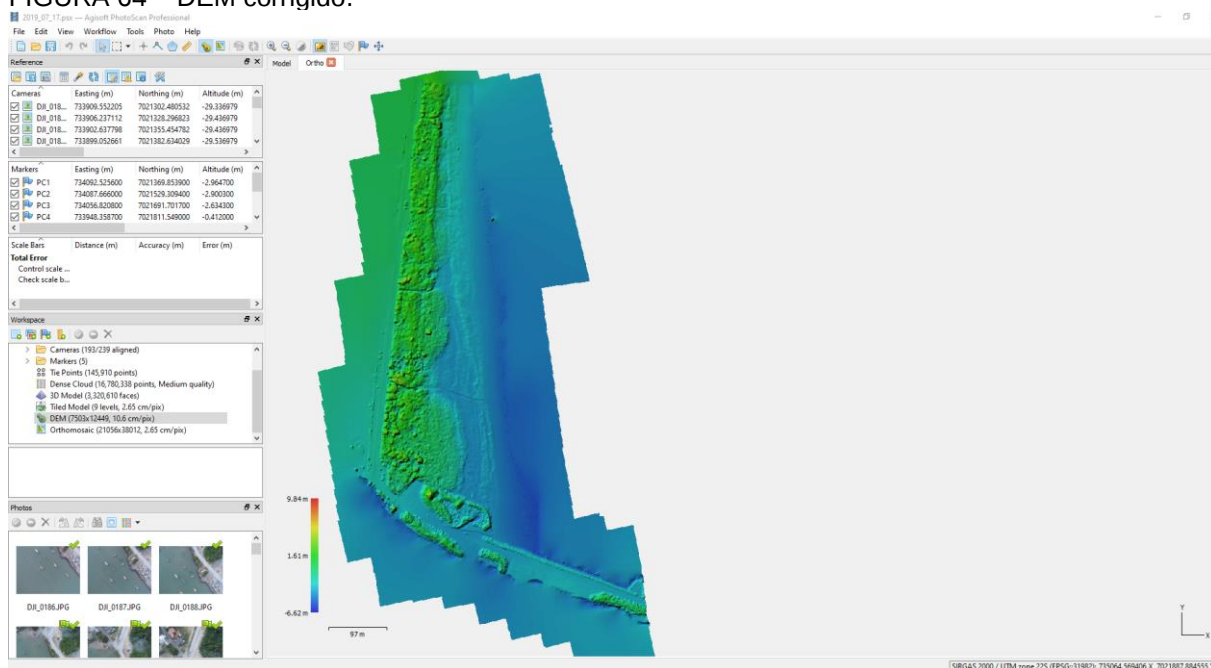
FIGURA 63 – Seleção das classes de pontos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados do processamento do DEM aparecerão na guia “Work Space”, localizado no lado esquerdo da tela do software, conforme demonstrado na Figura 64.

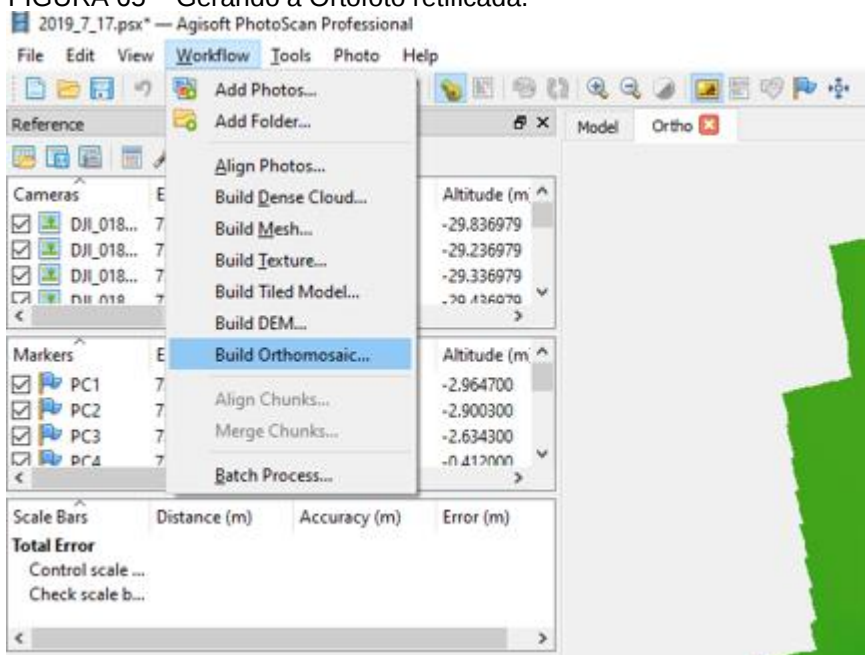
FIGURA 64 – DEM corrigido.



