

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL**

JACQUELINE FREIRE RIGATTO

**O PAPEL DAS DUNAS FRONTAIS NA PROTEÇÃO DO LITORAL SUL DO  
ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA

2022

JACQUELINE FREIRE RIGATTO

**O PAPEL DAS DUNAS FRONTAIS NA PROTEÇÃO DO LITORAL SUL DO  
ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jacqueline Albino

VITÓRIA

2022

JACQUELINE FREIRE RIGATTO

**O PAPEL DAS DUNAS FRONTAIS NA PROTEÇÃO DO LITORAL SUL DO  
ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jacqueline Albino - Orientadora  
Universidade Federal do Espírito Santo/ UFES

---

Prof. Dr. Dieter Carl Ernst Heino Muehe – Examinador Interno  
Universidade Federal do Espírito Santo/ UFES

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Celia Regina de Gouveia Souza - Examinadora Externa  
Instituto de Pesquisas Ambientais – Secretaria de Infraestrutura e o  
Meio Ambiente do Estado de São Paulo (IPA – SIMA/SP)

“Os pescadores sabem que o mar é perigoso e a tormenta terrível, mas este conhecimento não os impede de lançar-se ao mar”.

Vincent van Gogh

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar.

A professora Jacqueline Albino, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Aos meus amados pais, Dejair e Penha, e as minhas irmãs, Katielly e Suellen, pelo apoio, confiança e incentivo aos estudos.

Ao meu esposo Rafael pelo carinho, amor, companheirismo, dedicação, incentivo, paciência e pela ajuda em programação.

Aos demais professores do curso de Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental (PPGOAM), pela dedicação, competência, apoio e todo conhecimento compartilhado

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pelo ensino gratuito e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa e pelo auxílio financeiro nº 88887.145855/2017-00.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo Projeto Universal 421657/2016-2.

Ao Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia Costeira da UFES pela disponibilização dos dados e pela ajuda durante as campanhas de campo, em especial a professora Jac, Lucas, Branco, Chiara, Karlany, Pedro, Roger, Gilberto, ao professor Dieter, Maitê, Brenda, Bernardo, Theo, Julyana e Luísa Lopes (*in memoriam*).

Ao Programa Nacional de Boias (PNBOIA) e ao Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF) pela disponibilização dos dados aqui utilizados.

Aos professores Celia Souza e Dieter Muehe por aceitarem o convite de participar da banca examinadora.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

## RESUMO

Dunas frontais são cristas de dunas arenosas com vegetação formadas adjacentes à praia. A formação destas feições geomorfológicas ocorre à medida que o sedimento é transportado pelo vento da praia exposta para uma cobertura de plantas. Possuem os maiores volumes e extensão em praias dissipativas e em praias refletivas são menores ou inexistentes. Apresentam a função de proteger a costa contra inundações e erosão causadas por ondas e elevados níveis de água durante condições extremas de tempestade. Contudo, este papel é muitas vezes limitado em função do uso e ocupação sobre estas feições. O objetivo deste trabalho foi determinar a atuação das dunas frontais na proteção da orla, a partir de uso de ferramentas, ao longo do litoral sul do ES. Para a determinação do clima de ondas foram utilizados dados de reanálise do ERA5 que foram validados com da Boia PNBOIA Vitória. Além disto, dados do ADCP também foram usados para analisar o clima de ondas próximo ao litoral. Além do clima de ondas, o nível de maré, os sedimentos, a vegetação e o perfil de praia foram analisados com auxílio da ferramenta XBeach. Já a Escala de Impacto de Sallenger só utilizou dados de maré, de perfil de praia e de ondas. Os resultados indicam que o litoral está em processo predominante de recuo das dunas com os níveis 1 e 2 da Escala de Sallenger. Em relação a vegetação das dunas frontais, nas simulações no XBeach houve uma erosão maior nas dunas frontais com poucas plantas fixadas sobre elas. Mesmo com vegetação os perfis de praia medidos sofreram erosão, mas eles protegeram a orla.

**Palavras-chave:** Clima de ondas; XBeach; Escala de Impacto de Sallenger; Vegetação de restinga

## ABSTRACT

Frontal dunes are ridges of sandy dunes with vegetation formed adjacent to the beach. The formation of these geomorphological features occurs as the sediment is transported by the wind from the exposed beach to a cover of plants. They have the largest volumes and extension on dissipative beaches and on reflective beaches they are smaller or non-existent. They have the function of protecting the coast against flooding and erosion caused by waves and high water levels during extreme storm conditions. However, this role is often limited due to the use and occupation of these features. The objective of this work was to determine the performance of the frontal dunes in the protection of the edge, from the use of tools, along the south coast of ES. To determine the wave climate, ERA5 reanalysis data were used, which were validated with Boia PNBOIA Vitória. In addition, ADCP data were also used to analyze the wave climate near the coast. In addition to the wave climate, the tide level, sediments, vegetation and beach profile were analyzed using the XBeach tool. The Sallenger Impact Scale only used tidal, beach profile and wave data. The results indicate that the coast is in a predominant process of dune retreat with levels 1 and 2 of the Sallenger Scale. Regarding the vegetation of the frontal dunes, in the simulations in XBeach there was a greater erosion in the frontal dunes with few plants fixed on them. Even with vegetation the measured beach profiles suffered erosion, but they protected the shore.

**Keywords:** Wave weather; XBeach; Sallenger Impact Scale; restinga vegetation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evidências de overwash na Praia das Neves. Fonte: Albino et al. (2006).....	20
Figura 2 – Área de estudo.....	22
Figura 3 – Terminologia da zona de arrebentação, surfe, praia e retropraia em inglês e respectiva tradução para o português. Fonte: Muehe (2019). ....	24
Figura 4 – Exemplos dos quatro regimes de impacto de tempestades de acordo com Sallenger (2000), onde <i>Rlow</i> (elevação mínimo do nível da água), <i>Rhigh</i> (elevação máxima do nível da água), <i>Dlow</i> (base da duna) e <i>Dhigh</i> (topo da duna) Fonte: adaptado de Castelle & Harley (2020).....	26
Figura 5 – Esquema metodológico da maré. ....	28
Figura 6 – Equipamentos para realizar o perfil de praia, da esquerda para a direita: nível topográfico, RTK, balizas de Emery, Estação Total. Foram utilizados em campo somente o nível topográfico e RTK. Fonte: Muehe et al. (2020).....	30
Figura 7 – Localização dos perfis de praia (P1, P2, P3 e P4). ....	31
Figura 8 – Localização da boia PNBOIA Vitória, do ERA5 e do fundeio do ADCP.....	33
Figura 9 – Esquema metodológico dos sedimentos.....	34
Figura 10 – Esquema metodológico da vegetação.....	35
Figura 11 – Esquema metodológico da morfologia. ....	36
Figura 12 – Esquema de um perfil praiial transversal mostrando os parâmetros morfométricos da praia e duna frontal. Fonte: Adaptado de de Almeida et al. (2019).....	38
Figura 13 – Esquema metodológico do clima de ondas. ....	39
Figura 14 – Esquema metodológico para aplicação da Escala de Impacto de Sallenger.....	40
Figura 15 – Os componentes do nível da água que contribuem para as inundações costeiras com destaque para a onda runup (wave runup). Fonte: Vitousek et al. (2017). ....	41
Figura 16 – Esquema do funcionamento do modelo XBeach. Fonte: adaptado de Heleno (2017).....	44
Figura 17 – Esquema metodológico da execução do XBeach. ....	45
Figura 18 – P1: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2221 a NMM a direita.....	50
Figura 19 – P2: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2221 a NMM a direita.....	51
Figura 20 – P3: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2221 a NMM a direita.....	52



Figura 21 – P4: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2221 a NMM a direita.....	53
Figura 22 – Parâmetros morfométricos utilizando o NMM dos perfis de praia medidos. ....	55
Figura 23 – Parâmetros morfométricos utilizando o NMPS dos perfis de praia medidos. ....	57
Figura 24 – Densidade de frequência dos valores da altura, do período e da direção dos dados brutos obtidos do ERA5 (01/01/1979 a 31/12/2020) e da PNBOIA. ....	65
Figura 25 – Clima de ondas (altura e período significativos) com base nos dados do ERA5 (01/01/1979 a 31/12/2020), sendo que a esquerda é o clima de onda médio, no meio é o clima de onda de tempestade tipo 1 e a esquerda é o clima de onda de tempestade tipo 2.....	68
Figura 26 – Clima de ondas (altura e período significativos) com base nos dados da boia PNBOIA, sendo que a esquerda é o clima de onda médio, no meio é o clima de onda de tempestade tipo 1 e a esquerda é o clima de onda de tempestade tipo 2.....	69
Figura 27 – Clima de ondas do ADCP entre 11/08/2021 a 16/09/2021. ....	70
Figura 28 – Clima de ondas do ERA5 entre 11/08/2021 a 16/09/2021. A e B possuem as mesmas coordenadas no ERA5 (de 01/01/1979 a 31/12/2020) e C possui a mesma coordenada do ADCP.....	71
Figura 29 – Escala de Impacto de Sallenger aplicada tanto para o nível médio do mar (NMM) quanto para nível médio das premares de sizígia (NMPS). ....	75
Figura 30 – P1: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; e E – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021. ....	77
Figura 31 – P2: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; E – terceiro quadrat; F – quarto quadrat; e G – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021. ....	78
Figura 32 – P3: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; E – terceiro quadrat; F – quarto quadrat sendo realizada as medições na vegetação; e G – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021. ....	79
Figura 33 – P4: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; E – terceiro quadrat; e F – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021. ....	80
Figura 34 – Simulação no XBeach com vegetação dos quatros perfis de praia a partir da campanha 05/2019 utilizando o nível médio das premares de sizígia (NMPS), onde PS é o perfil simulado e PM é o perfil medido. Onde $H$ = altura de onda [m], $T$ = período de onda [s], $ah$ = altura da vegetação [m], $bv$ = diâmetro da haste da vegetação [m], $Nv$ = densidade da	

cobertura vegetal [unidade/m<sup>2</sup>],  $C_d$  = coeficiente de arrasto e PS = perfil simulado. Também foi adicionado a está figura o perfil medido (PM) campanha 05/2019 usando o NMPS..... 84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Regime de impacto de acordo com a condição de ocorrência, onde <i>Rlow</i> (elevação mínimo do nível da água), <i>Rhigh</i> (elevação máxima do nível da água), <i>Dlow</i> (base da duna) e <i>Dhigh</i> (topo da duna). Fonte: Sallenger (2000). .....	42
Tabela 2 – Cenários simulados para cada perfil de praia com as combinações de <i>Hs</i> , <i>Tp</i> e da vegetação não identificada ( <i>ah</i> , <i>bv</i> , <i>Nv</i> e <i>Cd</i> ), mantendo constante as variáveis: <i>D50</i> , <i>D90</i> , <i>NMPS</i> , <i>ρágua do mar</i> , <i>sedtrans</i> e <i>morphology</i> . .....	46
Tabela 3 – Estatística de amostra do sedimento da berma, da face da praia e do submerso. ....	61
Tabela 4 – Estatística de amostra do sedimento da crista da duna frontal. ....	62
Tabela 5 – Cenários com a relação do runup e a Escala de Impacto de Sallenger para os perfis de praia com NMM e NMPS, onde: 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação. ....	73
Tabela 6 – Medições feita na vegetação na campanha de 11/2021 referentes as figuras 30 a 33. ....	76
Tabela 7 – Síntese das informações. ....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP – *Acoustic Doppler Current Profiler*

APPs – Áreas de Proteção Permanente

ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

CHM – Centro de Hidrografia da Marinha

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

E – Leste

ECMWF – *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*

e.g. – Por exemplo

ENE – Leste-nordeste

Eq. – Equação

ERA – *European Reanalysis*

ES – Espírito Santo

ESE – Leste-sudeste

IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MATLAB – *MATrix LABoratory*

NMPS - Nível médio das premares de sizígia

N – Norte

NE – Nordeste

netCDF – *network Common Data Form*

NMM – Nível médio do mar

NNE – Norte-Nordeste

NNW – Norte-Noroeste

NW – Noroeste

PM – Perfil medido

PNBOIA – Programa Nacional de Boias

Projeto Orla – Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima

PS – Perfil simulado

RTK – Posicionamento Cinemático em Tempo Real

S – Sul

SE – Sudeste

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SW – Sudoeste

SSE – Sul-Sudeste

SSW – Sul-Sudoeste

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UTC – Tempo Universal Coordenado

UTM – Universal Transverso de Mercator

VolDuna – Volume da duna

VolPraia – Volume da praia

VolReserva – Volume de reserva

W – Oeste

WGS 84 – *World Geodetic System 1984*

WNW – Oeste-Noroeste

WSW – Oeste-Sudoeste

XBeach – *eXtreme Beach behaviour*

## LISTA DE SÍMBOLOS

$ah$  – Altura da vegetação

$bv$  – Diâmetro da haste da vegetação

$Cd$  – Coeficiente de arrasto

$D_{high}$  – Topo da duna

$D_{low}$  – Base da duna

$D_{50}$  – Diâmetro dos sedimentos em que 50% das partículas têm um tamanho menor (ou diâmetro médio do sedimento)

$D_{90}$  – Diâmetro dos sedimentos em que 90% das partículas têm um tamanho menor

$g$  – Aceleração da gravidade

$H$  – Altura de onda

$H_0$  – Altura da onda em águas profundas

$H_s$  – Altura significativa

$\overline{H_s}$  – Média da altura significativa

$L_0$  – Comprimento de onda em águas profundas

m – Metro

mm – Milímetro

$Nv$  – Densidade da cobertura vegetal

$R_{high}$  – Elevação máxima do nível da água

$R_{low}$  – Elevação mínimo do nível da água

$R$  - *Runup*

$R_2$  – *Runup* 2%

s – Segundo

$S_{2\%}$  – Swash 2%

$T$  – Período de onda

$T_p$  – Período de pico

° – Grau

$\xi_0$  – Número de Iribarren em águas profundas

$\xi$  – Número de Iribarren

$\beta$  – Ângulo da inclinação da praia

$\rho_{\text{água do mar}}$  – Massa específica da água do mar

$\varphi$  –  $\varphi_i$

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 OBJETIVOS	21
<b>1.3.1 Objetivo geral</b>	21
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b>	21
<b>2 AREA DE ESTUDO</b>	21
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	22
3.1 EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO	22
<b>3.1.1 Dinâmica dunas frontais</b>	22
<b>3.1.2 Dinâmica das praias</b>	23
<b>3.1.3 Ferramentas de estudo do sistema dunas-praias</b>	24
3.1.3.1 <i>Parâmetros morfométricos</i>	24
3.1.3.2 <i>Escala de Impacto de Sallenger</i>	25
3.1.3.3 <i>XBeach</i>	26
<b>3.1.4 Gestão das dunas frontais</b>	27
3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS	28
<b>3.2.1 Maré</b>	28
<b>3.2.2 Perfil de praia</b>	28
<b>3.2.3 Ondas</b>	31
<b>3.2.4 Sedimentos</b>	34
<b>3.2.5 Vegetação</b>	35
3.3 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	36
<b>3.3.1 Morfologia</b>	36
<b>3.3.2 Clima de ondas e definição de tempestade</b>	38
<b>3.3.3 Aplicação da Escala de Impacto de Sallenger</b>	40
<b>3.3.4 Execução do XBeach</b>	43
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	46
4.1 MOBILIDADE DO SISTEMA PRAIA-DUNAS	46
<b>4.1.1 Mobilidade de curta duração do sistema praia-dunas</b>	46
<b>4.1.2 Clima de ondas de tempestades sobre o sistema dunas-praia</b>	63
<b>4.1.3 Processos erosivos e inundacionais sob ondas de tempestades</b>	72
4.2 O PAPEL DA VEGETAÇÃO NA PROTEÇÃO DO SISTEMA PRAIA-DUNAS	76



4.3	O PAPEL DAS DUNAS FRONTAIS NA PROTEÇÃO AO LONGO DO LITORAL SUL DO ESPÍRITO SANTO .....	86
5	CONCLUSÕES.....	89
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
	APÊNDICE A – CONDIÇÕES DE TEMPO E DE ONDAS COM 5 DIAS ANTES DA CAMPANHA <sup>4</sup> .....	108
	APÊNDICE B – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DO MAR (NMM) DOS PERFIS MEDIDOS .....	112
	APÊNDICE C – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DAS PREMARES DE SIZÍGIA (NMPS) DOS PERFIS MEDIDOS.....	114
	APÊNDICE D – CLIMA DE ONDAS DOS DADOS BRUTOS DO ERA5 (01/01/1979 A 31/12/2020) E DA PNBOIA .....	116
	APÊNDICE E – VALORES DAS VARIÁVEIS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DO MAR (NMM) DOS PERFIS MEDIDOS.....	117
	APÊNDICE F – VALORES DAS VARIÁVEIS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DAS PREMARES DE SIZÍGIA (NMPS) DOS PERFIS MEDIDOS.....	121
	APÊNDICE G – <i>D</i> <sub>50</sub> E <i>D</i> <sub>90</sub> DO SEDIMENTO CONCOMITANTE DOS PERFIS MEDIDOS .....	125
	ANEXO A – DEFINIÇÃO DE MÉDIA, MEDIANA, ASSIMETRIA E GRAU DE SELEÇÃO	126
	ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DO TAMANHO DE GRÃO DE UDDEN-WENTWORTH (GALLAGHER <i>ET AL.</i> , 2017).....	127
	ANEXO C – FÓRMULAS ESTATÍSTICAS USADAS NO CÁLCULO DE PARÂMETROS DE MÉDIA ( <i>MEAN</i> ), GRAU DE SELECIONAMENTO ( <i>STANDARD DEVIATION</i> ), ASSIMETRIA ( <i>SKEWNESS</i> ) E CURTOSE ( <i>KURTOSIS</i> ) PELO MÉTODO DE FOLK & WARD (1957) EXPRESSOS NA ESCALA LOGARÍTMICA (BASEADA EM UMA DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL, EM QUE OS TAMANHOS DOS GRÃOS SÃO EXPRESSOS EM $\Phi$ ) (BLOTT & PYE, 2001).....	128

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Dunas frontais são cristas de dunas arenosas com vegetação formadas nos setores mais próximos do mar das faixas da retropraia (*back beach*<sup>1</sup>) (HESP, 1984, 2002a). Elas são encontradas em diversos locais, do Ártico aos Trópicos (HESP, 2002b; RUZ & HESP, 2014).

Quanto à relação das dunas frontais com a praia, Short & Hesp (1982) citam que as taxas de transporte eólico são possivelmente maiores em praias dissipativas desenvolvendo dunas frontais com maiores volume e extensão a sotavento; e em praias refletivas, estas taxas de transporte eólico são menores formando dunas frontais limitadas a inexistentes. Entre estes dois extremos, estão as praias intermediárias que apresentam as taxas de transporte pelo vento moderadas produzindo dunas frontais entre estes intervalos (SHORT & HESP, 1982).

Segundo Komar (2018), as maiores partículas de sedimento geralmente são localizadas em áreas de alta energia, com diminuição do tamanho em direção ao continente. Isto se deve ao fato do vento selecionar os grãos de sedimento mais finos para o transporte e deixar os grãos mais grossos para trás (TABAJARA & MARTINS, 2006). Logo, o tamanho dos sedimentos vai decrescendo em direção ao continente devido à alteração do agente transportador, hidrodinâmico para o eólico (TABAJARA & MARTINS, 2006)

A função das dunas frontais é de proteger a costa contra inundações e erosão causada por ondas e elevados níveis de água durante condições extremas de tempestade (HOUSER, 2013). Degradação, destruição ou alteração destes subambientes (dunas frontais) podem modificar a dinâmica e o fornecimento de sedimentos para o sistema praia-dunas, reduzindo a proteção costeira e aumentando os processos erosivos (e.g. MARTÍNEZ & PSUTY, 2007; GARCÍA DE LOMAS *et al.*, 2011).

Em condições de maior energia das ondas pode ocorrer a transposição das ondas (*overwash* ou galgamento), que, por definição, é quando o fluxo de água e sedimentos passa sobre a crista do berma ou o topo da duna frontal, se existente, e não retorna diretamente para o local onde se originou (DONNELLY

<sup>1</sup> Na terminologia brasileira, *back beach* refere-se a **retropraia** (MUEHE, 2019). Ver figura 3.

*et al.*, 2004; DONNELLY *et al.*, 2006; DONNELLY, 2007) e é mais evidente em eventos de tempestade (DONNELLY, 2007; SEDRATI *et al.*, 2011; MATIAS *et al.*, 2019). A transposição das ondas ocorre com frequência em praias arenosas e em ilhas barreiras arenosas, mas também podem acontecer em lagos, costas de baixo gradiente, em esporões, e praias de cascalho ou calhau (DONNELLY *et al.*, 2006). Os sedimentos depositados por transposição das ondas são conhecidos como sedimentos de transposição (*washover*) (DONNELLY *et al.*, 2009; MCCALL *et al.*, 2010; SEDRATI *et al.*, 2011).

A magnitude das inundações e erosão durante eventos de tempestades depende não apenas da duração e intensidade dos impactos das ondas (e.g. LARSON *et al.*, 2004) mas também na inclinação da praia, largura e altura das dunas (e.g. SALLENGER, 2000; MORTON, 2002; PLANT & STOCKDON, 2012).

Existem inúmeras ferramentas que auxiliam na compreensão dos sistemas costeiros e em especial nas alterações morfológicas de perfis de praia, o XBeach (*eXtreme Beach behaviour*), que foi utilizado no presente trabalho, é um modelo numérico que visa avaliar a interação de ondas energéticas no sistema praia-duna. Ele foi projetado com base nos quatro regimes de impacto de tempestade estabelecidos por Sallenger (2000): regime de espraiamento, regime de colisão, regime de transposição e regime de inundação. O XBeach demonstrou reproduzir com sucesso a morfologia após a tempestade devido à erosão da duna frontal e processos de transposição em diferentes locais em todo o mundo, incluindo a Itália (ARMAROLI *et al.*, 2013), os Estados Unidos (GHARAGOZLOU *et al.*, 2020) e a Holanda (DE WINTER *et al.*, 2015).

É importante avaliar a competência de proteção das dunas sobre a orla em condições de tempestade e muitas delas são realizadas, em primeira instância, por ferramentas computacionais. Este exercício permite a primeira avaliação da vulnerabilidade, sem substituir as posteriores validações em campo.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Os municípios litorâneos do Sul do Espírito Santo, Marataízes e Presidente Kennedy (localizado na divisa com o estado do Rio de Janeiro) apresentam

particularidades mesmo com a curta distância entre eles (FILGUEIRAS & ALBINO 2020). Marataízes tem uma urbanização mais concentrada próximo a orla enquanto que Presidente Kennedy tem a ocupação urbana mais ao interior do município por ser o único município praiano do Espírito Santo que tem a sede não localizada na orla (GIRARDI & COMETTI, 2006).

Além do mais, estes municípios capixabas apresentam uma diversidade geomorfológica em contato com o mar, dentre elas: extensas planícies costeiras, falésias vivas, estreitas planícies quaternárias e afloramentos cristalinos (ALBINO *et al.*, 2016). Filgueiras & Albino (2020) demonstraram que a vulnerabilidade, em quase metade da extensão litorânea, é moderada a muito alta à erosão para as regiões do litoral com presença de falésias e à inundação para as extensas planícies costeiras com baixa altimetria.

Segundo Albino *et al.* (2006), as praias do litoral sul possuem tipologia dissipativa com pequena declividade e suprimento de areias fluviais finas, oriundas dos aportes fluviais dos rios Itapemirim e Itabapoana. Estas praias estão relacionadas a dunas frontais, geralmente modificadas pelos calçadões e quiosques, como no Balneário de Marataízes, o que indisponibiliza os sedimentos costeiros ao transporte, provocando erosão por ocasião do aumento na energia das ondas (ALBINO *et al.*, 2006). Já no Balneário de Presidente Kennedy, o aporte de sedimentos somada a ocupação rarefeita permitem a progradação da linha de costa (ALBINO *et al.*, 2006). Ainda em Presidente Kennedy, na Praia das Neves há evidências de *overwash* (figura 1) durante passagem de frentes frias acompanhadas de precipitações (ALBINO *et al.*, 2006).