Fonte: Elaborado pelo autor.

16° Gerar Ortofoto retificada. Processo similar ao já explicado no 8° passo. Por meio da guia “Workflow” e em seguida no comando “Build Orthomosaic”, conforme demonstrado na Figura 65.

FIGURA 65 – Gerando a Ortofoto retificada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após abrirá uma caixa de diálogo. Observar se todos os campos estão preenchidos conforme indicado na Figura 66. Clicar em “OK” e o processamento será iniciado.

FIGURA 66 – Caixa de diálogo.

Build Orthomosaic

▼ Projection

Type: ☐ Planar ☒ Geographic

SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Parameters

Surface: DEM

Blending mode: Mosaic (default)

☐ Enable color correction

☒ Enable hole filling

☒ Pixel size (m): 0.0265847 X

Metres... 0.0265847 Y

☐ Max. dimension (pix): 4096

Region

☐ Setup boundaries: - X

Estimate - Y

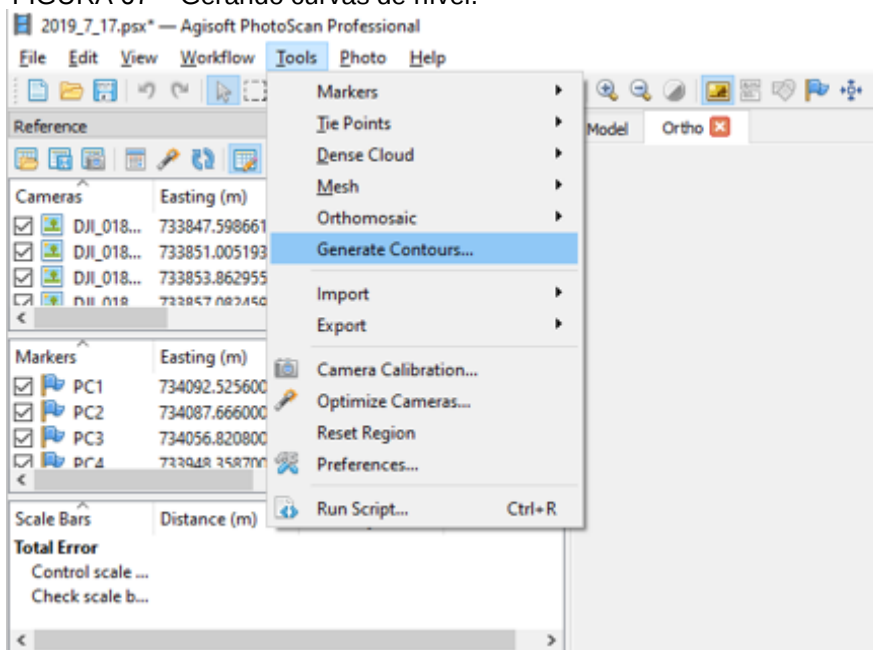
Total size (pix): x

OK Cancel

Fonte: Elaborado pelo autor.

17º Gerar curvas de nível. Por meio da guia “Tools”, escolher o comando “Generate Contours”, conforme demonstrado na Figura 67.