Figura 1 – Evidências de *overwash* na Praia das Neves. Fonte: Albino *et al.* (2006).

Filgueiras (2020) mapeou a altura da barreira arenosa nestes dois litorais e constatou que 33% deste litoral apresenta dunas frontais com alturas entre 5,98m e 6,55m; 9% do litoral tem dunas frontais com alturas entre 4,88m e 5,43m; 18% do litoral possuem dunas frontais com alturas entre 4,33m e 4,88m; e 40% do litoral engloba as dunas frontais ou ausência destas com alturas inferiores a 4,33m.

As dunas sem a presença de vegetação se tornam móveis e os ventos carregam os grãos de areia provocando processos erosivos e os transportam para outros locais, tornando-se um risco para o ambiente costeiro e, principalmente, para população litorânea, podendo soterrar as cidades (ARAUJO *et al.*, 2005; VEGA DE SEOANE *et al.*, 2007). A antiga vila de Itaúna no município de Conceição da Barra – Espírito Santo (ES) é um exemplo de soterramento pela eliminação da vegetação (TOLENTINO, 2021).

Folli (2021) verificou que os trechos no extremo sul, na proximidade da foz do Itabapoana, estão localizados em um segmento de litoral com histórico de progradação desde a deposição dos cordões litorâneos antigos no Pleistoceno. Logo, segundo a autora, as dunas desta área são mais antigas, altas e desenvolvidas mesmo com algum episódio de erosão devido a exposição às ondas.

Nos trechos ao norte, podem ser observados cordões litorâneos recentes, os quais são mais estreitos devido à redução no aporte sedimentar em razão do distanciamento da foz do Itabapoana e a um menor espaço de acomodação em razão da proximidade da Formação Barreiras (FOLLI, 2021).

Ainda nos trechos ao norte, a planície afunila e ao esbarrar nas falésias da Formação Barreiras onde o espaço de acomodação para o sedimento diminui drasticamente (FOLLI, 2021).

Diante deste cenário, o presente estudo visa contribuir para o gerenciamento costeiro adequado e o melhor entendimento da morfodinâmica do sistema praia-dunas frontais.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Determinar a atuação das dunas frontais na proteção da orla, a partir de uso de ferramentas, ao longo do litoral sul do ES.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar a mobilidade do sistema praia-dunas frontais sob diferentes cenários de condições oceanográficas;
- Discutir a aplicabilidade de ferramentas em diagnósticos de proteção dunas.

## 2 AREA DE ESTUDO

O Estado do Espírito Santo está situado na região sudeste do Brasil, ocupando uma área de 45597 km<sup>2</sup> e com linha de costa de 521 km de extensão, aproximadamente (NETTO & DI BENEDETTO, 2007). Ao longo da costa, aproximadamente 40% da área do estado está na faixa de planície e, conforme se desloca em direção ao interior, o planalto dá origem a uma região serrana (SILVA & LIMA, 2011). O clima nesse trecho do litoral brasileiro é do tipo W

pseudo-equatorial na classificação climática de Köppen (NETTO & DI BENEDETTO, 2007), caracterizado por chuvas tropicais de verão (outubro a março) e estação seca durante o outono e inverno (abril a setembro) (ALBINO, 1999).

A área de estudo compreende ao litoral dos municípios de Presidente Kennedy e Marataízes no extremo sul do Espírito Santo (figura 2).

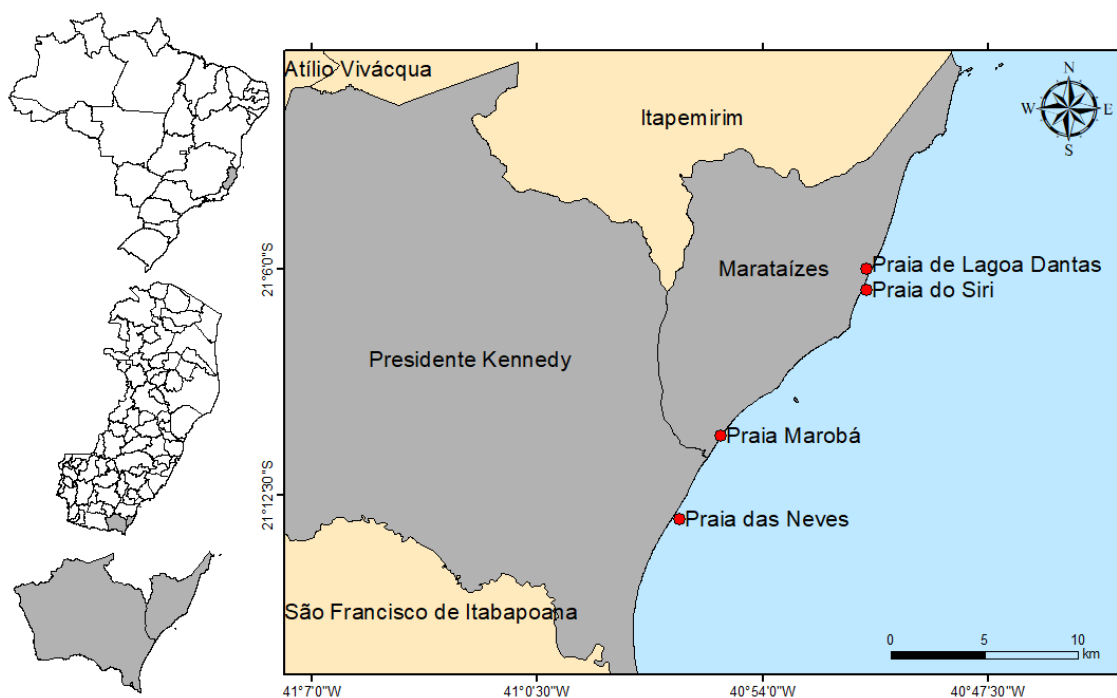


Figura 2 – Área de estudo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO

##### 3.1.1 Dinâmica dunas frontais

A vegetação das dunas frontais é constituída por plantas de pequeno porte e de crescimento lento, por exemplo, *Blutaparon* spp. no sul do Brasil ou por plantas de grande porte, como *Atriplex* spp. na Austrália Ocidental, ou salgueiro (*Salix* spp.) no Grandes Lagos do Canadá (HESP& SMYTH, 2019).

As dunas frontais são formadas à medida que o sedimento é transportado pelo vento da praia exposta para uma cobertura de plantas (HESP& SMYTH, 2019).

O aumento do arrasto e menor velocidade determinada pelas plantas causa a deposição da areia (FURIERI *et al.*, 2014). Hesp & Smyth (2019) afirmam que com passar do tempo, à medida que as plantas crescem para cima e em direção ao mar, este processo favorece que os topos das dunas frontais sejam mais largos e mais altos.

A morfologia resultante da duna frontal depende da densidade e distribuição da planta, tipo de espécie, velocidade do vento e suprimento de sedimentos (HESP, 2002b). Segundo Psuty (1993), o desenvolvimento das dunas frontais depende da disponibilidade de sedimentos da praia, que por sua vez, provém da deriva litorânea, além dos aportes do transporte transversal.

### **3.1.2 Dinâmica das praias**

Constantemente, as praias (terminologia praia em inglês: *backshore* – ver figura 3) sofrem mudanças na morfologia e no volume de sedimento por ser um ambiente dinâmico (OLIVEIRA FILHO & FERNANDEZ, 2017). Estas alterações são devido à ação de ondas, juntamente com marés e ventos (ALMEIDA *et al.*, 2015; PRADHAN *et al.*, 2019). Brand *et al.* (2019), Prakash *et al.* (2021), Mokhtar *et al.* (2022) e Prieto (2022) ainda acrescentam as correntes.

A praia pode ter erosão, sedimentação e equilíbrio a curto prazo, por meio de forças naturais (onda, corrente, maré e vento), e, a longo prazo, por causa das flutuações do nível relativo do mar (MANSO *et al.*, 2018).

Além disto, praias dissipativas são caracterizadas pela presença de sedimentos finos e as praias refletivas pelos sedimentos grossos (TSUKADA *et al.*, 2021).





Figura 3 – Terminologia da zona de arrebentação, surfe, praia e retropraia em inglês e respectiva tradução para o português. Fonte: Muehe (2019).

Em costas arenosas, geralmente, as praias tendem a ter acreção em condições de ondas menos energéticas e erosão em ondas mais energéticas (WRIGHT & SHORT, 1984; STIVE *et al.*, 2002). As tempestades costeiras são condições de ondas mais energéticas em ambientes costeiros que podem potencialmente ocasionar erosão da praia (RUSSELL, 1993).

### 3.1.3 Ferramentas de estudo do sistema dunas-praias

#### 3.1.3.1 Parâmetros morfométricos

Os parâmetros morfométricos são: volume da duna, largura da duna, altura da duna, volume da praia, largura da praia, altura da praia e volume de reserva.

O aumento do volume da duna leva a uma maior inércia e diminui a taxa de recuo das linhas costeiras da barreira (JACKSON *et al.*, 2019). Enquanto que dunas muito largas é indicativo que não está tendo erosão. Já a elevação da crista da duna é um determinante chave da vulnerabilidade de transposição (HOUSER *et al.*, 2008).

De acordo com Quartel *et al.* (2008), a redução do volume da praia e na largura da praia sugere degradação da costa. Já um aumento na altura da praia indica que o *runup* terá que ser forte o suficiente para alcançar a base da duna.

O volume reserva não pertence nem a duna nem a praia (DE ALMEIDA *et al.*, 2019) e ele é utilizado quando ocorre falta de sedimento entre o sistema praia-duna.

### 3.1.3.2 Escala de Impacto de Sallenger

Segundo Guza & Thornton (1982), a localização do nível da água da costa é importante para mensurar a dinâmica costeira. O máximo alcance vertical do espraiamento de tempestade (PAULA *et al.*, 2021), conhecido como *runup*, é um movimento ascendente do volume de água da onda através da face da praia (ERIKSON *et al.*, 2005) ou de uma estrutura costeira (BALDOCK *et al.*, 1997).

A Escala de Impacto foi desenvolvida por Sallenger (2000) para avaliar a interação de ondas de tempestade no sistema praia-dunas frontais. Em outras palavras, a proposta tem como base a definição do *runup* e sua relação com a geometria do sistema praia-dunas frontais. Esta escala se baseia em quatro regimes de impactos (figura 4):

- Nível 1 (espraiamento): espraiamento da onda fica confinado na face da praia, onde o potencial de erosão e a inundação neste regime é teoricamente limitada à praia subaérea (ou seja, abaixo da base da duna) e os impactos da tempestade são considerados relativamente menores (CASTELLE & HARLEY, 2020);
  - Nível 2 (colisão): espraiamento atingir a base da duna;
  - Nível 3 (transposição): espraiamento ultrapassar a crista da duna ou, quando a duna estiver ausente, a crista do berma; e
  - Nível 4 (inundação): duna completamente inundada, onde representa o mais extremo dos quatro regimes de impacto (CASTELLE & HARLEY, 2020).



Figura 4 – Exemplos dos quatro regimes de impacto de tempestades de acordo com Sallenger (2000), onde  $R_{low}$  (elevação mínimo do nível da água),  $R_{high}$  (elevação máxima do nível da água),  $D_{low}$  (base da duna) e  $D_{high}$  (topo da duna) Fonte: adaptado de Castelle & Harley (2020).

### 3.1.3.3 XBeach

XBeach é um modelo hidro-morfodinâmico de código aberto (ROELVINK *et al.*, 2009; ROELVINK *et al.*, 2018) que, inicialmente, foi desenvolvido para simular o impacto de tempestades e furacões extremos próximo às costas arenosas (ROELVINK *et al.*, 2009). Desde então, o modelo foi aplicado a outros tipos de costas, dentre elas: costas com sistemas de recifes de coral (QUATAERT *et al.*, 2020), planícies de maré (VAN SANTEN *et al.*, 2012) e costas de cascalho (WILLIAMS *et al.*, 2015). Além destas costas citadas, o XBeach foi ampliado com várias formulações para poder simular fluxo e ondas em costas com vegetação (por exemplo, manguezais, ervas marinhas, algas, etc.) sendo desenvolvido um módulo de vegetação (VAN ROOIJEN *et al.*, 2016; ROELVINK *et al.*, 2015).

### 3.1.4 Gestão das dunas frontais

As ações humanas podem alterar a morfologia (forma, topografia e dimensão), vegetação e evolução das dunas costeiras<sup>2</sup>, ou frequentemente, extingui-las (NORDSTROM, 2000). Isto pode ser resultado da recreação e pisoteio, usos industriais e comerciais, eliminação de resíduos, espécies invasoras e usos do solo, como infraestrutura urbana, agricultura e mineração, entre outros (GÓMEZ-PINA *et al.*, 2002; CABRERA-VEGA *et al.*, 2013; LITHGOW *et al.*, 2013).

Delgado-Fernandez *et al.* (2019) sugerem que o manejo das dunas costeiras deve se concentrar no controle dos impactos humanos e não nos processos naturais. Algumas técnicas de restauração de dunas incluem o uso de cercas em áreas sensíveis para reduzir os efeitos de pisoteamento humano, passarelas de dunas elevadas para evitar danos para as dunas do tráfego de pedestres e cartazes informativos colocados em locais adequados para tornar os visitantes da praia ciente da importância e da restauração das dunas (GÓMEZ-PINA *et al.*, 2002).

No Brasil, as dunas são consideradas Áreas de Proteção Permanente (APPs) (Brasil, 2012) e para a conservação destes ambientes é necessário a implantação de planos, programas e medidas governamentais voltados a disciplinar os seus usos e/ou manejos (CONAMA, 2002).

O aumento do nível do mar, as alterações nos padrões climáticos regionais e o aumento das populações, e conseqüentemente da infraestrutura, na zona costeira resultam em um risco perceptível, considerável e crescente de erosão na costa (CALLAGHAN *et al.*, 2009; ANDERSON *et al.*, 2015). Wamsley *et al.* (2015) afirmam que as áreas costeiras atuais estão comprometidas por erosão e danos por ação de ondas de tempestade, vento e ondas.

O Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto Orla) estabelece limites para a segurança da orla quando o litoral é arenoso (MUEHE, 2001): se for urbanizado, 50m a partir do limite da praia ou da base do reverso da duna frontal quando presente; se não for urbanizado, 200m a partir do limite da praia ou da base do reverso da duna frontal quando presente.

<sup>2</sup> Dunas frontais é um tipo de dunas costeiras (HESP & WALKER, 2013).

## 3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

### 3.2.1 Maré

Segundo Stoker (1992), a maré é definida como a subida e descida periódica da água resultantes de interações gravitacionais entre o Sol, Lua e Terra.

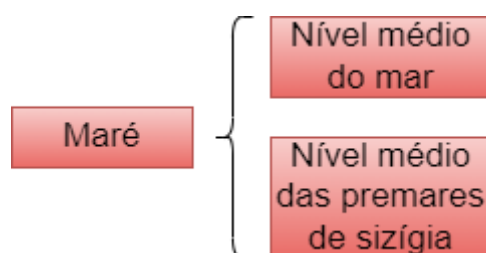


Figura 5 – Esquema metodológico da maré.

A figura 5 mostra o esquema metodológico da maré na qual o nível médio do mar (NMM) empregado foi da tábua de maré do Terminal da Ponta de Ubu (CHM, 2020a) para a confecção dos perfis de praia e posteriormente foi utilizado a carta náutica na Proximidades da Ponta de Ubu (CHM, 2020b) para realizar o recorte destes perfis utilizando o nível médio das premares de sizígia (NMPS) (figura 5). Este recorte é representado pela diferença, em módulo, entre NMPS e NMM. Por exemplo (ano de 2019): o NMM foi 0,82m (no gráfico equivale ao 0) e a NMPS foi 1,5m  $\rightarrow$  recorte =  $|1,5\text{m} - 0,82\text{m}| = 0,68\text{m}$  (será o novo zero do gráfico).

Conhecer o nível influenciado pelas marés e qualquer maré de tempestade sobreposta é importante para verificar a ocorrência e gravidade da erosão costeira, pois níveis elevados de água podem resultar em inundações de áreas costeiras de baixa altitude e deslocar a zona de arrebenção para terra, de modo que as ondas atacam diretamente as propriedades costeiras (KOMAR, 2018). Neste caso quando há antropização do subambiente das dunas frontais.

### 3.2.2 Perfil de praia

Perfil de praia, por definição, conforme Muehe (2020), é um perfil topográfico transversal à praia que é utilizado para descrever a configuração morfológica e as diferentes feições morfológicas, o volume de sedimentos, o estágio

morfodinâmico, monitorar a evolução e resposta a tempestades ou mudança do nível do mar; e avaliar o estado em termos de equilíbrio ou desequilíbrio sedimentar, se incluir a antepraia (*shoreface*).

A realização do perfil praiial foi feita durante a maré baixa em praias que apresentam dunas frontais. Os perfis de praia foram disponibilizados pelo Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia Costeira da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) do *Campus* de Goiabeiras. As campanhas 02/2018, 07/2018, 09/2018 e 11/2021 (somente P1 e P2) foram utilizados o equipamento nível topográfico (ou nível óptico); e as campanhas 11/2018, 02/2019, 05/2019 e 09/2021 (somente P3 e P4) foram usados o equipamento posicionamento cinemático em tempo real (RTK) (figura 6).

O nível topográfico é um instrumento que consiste na determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras (LAURO *et al.*, 2018). Já o RTK permite determinar a posição acurada em tempo real através de dois receptores coletando dados continuamente, sendo um dos receptores chamado de estação de referência (base) que fica posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e o outro receptor (receptor móvel), localizado nas proximidades, coleta dados nos pontos de interesse para determinação da posição em tempo real (BARBOSA *et al.*, 2010). Muehe *et al.* (2020) comparam o emprego destes dois equipamentos utilizados e os resultados obtidos indicam não haver diferenças significativas, independente de qual dos equipamentos for empregado.

O levantamento foi realizado da retropraia, que inclui a duna frontal, até a *nearshore*<sup>3</sup> (neste estudo chamou-se de submerso), exceto na campanha de 11/2021. Os pontos de nivelamento estavam pré-definidos dos campos anteriores (tendo início em um marco georreferenciado) e sempre partindo de uma mesma cota, evitando os erros em razão da posição da maré. Nestes levantamentos os dados obtidos foram elevação e distância em determinada paradas ao longo do perfil transversal, ambos na unidade de metro.

<sup>3</sup> Na terminologia brasileira, *nearshore* refere-se a **zona de arrebentação e surfe** (MUEHE, 2019). Ver figura 3.



Figura 6 – Equipamentos para realizar o perfil de praia, da esquerda para a direita: nível topográfico, RTK, balizas de Emery, Estação Total. Foram utilizados em campo somente o nível topográfico e RTK. Fonte: Muehe *et al.* (2020).

O *datum* vertical para cada perfil foi ajustado ao nível do mar na posição do refluxo da onda e em seguida corrigido para o nível médio previsto para o Terminal da Ponta de Ubu, em Anchieta, situado nas proximidades da área de levantamento, usando o método proposto por Muehe (2003).

A localização dos quatro perfis de praia (P1, P2, P3 e P4) das campanhas para o levantamento topográfico pode ser vista na figura 7.

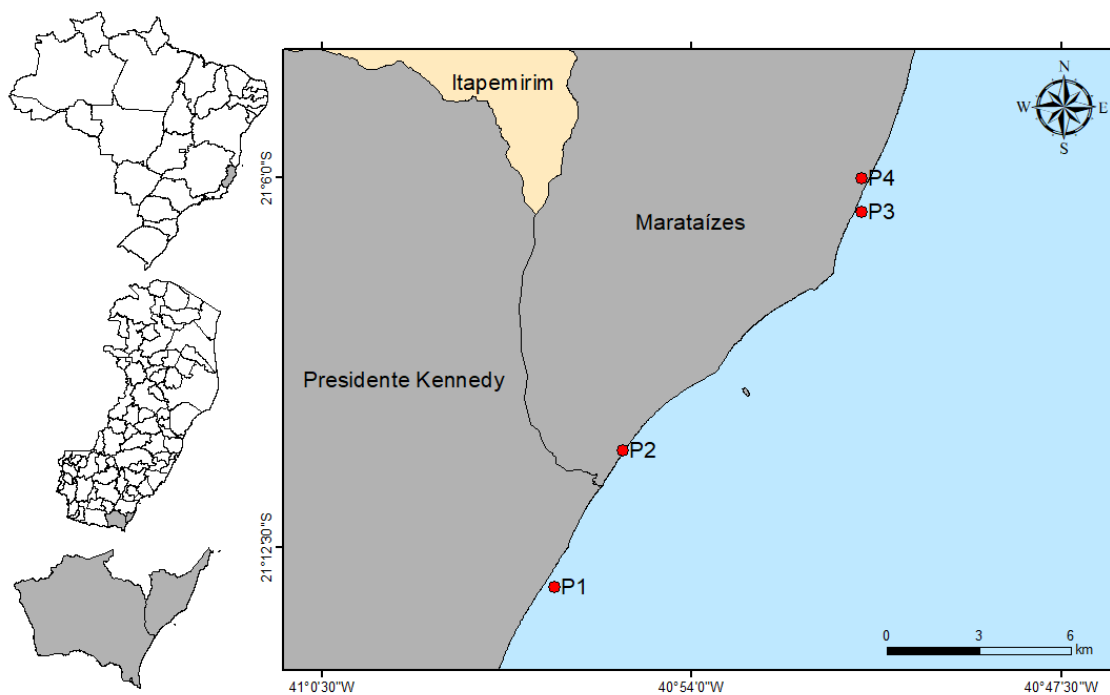


Figura 7 – Localização dos perfis de praia (P1, P2, P3 e P4).

Os dados levantados do perfil de praia foram analisados usando o software MATLAB and Simulink Student Suite, versão 9.9.0.1538559 (R2020b) Update 3 e licença 40983841, através do gráfico elevação (m) versus distância (m). As plotagens dos perfis de praia das campanhas foram feitas à NMM.

### 3.2.3 Ondas

As campanhas de medições de ondas são realizadas por curtos períodos (ROMEY *et al.*, 2012), por este motivo os dados sobre regime de ondas são bem escassos. Por isto, optou-se a utilizar os dados do modelo de reanálise ERA5 (5ª geração de reanálises atmosféricas do Centro Europeu - *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* - ECMWF) (HERSBACH *et al.*, 2020), os quais foram validados utilizando os dados da boia PNBOIA (Programa Nacional de Boias) de Vitória.

As variáveis usadas do acervo de dados do ERA5 foram o período de pico da onda (pp1d), a altura significativa de onda combinada com ondas de ventos e swell (swh) e a direção média da onda (mwd) entre 01 de janeiro de 1979 a 31



de dezembro de 2020. Por estarem em águas profundas, estes dados apresentam resolução horizontal de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  para a reanálise e  $1^\circ$  para os produtos de conjunto (por exemplo: média); e 1 hora em resolução temporal (HERSBACH & DEE, 2016).

Estas variáveis foram obtidas ao acessar o link <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form> (DOI: 10.24381/cds.adbb2d47), onde um *script* é gerado de acordo com os itens selecionados (tipo de produto: reanálise; variáveis: pp1d, swh e mwd; ano: todos selecionados; mês: todos selecionados; dia: todos selecionados; tempo em UTC: todos selecionados; área geográfica: extração da sub-região no oceano; e formato: NetCDF). Posteriormente, este *script* foi usado no Spyder 4.2.1 para o *download* destas variáveis.

O ponto escolhido para download dos dados do ERA5 foi oceânico (plataforma continental) e está próximo aos municípios de Marataízes e Presidente Kennedy, cuja coordenadas em graus decimais no sistema de coordenadas geográficas WGS 84 (*World Geodetic System* 1984) são latitude = -21,23 e longitude = -40,27 (figura 8).

Os dados do ERA5 foram validados com medições feitas com a boia PNBOIA de Vitória, também em águas profundas, de localização em graus decimais no sistema de coordenadas geográficas WGS 84: latitude= -19,93 e longitude= -39,7 (figura 8) que está disponível em <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-dogoos-brasil/pnboia-mapa>. As variáveis usadas na boia foram o período de pico da onda (dpd), a altura significativa de onda (wvht) e a direção média da onda (mwd). O período de operação desta boia foi entre 13/10/2015 à 23/07/2017. O tratamento dos dados do PNBOIA foi usado o *software* Spyder 4.2.1 com Python 3.8.5 para remoção dos valores -9999 (erro do equipamento).