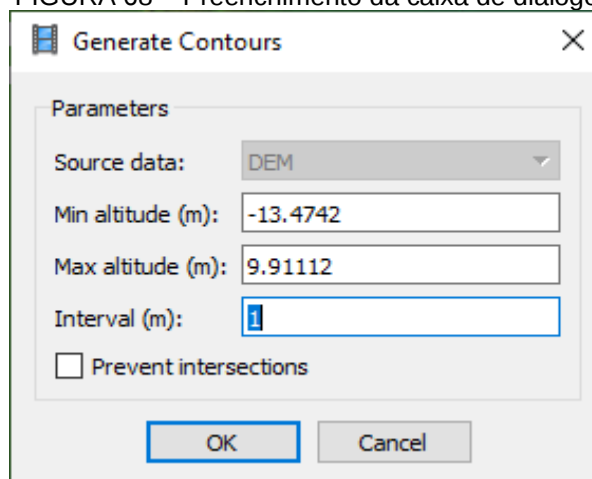
FIGURA 67 – Gerando curvas de nível.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, surgirá uma caixa de diálogo conforme demonstrado na Figura 68.

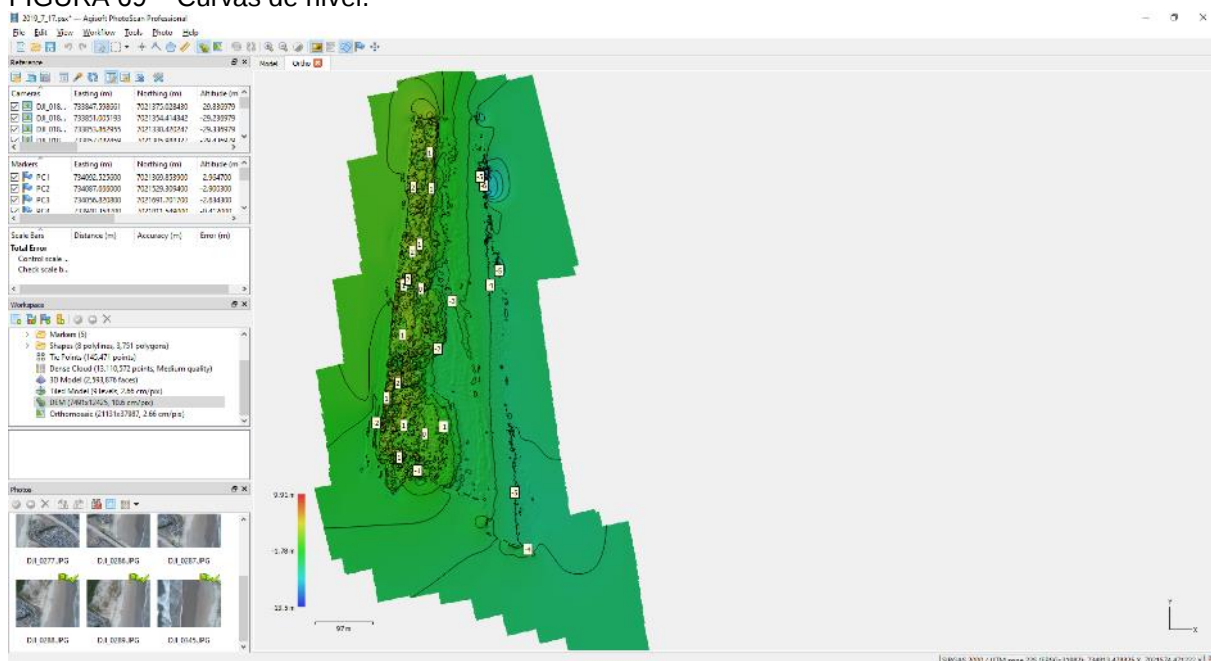
FIGURA 68 – Preenchimento da caixa de diálogo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No campo “Interval (m)”, indicar o espaçamento entre curvas de nível desejado. No exemplo acima, o espaçamento é de um metro pelo fato de melhor visualização. O resultado é apresentado na Figura 69.