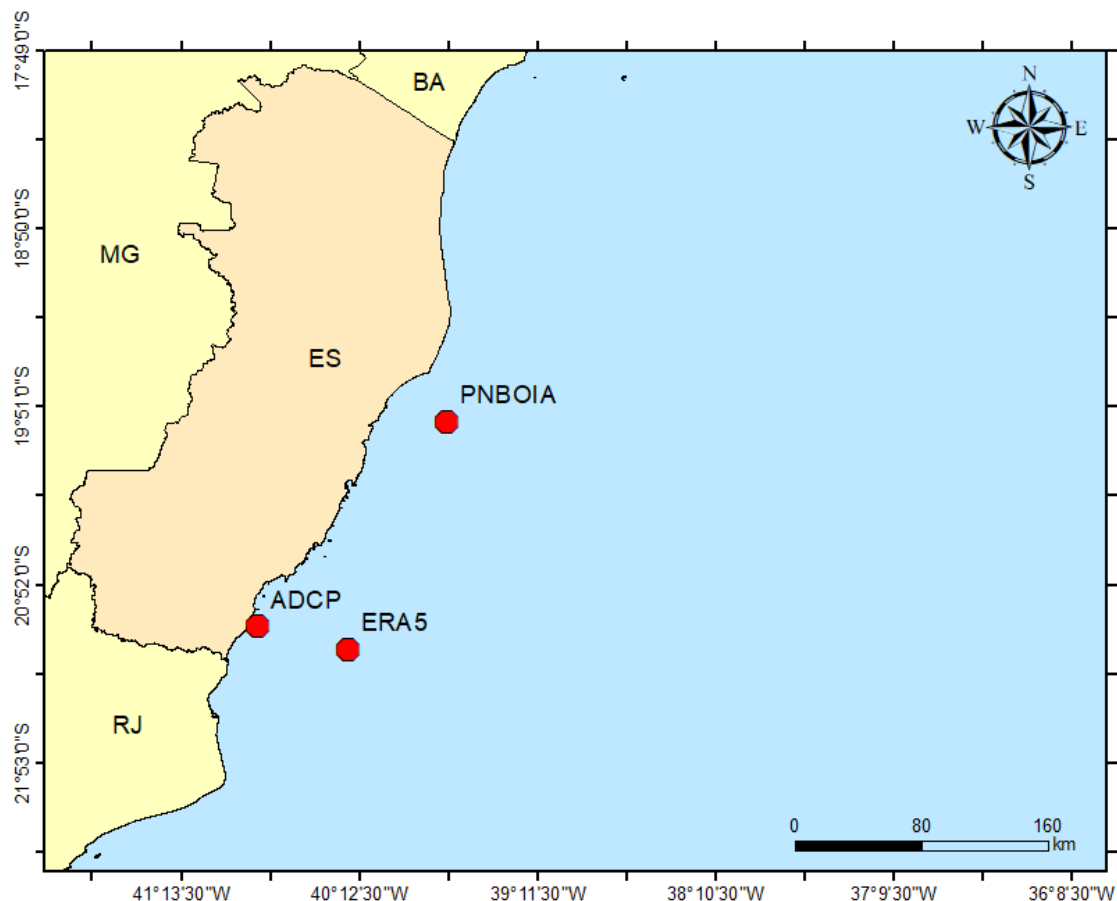


Figura 8 – Localização da boia PNBOIA Vitória, do ERA5 e do fundeio do ADCP.

Dados de ondas medidos através do ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) de 11/08/2021 a 16/09/2021 foram disponibilizados pelo Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia Costeira. O equipamento foi fundeado na localização em graus decimais no sistema de coordenadas geográficas WGS 84: latitude= -21,10 e longitude= -40,78 (figura 8). As variáveis utilizadas foram altura significativa de onda ( $H_S$ ), período de pico ( $T_p$ ) e direção média.

Dados do ERA5 foram novamente baixados com o mesmo período do ADCP, com coordenadas *offshore* (a mesma do ERA5 da figura 8) e também com as mesmas coordenadas do ADCP fundeado (figura 8).

### 3.2.4 Sedimentos

O Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia Costeira disponibilizou um banco de dados de granulometria das areias (sedimentos coletados na berma, na face da praia e no submerso) ao longo do litoral sul do Espírito Santo, concomitantemente ao levantamento dos perfis de praia.

Somente na campanha 11/2021 foram realizadas coletas de sedimentos sobre a crista da duna frontal em P1, P2 e P4. Em laboratório, as amostras de sedimentos dunares (recipientes identificados com data e local da coleta) foram lavadas e secas em estufa, e peneiradas em um conjunto de peneiras [Método da Peneiração conforme Dias (2004)]. Posteriormente, o sedimento retido em cada peneira foi pesado e anotado na planilha fornecido pelo laboratório.

As planilhas, tanto do banco de dados de granulometria das areias quanto dos sedimentos das dunas frontais, foram analisadas no *software* GRADISTAT versão 8.0.. Este programa pode ser baixado gratuitamente pelo sítio eletrônico <http://www.kpal.co.uk/gradistat.html> (BLOTT & PYE, 2001).

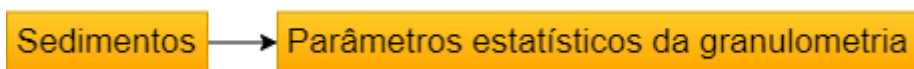


Figura 9 – Esquema metodológico dos sedimentos.

O GRADISTAT forneceu os parâmetros estatísticos da granulometria após o processamento das amostras sedimentares (figura 9): média (diâmetro médio), mediana (diâmetro mediano ou  $D_{50}$ ), grau de seleção (desvio padrão), assimetria e as porcentagens de cascalho, areia e lama. As medidas de tendência central (média e mediana) foram usados a tabela de classificação granulométrica de Udden-Wentworth (anexo B) e as medidas de dispersão (grau de seleção e assimetria) foi usado método de Folk & Ward (1957) expressos na escala logarítmica (baseada em uma distribuição log-normal, em que os tamanhos dos grãos são expressos em  $\phi$ ) (anexo C). As definições destas medidas podem ser vistas no anexo A.

O aplicativo também forneceu o 90° percentil ( $D_{90}$ ). Este e o  $D_{50}$  são obtidos a partir das curvas de distribuição granulométrica e representa o diâmetro das partículas, em que o índice indica o percentual da amostra com diâmetro de partícula menor ou igual ao valor encontrado para determinado diâmetro característico. Por exemplo,  $D_{50}$  igual a 0,19mm significa que 50% da amostra tem diâmetro menor ou igual a 0,19mm.

### 3.2.5 Vegetação

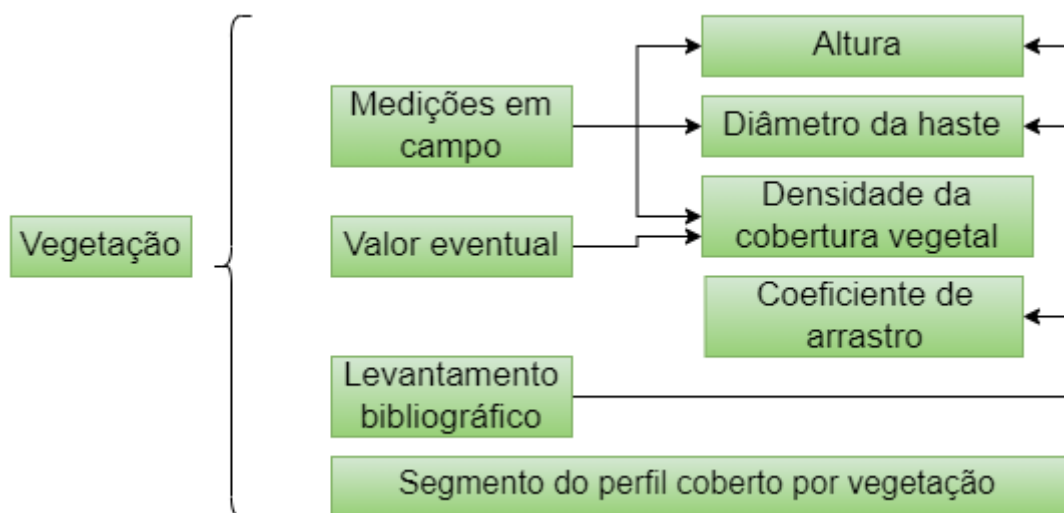


Figura 10 – Esquema metodológico da vegetação.

A figura 10 traz o esquema metodológico desta secção.

A vegetação não identificável para a restinga foi baseada na busca de espécies vegetais deste ecossistema através dos estudos de Pereira & Assis (2000) e Braz *et al.* (2013). Depois disto, foram escolhidos valores para as seguintes características:

- altura ( $ah$ ): 0,1m e 1,2m; e
- diâmetro da haste ( $bv$ ): 0,001m e 0,01m.

A densidade da cobertura vegetal ( $Nv$ ) foi escolhida de modo eventual: 10 unidades/m<sup>2</sup> (pouca vegetação) e 120 unidades/m<sup>2</sup> (muita vegetação).

Além disto, foi considerada o segmento do perfil coberto por vegetação da crista da duna frontal (ou da retropraia, quando houver) até base na duna frontal. Este segmento é calculado através do perfil de praia, desde que se conheça o início e o final da vegetação (marcado durante a realização das campanhas).

O coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) da vegetação, número adimensional que define como se dará o atrito entre a vegetação e o ar, varia entre 0,0 a 1,5 (LIU & ZENG., 2016; NEPF, 1999), excepcionalmente podendo chegar até 3,0 (LIU & ZENG, 2016). Os valores de  $C_d$  definidos foram 0,5, 1,5, 2,5, e 3,0.

Na campanha de 11/2021, em campo, foram feitas as seguintes medições na crista da duna para comparação com a simulação: altura da vegetação, diâmetro da haste e densidade da vegetação (unidade/m<sup>2</sup>). Os dois primeiros foram utilizados uma fita métrica para as medições e o último pelo método dos *quadrats* (em um quadrado de 1m por 1m foram contados a quantidade de plantas existente nele).

### 3.3 TRATAMENTO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

#### 3.3.1 Morfologia

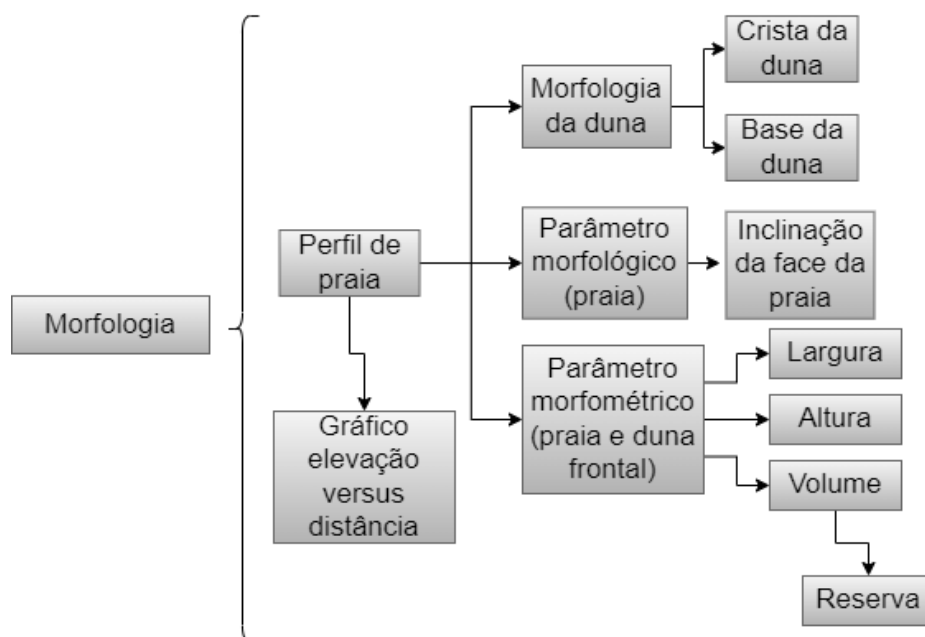


Figura 11 – Esquema metodológico da morfologia.

Através do gráfico elevação (m) versus distância (m) obtido no perfil de praia foi possível estimar do sistema praia-duna frontal as feições morfológicas da duna (base e a crista da duna), além de calcular o parâmetro morfológico da praia (inclinação ou *slope* da face da praia) (figura 11). Também foram calculados no MATLAB, tanto da praia como das dunas frontais (com NMM e NMPS), os parâmetros morfométricos (volume, largura e altura) conforme de Almeida *et al.* (2019) (figura 11). Em perfis topográficos bidimensionais que apresentam apenas dados de altimetria e distância, o volume é obtido adicionando como medida da terceira dimensão, 1 metro para a unidade ficar  $m^3/m$  (OLIVEIRA FILHO & FERNANDEZ, 2017). Os volumes foram calculados como a área sob cada curva de perfil obtidos pela delimitação do polígono usando primeiramente a função *polyshape* e em seguida a função *area*. Segundo de Almeida *et al.* (2019), os limites para os cálculos (figura 12) são:

- Volume da duna (VolDuna): área numericamente integrada entre o perfil da duna frontal e a linha horizontal do nível da base da duna frontal [ $m^3/m$ ];
- Largura da duna: distância horizontal entre a base e a crista da duna frontal [m];
- Altura da duna: distância vertical entre a base e a crista da duna frontal [m];
- Volume da praia (VolPraia): área numericamente integrada entre o perfil da praia e a linha horizontal do NMPS [ $m^3/m$ ]. Também foi feito considerando a linha horizontal do NMM;
- Largura da praia: distância horizontal entre NMPS e a base da duna frontal [m]. Também foi feito considerando a linha horizontal do NMM;
- Altura da praia: distância vertical entre NMPS e a base da duna frontal [m]. Também foi feito considerando o NMM; e
- Volume de reserva (VolReserva): área que inclui, horizontalmente, a largura da duna e, verticalmente, a altura da praia, pertencendo nem para a duna frontal nem para a praia subaérea [ $m^3/m$ ].

Neste estudo, o meio da crista da duna frontal foi escolhido como o ponto referencial para os cálculos dos parâmetros morfométricos.

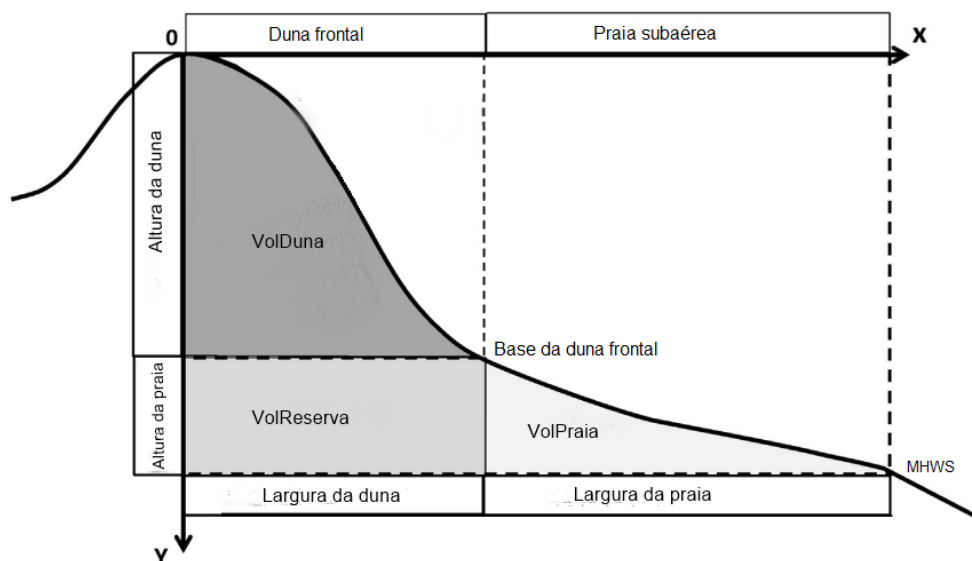


Figura 12 – Esquema de um perfil praial transversal mostrando os parâmetros morfométricos da praia e duna frontal. Fonte: Adaptado de de Almeida *et al.* (2019).

### 3.3.2 Clima de ondas e definição de tempestade

Para o estudo do clima de ondas da área de estudo foram empregadas as variáveis período de pico ( $T_p$ ), a altura significativa ( $H_s$ ) e a direção média da onda para ser confeccionado um gráfico circular onde são apresentadas as diferentes direções (norte, sul, leste, oeste, nordeste, sudeste, sudoeste, noroeste, etc...) de  $H_s$  e  $T_p$ , ambas variáveis, em função da direção (figura 13). Para a construção de clima de ondas foram consideradas as coordenadas em graus conforme Laidler *et al.* (2009), onde o Norte (N) está compreendido no intervalo  $348,75^\circ$  a  $11,25^\circ$ ; o Leste (E),  $78,75^\circ$  a  $101,25^\circ$ ; o Sul (S),  $168,75^\circ$  a  $191,25^\circ$ ; e o Oeste (W),  $258,75^\circ$  a  $281,25^\circ$ .

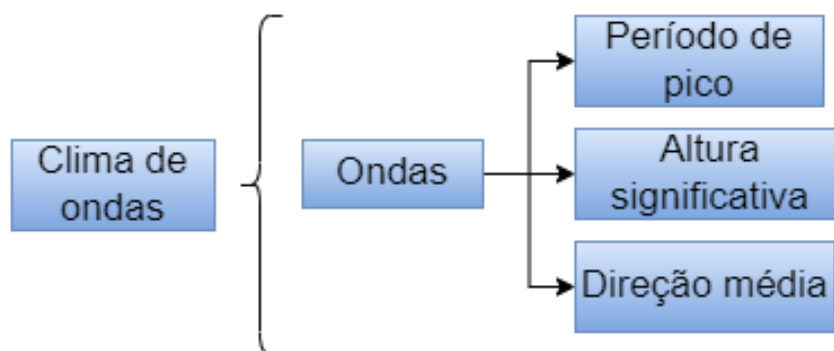


Figura 13 – Esquema metodológico do clima de ondas.

Para encontrar a altura de onda considerada típica de tempestade foi considerado  $H_s > \overline{H_s}$ , em que  $\overline{H_s} = 1,5$  m (MENDOZA & JIMÉNEZ, 2004; DISSANAYAKE *et al.*, 2021). Em seguida, foi adotado para a onda de tempestade do tipo 1  $H_s > 2 \overline{H_s}$  (JIMÉNEZ *et al.*, 1997) e, por fim, para onda de tempestade do tipo 2  $H_s > 1,5 \overline{H_s}$ , onde  $\overline{H_s}$  é a média de  $H_s$  (ROBIN *et al.*, 2014; FONTÁN-BOUZAS *et al.*, 2019). O mesmo procedimento foi realizado para o período de onda considerado típico de tempestade.

Segundo os autores Mendoza & Jiménez (2004) e Dissanayake *et al.* (2021), a duração do evento para ser classificado como tempestade tem que ser maior ou igual a 6 horas. Neste estudo foi definido que a duração do evento seria de 12h. Conforme Mendoza & Jiménez (2006), as tempestades com um espaço de tempo menor do que a definida não causa erosão em uma praia, salvo se as outras condições forem intensas.



### 3.3.3 Aplicação da Escala de Impacto de Sallenger

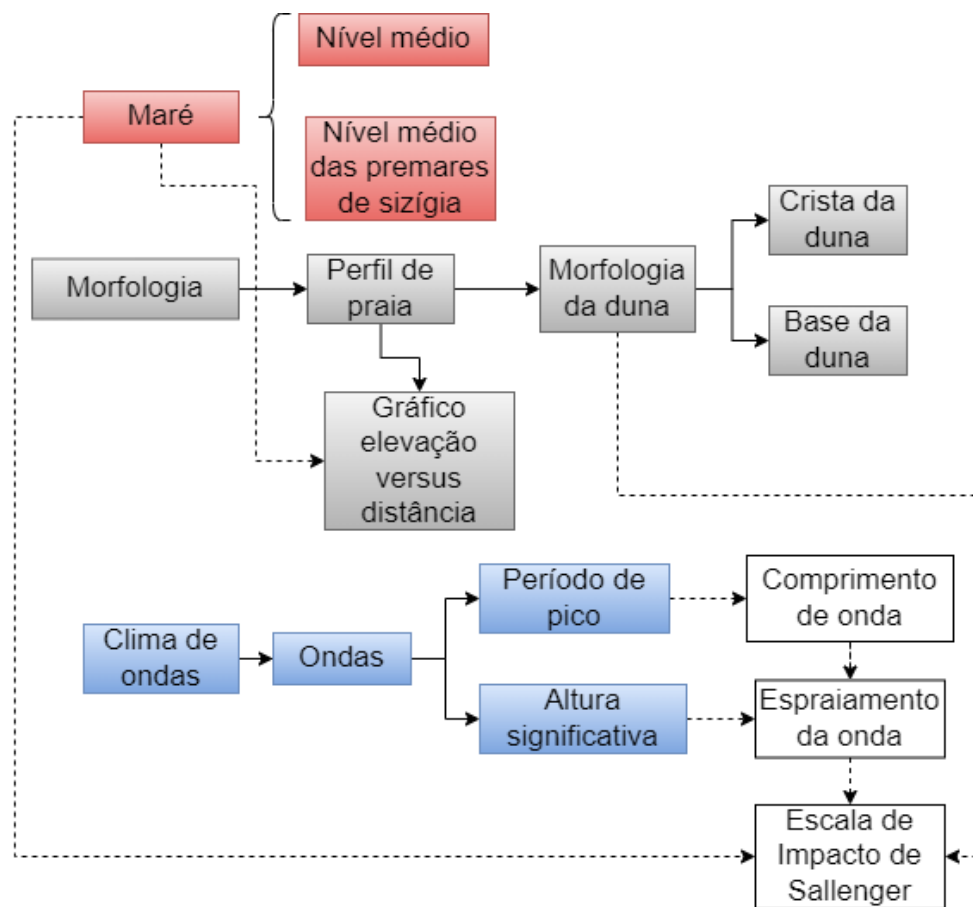


Figura 14 – Esquema metodológico para aplicação da Escala de Impacto de Sallenger.

O esquema metodológico para a aplicação da Escala de Impacto de Sallenger encontra-se na figura 14.

O *runup* (representado por  $R$ ), figura 15, é composto pelo empilhamento de ondas (*setup*) e das flutuações sobre o nível de *setup* (*swash* – espraiamento da onda) (GUZA e THORNTON, 1982). O *Runup* 2% ( $R_{2\%}$ ) é o nível em relação ao nível de água parado ou ao nível do mar de água parada que é excedida por 2% das ondas incidentes (DE WAAL & VAN DER MEER, 1993). Didier *et al.* (2020) propõem o  $R_{2\%}$  (Eq. 1):

$$R_2 = 0,117(H_0L_0)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:  $R_2$  é o *runup* 2%;  $H_0$  é a altura da onda; e  $L_0$  é o comprimento de onda dado por  $L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$  onde  $g = 9,80 \text{ m/s}^2$  (HALLIDAY *et al.*, 2021; YOUNG & FREEDMAN, 2019) é aceleração da gravidade (valor aproximado perto de superfície da Terra) e  $T$  é o período de onda. Variáveis com subscrito 0 indicam que os dados são de águas profundas.

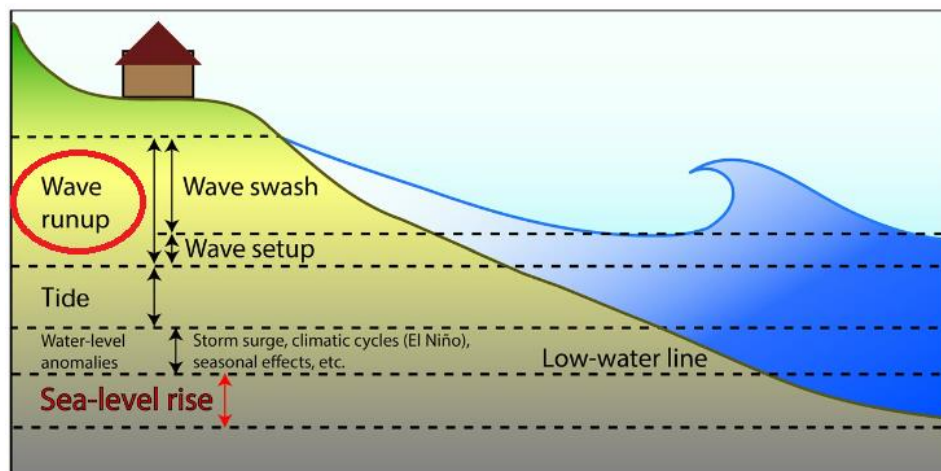


Figura 15 – Os componentes do nível da água que contribuem para as inundações costeiras com destaque para a onda *runup* (*wave runup*). Fonte: Vitousek *et al.* (2017).