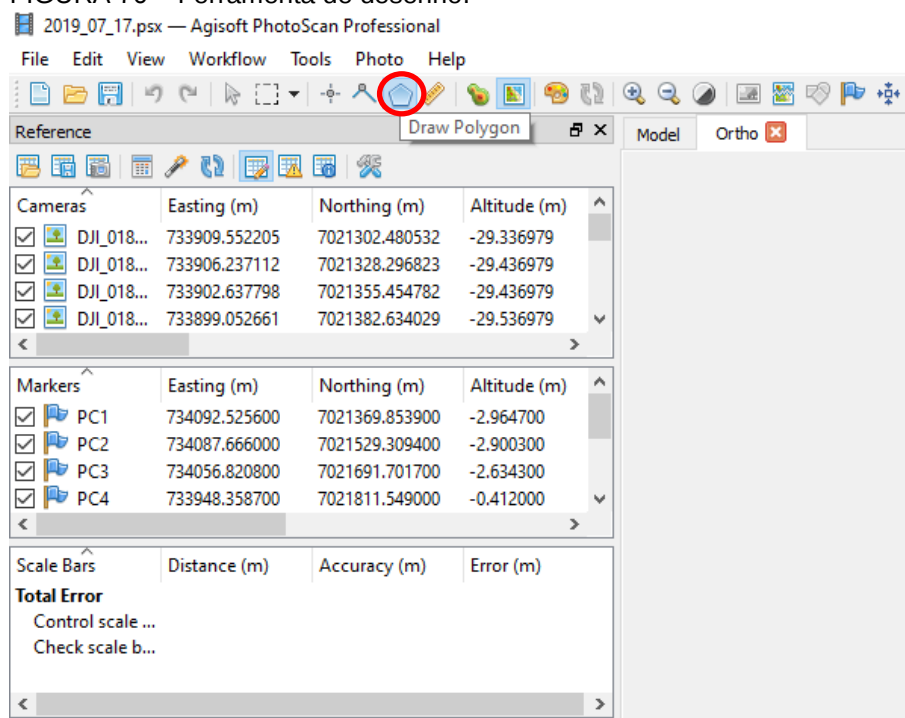
FIGURA 69 – Curvas de nível.



Fonte: Elaborado pelo autor.

18º Desenhando no levantamento. Com a ortofoto recalculada com a precisão adequada, é possível desenhar a poligonal do levantamento diretamente no software. A ferramenta usada será a “Draw Polygon” disponível no Menu do programa, conforme demonstrado na Figura 70.

FIGURA 70 – Ferramenta de desenho.



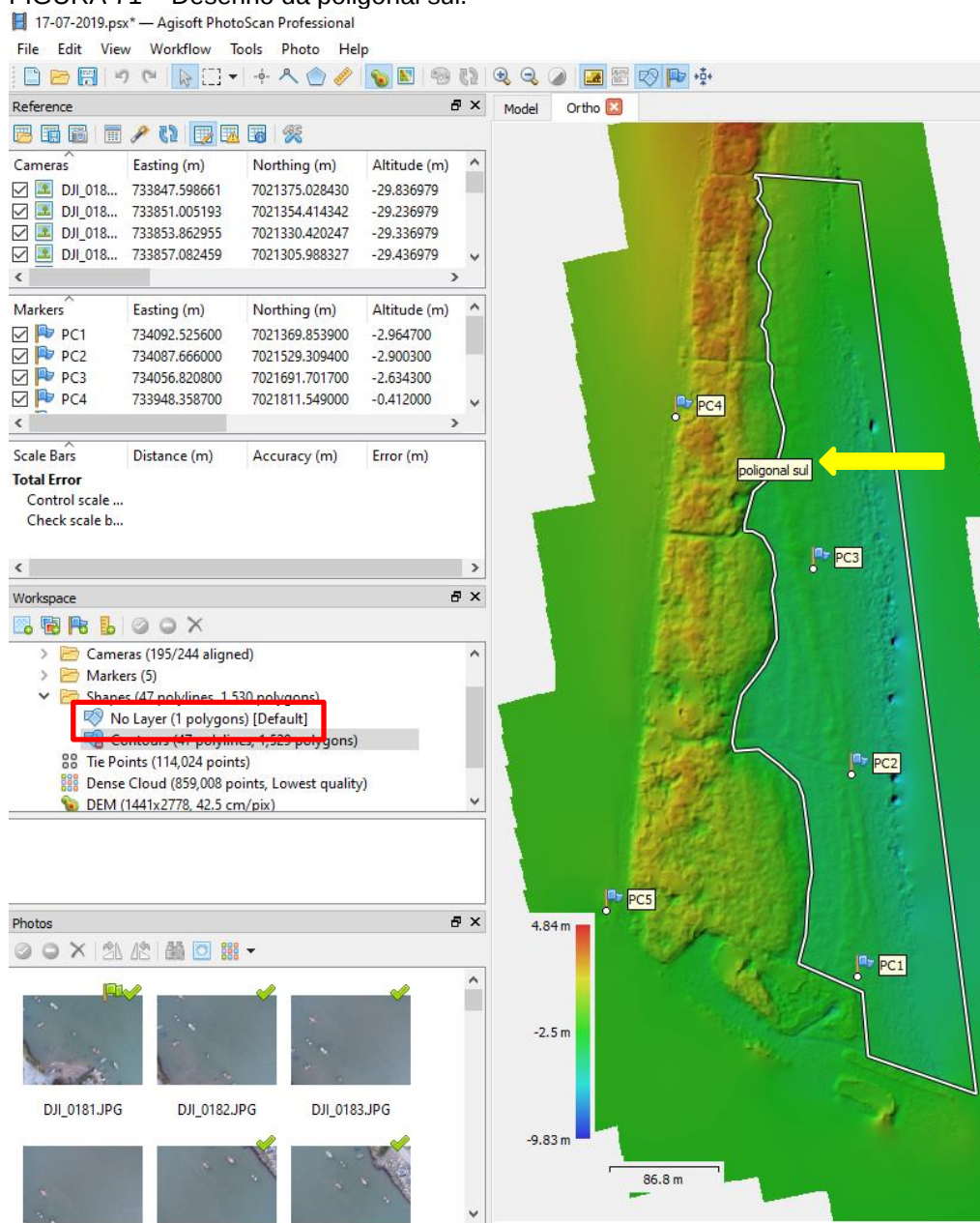
Fonte: Elaborado pelo autor.

Selecionado este comando, é só passar a desenhar o polígono contornando o objeto de interesse. A ferramenta de desenho se comportará como indicado a seguir:

O fechamento do polígono pode ser feito clicando com o botão direito do mouse. A saída do módulo de desenho pode ser feita a qualquer momento, bastando apertar a tecla “ESC” do teclado.

Os polígonos serão classificados automaticamente pelo software em “*layers*” (camadas) distintas (retângulo vermelho da Figura 71). Depois de concluído o desenho, é recomendado nominar o polígono, que nesse caso foi denominada de total (seta amarela da Figura 71).