Depois de ter determinado o *runup* 2%, conforme o proposto por Didier *et al.* (2020), ele é aplicado às equações da Escala de Impacto de Sallenger (ver esquema metodológico da figura 14) para encontrar  $R_{high}$  e depois  $R_{low}$  para classificar o regime de impacto (tabela 1) juntamente com  $D_{high}$  e  $D_{low}$ .

Tabela 1 – Regime de impacto de acordo com a condição de ocorrência, onde  $R_{low}$  (elevação mínimo do nível da água),  $R_{high}$  (elevação máxima do nível da água),  $D_{low}$  (base da duna) e  $D_{high}$  (topo da duna). Fonte: Sallenger (2000).

Regime de impacto	Condição de ocorrência
Espraçamento (nível 1)	$R_{high} < D_{low}$
Colisão (nível 2)	$R_{high} > D_{low}, R_{low} < D_{low}$
Transposição (nível 3)	$R_{high} > D_{high}, R_{low} < D_{high}$
Inundação (nível 4)	$R_{low} > D_{high}$

O  $R_{low}$  e  $R_{high}$  podem ser obtidas, respectivamente, por Eq. 2 e Eq. 3:

$$R_{low} = R_{high} - S_{2\%} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$R_{high} = R_{2\%} + \eta_{NMPS} \quad \text{ou} \quad R_{high} = R_{2\%} + \eta_{NMM} \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo:  $\eta_{NMPS}$  é o nível médio das premares de sizígia, se estiver usando NMPS ou  $\eta_{NMM}$  é o nível médio do mar, se estiver usando NMM;  $S_{2\%}$  é o *swash* 2% dado por  $S_{2\%} = H_0(0,85\xi_0 + 0,06)$  (HOLMAN, 1986) onde  $H_0$  é a altura de onda e  $\xi_0$  é o número de Iribarren (parâmetro adimensional) dado por  $\xi = \frac{\tan(\beta)}{(H/L_0)^{1/2}}$  (IRIBARREN & NOGALES, 1949; BATTJES, 1974), onde  $\xi$  é o número de Iribarren,  $\beta$  é o ângulo da inclinação da praia,  $H$  é a altura de onda e  $L_0$  é o comprimento de onda. Variáveis com subscrito 0 indicam que os dados são de águas profundas.

No cálculo do *runup* foram empregadas as variáveis  $H_s$  e  $T_p$  para cada data da campanha (perfil de praia) através do banco de dados do ERA5 do período entre 01 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2020. Através disto, foi possível fazer a classificação do regime de impacto de acordo com a Escala de Sallenger tanto para o NMM quanto para o NMPS.

Além disto, valores de  $H_s$  e  $T_p$  para ondas de tempestades (com base no banco de dados do ERA5 de 01/01/1979 a 31/12/2020 e da PNBOIA de Vitória) também foram utilizadas para conhecer qual regime de impacto para os quatro perfis da

campanha de 05/2019 variando estas duas variáveis. Através destes resultados, foram vistos quais conjuntos destas variáveis que se encaixam com os dados obtidos do ADCP.

### 3.3.4 Execução do XBeach

Inicialmente, foi realizado o *download* do Matlab Toolbox (arquivo compactado) no *site* <https://oss.deltares.nl/web/xbeach/tools>. Após de descompactar o arquivo, a pasta do Matlab Toolbox contém arquivos que podem ser abertos no *software* MATLAB. Primeiramente, para o funcionamento correto, foi realizado o modelo de configuração. Em seguida foi realizada a geração do modelo com `xb_generate_model` (extensão do MATLAB) com a adição de argumentos (maré; perfil de praia; ondas; sedimentos; vegetação; e `params.txt`: arquivo com as configurações do modelo e é obrigatório ao executar o XBeach) (figura 16).

Após da execução do modelo, ao término de cada simulação foram gerados quatro arquivos. Um arquivo que apresentou os resultados obtidos na simulação que será lido posteriormente (`xboutput.nc`); outro arquivo com o registo dos dados utilizados e onde se representam os valores dos parâmetros utilizados e os processos físicos considerados (`XBlog.txt`); um arquivo com recomendações dos autores do modelo quando são inseridos dados fora dos intervalos recomendados (`XBwarning.txt`); e por fim, um arquivo com os erros (`XBerror.txt`), caso existissem (figura 16) (HELENO, 2017). Neste último caso, a simulação seria interrompida de imediato.

Em seguida, a visualização e análise dos resultados foi realizada através de perfis no MATLAB. A visualização dos resultados também pode ser vista, em animação, no Delft3D 4.04.02 através do arquivo `xboutput.nc` que foi gerado no MATLAB.

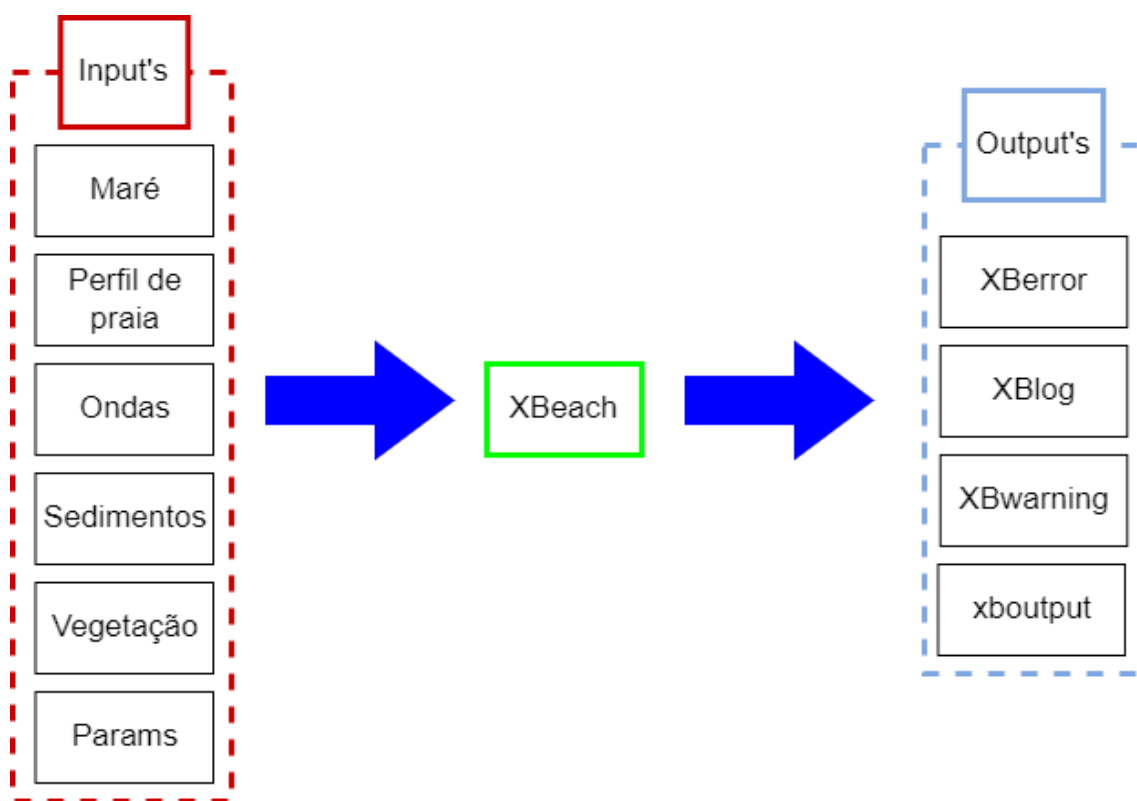


Figura 16 – Esquema do funcionamento do modelo XBeach. Fonte: adaptado de Heleno (2017).

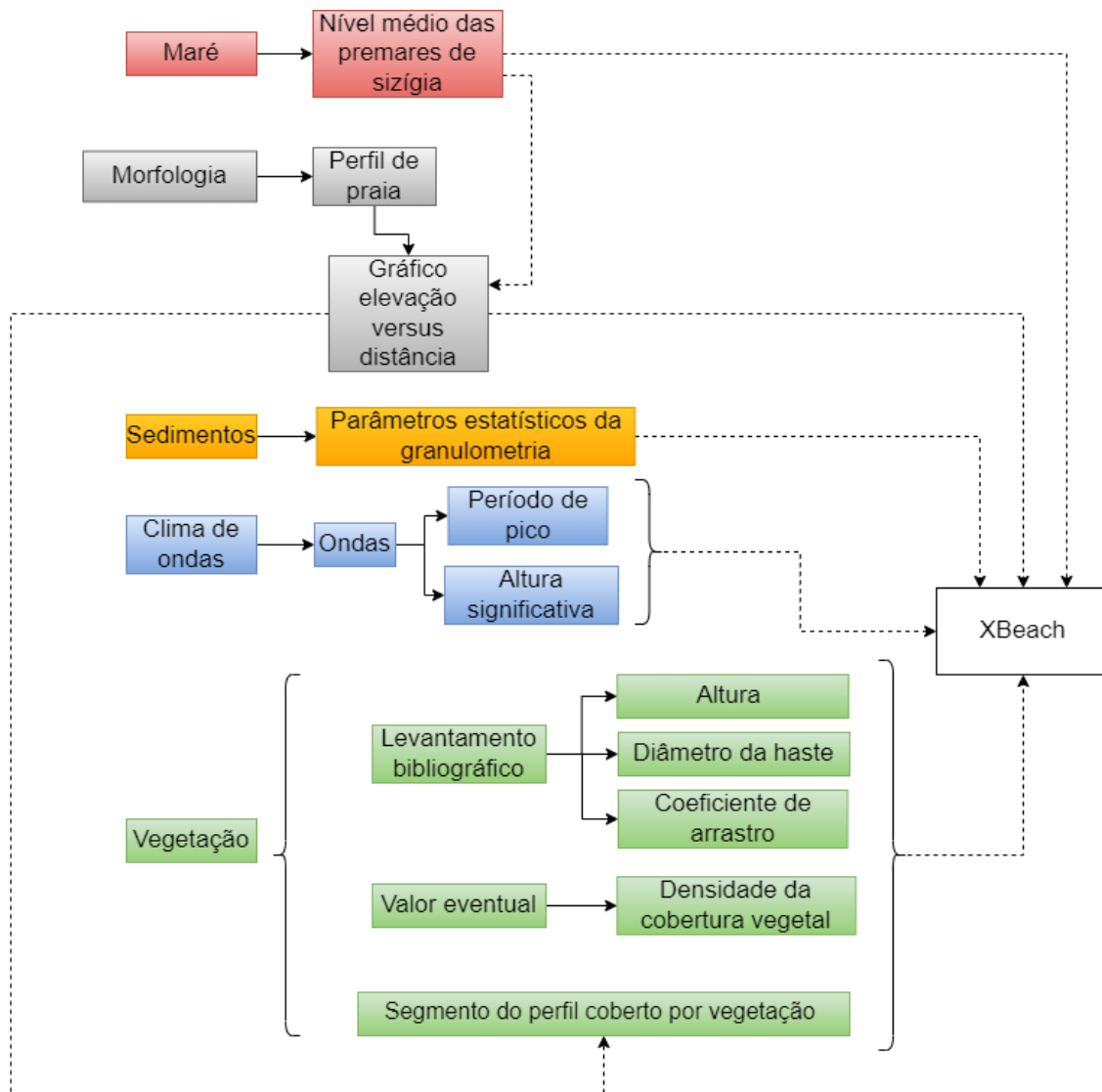


Figura 17 – Esquema metodológico da execução do XBeach.