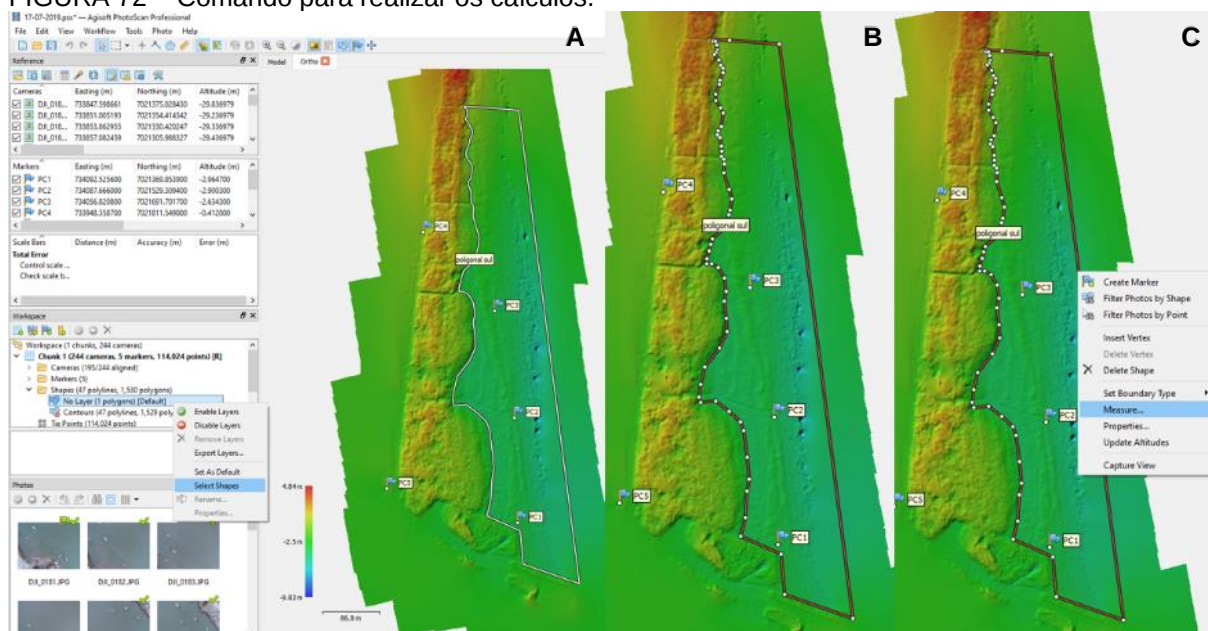
FIGURA 71 – Desenho da poligonal sul.



Fonte: Elaborado pelo autor.

19º Cálculos. Em “Workspace”, no lado esquerdo da tela do programa, clicar com o botão direito na “layer”, e na sequência “Select Shapes” (Figura 72 – A), na qual a poligonal ficará em destaque, em vermelho (Figura 72 – B). Clicando novamente com o botão direito, abrirá uma caixa devendo-se selecionar a opção “Measure”, (Figura 72 – C).

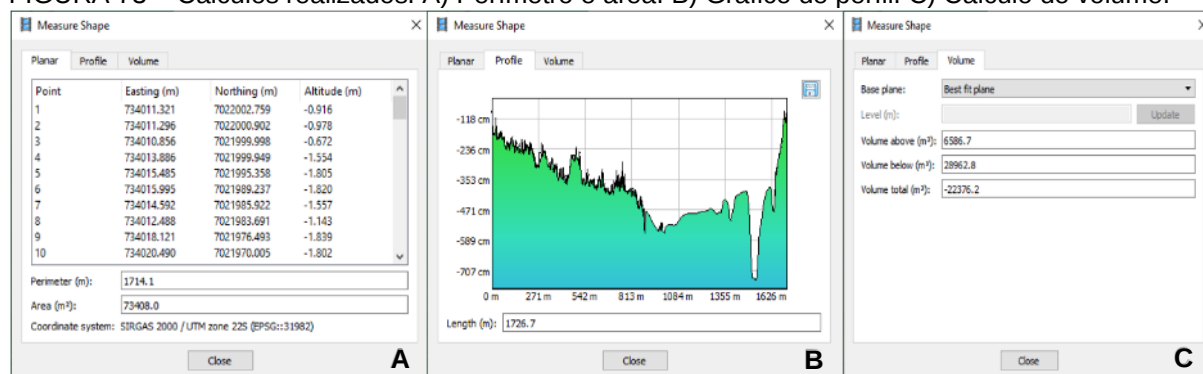
FIGURA 72 – Comando para realizar os cálculos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O programa iniciará os cálculos. Surgirá na tela um quadro na qual é possível verificar o perímetro e a área (“Planar”), verificar o gráfico do perfil (“Profile”), e o cálculo do volume, conforme demonstrado na Figura 73.

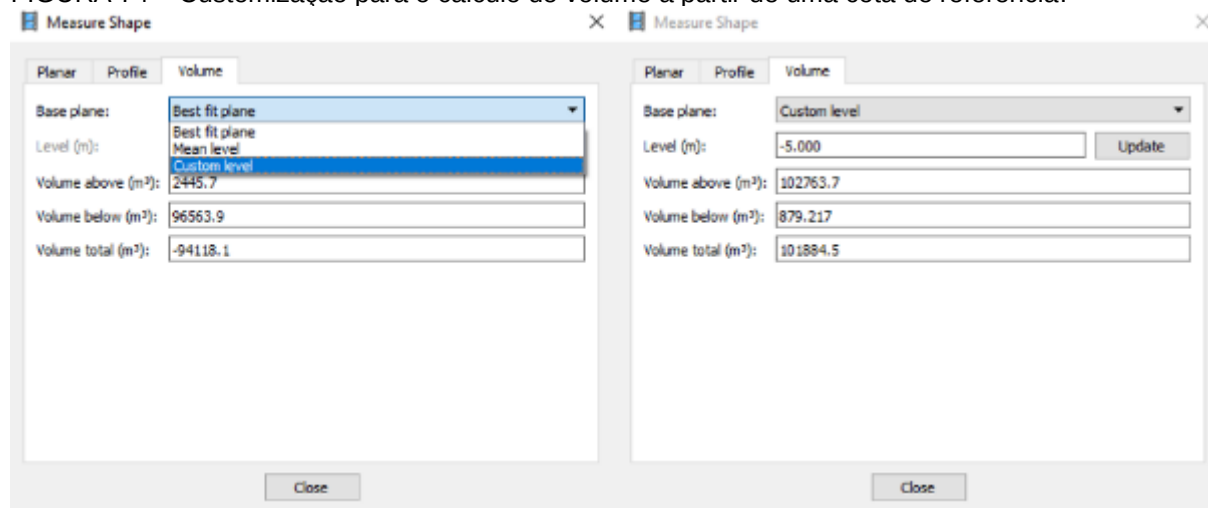
FIGURA 73 – Cálculos realizados. A) Perímetro e área. B) Gráfico de perfil. C) Cálculo de volume.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em termos de volume, é possível customizar o nível “*Custom level*”, para uma mesma cota de referência. Nesse caso em específico, considerar a cota -5,00. Clicar em “*Update*” e preencher o valor. Detalhes na Figura 74. Os cálculos feitos pelo programa apontam para um volume acima da cota -5 de 102.763,7 m³. Comparando com outros levantamentos anteriores, é possível saber se o local sofreu erosão ou acreção.

FIGURA 74 – Customização para o cálculo de volume a partir de uma cota de referência.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2. CONCLUSÕES

A utilização do VANT no monitoramento da dinâmica sedimentar se mostrou rápido, eficiente e com reduzido custo operacional. As limitações de uso se dão pelas condições meteorológicas (ventos fortes, chuvas, tempo nublado) e pela legislação vigente. Cabe ressaltar que Navegantes possui um aeroporto, e os voos com VANT no cone de aproximação da pista são proibidos, exceto em ocasiões especiais ou mediante prévia autorização. O nível de precisão do equipamento utilizado demonstra grande resolução, podendo apresentar números exatos que podem ser usados para a tomada de decisões.

A metodologia empregada demonstra ser promissora e permite ser utilizada pelas secretarias municipais, fundações de meio ambiente, ONGs e demais autarquias e entidades que necessitem monitorar a orla marítima e fornecer subsídios para elaboração de projetos e tomada de decisões.