Para as simulações foram usados (figura 17): perfis de praia referente a campanha de 05/2019; NMPS; diâmetro mediano ( $D_{50}$ ) e 90° percentil ( $D_{90}$ ) que foram obtidos do cálculo da média aritmética dos sedimentos da berma, da face da praia e do submerso para cada percentil cumulativo (apêndice G) relativo a campanha de 05/2019; após a análise do clima de ondas foram adotadas  $H_s$  de 1,5m e 3,8m, e  $T_p$  de 9s e 21,5s; vegetação não identificada; segmento do perfil medido coberto por vegetação da campanha de 05/2019;  $Cd$  com valores de 0,5, 1,5, 2,5, e 3,0; massa específica da água do mar =  $\rho_{\text{água do mar}} = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  (SALAMEH & EL -NASER, 2000); sedtrans (transporte de sedimento) = 1; e morphology (morfologia) = 1. Estes dois últimos, foram ativados através da

atribuição de valores (1 para ativado e 0 para desativado) nas variáveis de mesmos nomes do arquivo params.txt. As simulações foram feitas para quatro cenários (tabela 2) com variadas condições de clima de ondas e de vegetação no período de 12 horas.

Tabela 2 – Cenários simulados para cada perfil de praia com as combinações de  $H_s$ ,  $T_p$  e da vegetação não identificada ( $ah$ ,  $bv$ ,  $Nv$  e  $Cd$ ), mantendo constante as variáveis:  $D_{50}$ ,  $D_{90}$ , NMPS,  $\rho_{\text{água do mar}}$ , sedtrans e morphology.

Cenários	Variáveis						Constante
	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$ah$ (m)	$bv$ (m)	$Nv$ (unidades/m <sup>2</sup> )	$Cd$	
PS1	1,5	9	0,1	0,001	10	0,5 1,5 2,5 3	$D_{50}$ $D_{90}$ NMPS $\rho_{\text{água do mar}}$ sedtrans morphology
PS2	1,5	21,5	1,2	0,01	120		
PS3	3,8	9	0,1	0,001	10		
PS4	3,8	21,5	1,2	0,01	120		

Vegetação não identificada: altura ( $ah$ ), diâmetro da haste ( $bv$ ), densidade da cobertura vegetal ( $Nv$ ) e coeficiente de arrasto ( $Cd$ ).

Por fim, no presente estudo é realizada a análise e interpretação dos dados para determinação da atuação das dunas frontais na proteção em condições de tempestades e discutido a susceptibilidade erosiva e inundacional da área de estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 MOBILIDADE DO SISTEMA PRAIA-DUNAS

#### 4.1.1 Mobilidade de curta duração do sistema praia-dunas

A previsão climática para os cinco dias que antecederam as campanhas de coleta de dados (apêndice A) indicou que as condições climáticas eram na maior parte sem chuva, exceto na campanha 11/2021 em que houve uma precipitação entre 34-38mm. Presidente Kennedy apresentou altura de onda de até 0,7m com

períodos de 4-16s para a região costeira e até 1,9 m com períodos de 4-12s para a área oceânica. Já Marataízes desenvolveu uma altura de onda de até 0,8m com períodos de 5-16s para a região costeira e até 1,7 m com períodos de 4-12s para a área oceânica. Ambos municípios apresentaram direção da onda de NE-S. A velocidade do vento em Presidente Kennedy variou de 4-41 km/h e Marataízes de 4-31 km/h próximo ao litoral, mas em *offshore* esta velocidade variou de 4-31 km/h nos dois. A direção dos ventos foi bem diversificada (todas as direções) tanto para Presidente Kennedy quanto para Marataízes, visto que tem influências das brisas marinhas e terrestres.

O P1 está localizado na Praia das Neves no município de Presidente Kennedy-ES (figura 18). Através de imagem do Google Earth de fevereiro de 2022 é possível notar que próximo às dunas frontais, à retaguarda, há uma área de campo com pouca vegetação ao sul e uma outra área de vegetação mais densa ao norte. A variação morfológica deste perfil é notável depois da campanha 02/2018 e antes da 05/2019, quando o perfil apresentou uma acreção na crista da duna. Também é possível observar que na base da duna ocorreu um maior acúmulo de sedimento na campanha de 07/2018 e um menor acúmulo na campanha de 09/2018. Além disto, a praia teve uma acumulação maior na campanha de 02/19 e menor na campanha de 07/2018.

Ainda em P1, na campanha de 11/2021 o perfil de praia foi realizado até metade da crista desta duna frontal devido a limitação do pessoal em descer a escarpa, contudo foi possível verificar o amplo recuo. Segundo Folli (2021), os ventos intensos, conforme foram vistos cinco dias antes da campanha de 11/2021, podem favorecer o aporte de sedimento até a duna frontal, porém como choveu isto não é possível. Uma vez que o vento tem que ter muito mais competência para transportar a areia úmida (e.g. FOLLI, 2021). Estes ventos também são responsáveis pela formação de ondas mais energéticas e com um poder erosivo que removem o sedimento na base da duna frontal. Essa retirada de sedimento, em praias associadas a dunas frontais, através do espraiamento da onda que alcança a base da duna frontal tendendo a provocar o recuo da mesma. O sedimento depositado no sopé é transportado transversalmente e



longitudinalmente pela ação das ondas (e conseqüentemente das correntes) e do vento, se estas forçantes forem intensas.

Sentido norte encontra-se o P2 que está situado na Praia Marobá no município de Marataízes-ES (figura 19). Pela imagem do Google Earth de fevereiro de 2022, as dunas frontais estão próximas a uma urbanização menos densa e desta forma, mais espaçada; e ao sul do perfil, há uma urbanização mais densa. No que se refere à mudança morfológica, entre as campanhas de 02/2018 a 05/2019, observa-se que ocorreu uma erosão desde do ponto mais alto na crista até a base na duna a partir da campanha 07/2018. Na praia houve a inversão, sendo que a erosão ocorreu em 02/2018 e acreção entre as campanhas 07/2018 a 05/2019. Na campanha de 11/2021 houve a erosão no topo da duna e ficou evidente a presença de uma pequena escarpa, indicando que sob condições antecedentes, a duna escarpou completamente, associada ao processo erosivo, seguido pela deposição da berma. De acordo com Folli (2021), os ventos fortes, conforme foram vistos cinco dias antes da campanha 11/2021, são responsáveis pela formação de ondas bem energéticas e a interação vento-ondas ocasiona essa erosão.

Também no município de Marataízes encontra-se o P3 que está estabelecido ao Praia do Siri (figura 20). De acordo com a imagem do Google Earth de fevereiro de 2022, as dunas frontais são ladeadas por uma urbanização menos densa e espalhada na redondeza. Entre as campanhas de 02/2018 a 05/2019 aconteceu uma leve variação morfológica, pois ora a duna era erodida e ora a duna tinha acreção. Este mesmo raciocínio é válido para a praia.

Porém, na campanha 09/2021 ocorreu uma acreção da duna. Este incremento de sedimento é devido as precipitações dos meses anteriores ou pode ser um mês atípico de chuvas (setembro é um mês seco), visto que a chuva proporciona o crescimento da vegetação que promove o acúmulo de sedimento levado pelo vento (FOLLI, 2021).

Por fim, ainda no município de Marataízes tem-se o P4 na Praia de Lagoa Dantas que está posicionado ao sul da Praia Central (figura 21). Conforme a imagem do Google Earth de fevereiro de 2022, este perfil está entre dois núcleos de uma urbanização, sendo que ao sul é menos densa e ao norte mais densa. E atrás

das dunas frontais tem uma vegetação mais densa. Acerca da variação da morfologia do perfil entre as campanhas de 02/2018 a 05/2019 aconteceu erosão e acreção de forma fraca na duna frontal. Neste intervalo das campanhas a maior quantidade de sedimentos na praia foram em 07/2018 e 09/2018 e uma menor quantidade em 02/2018. Porém, na campanha de 09/2021 o perfil teve uma forte erosão e não houve a formação de escarpa. Isto indica que a interação das ondas e dos ventos estava muito intenso.

Logo, a presença de dunas escarpadas ou rompidas; e escarpas íngreme e depósitos de tálus (sedimentos na base da duna ou no sopé da duna) são indicativos de erosão (BUSH *et al.*, 1999). Já a existência de dunas e cristas de praia bem vegetadas; e escarpa vegetada com rampa estável são sinais de acreção (BUSH *et al.*, 1999). Comparando os quatros perfis de praia da última campanha (11/2021 para P1 e P2; e 09/2021 para P3 e P4) podem deduzir que a erosão ocorre em P1, P2 e P4; e a acreção em P3.

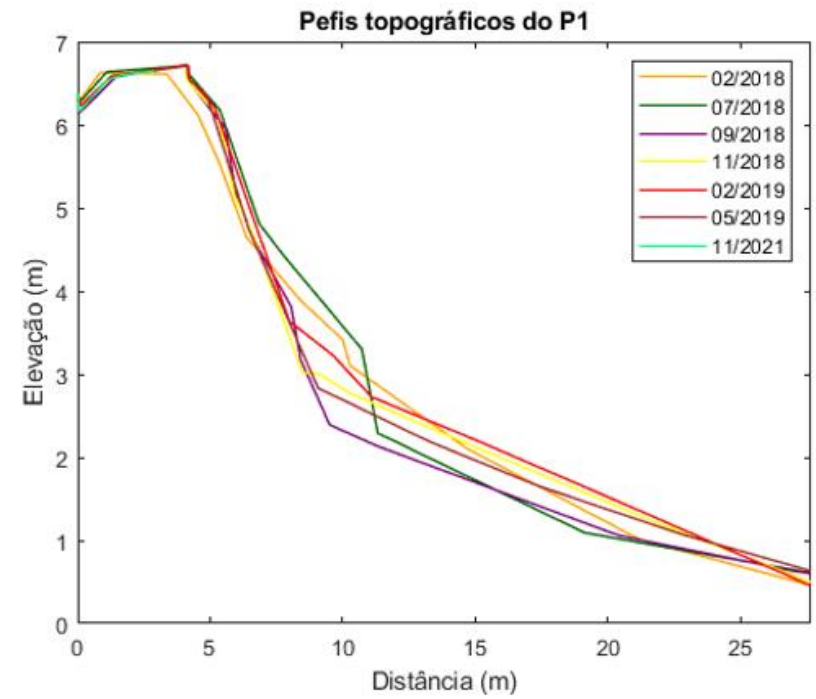


Figura 18 – P1: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2021 a NMM a direita.

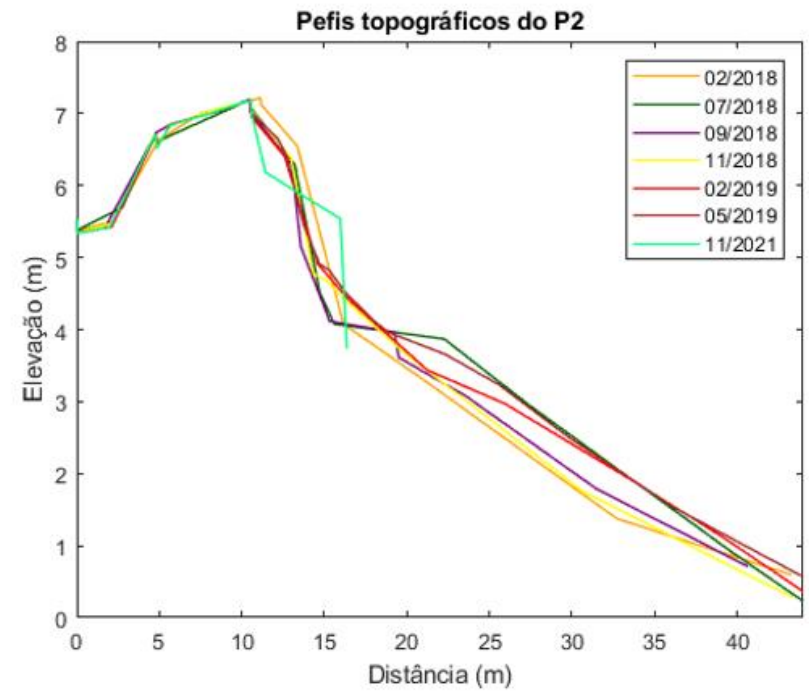


Figura 19 – P2: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2021 a NMM a direita.

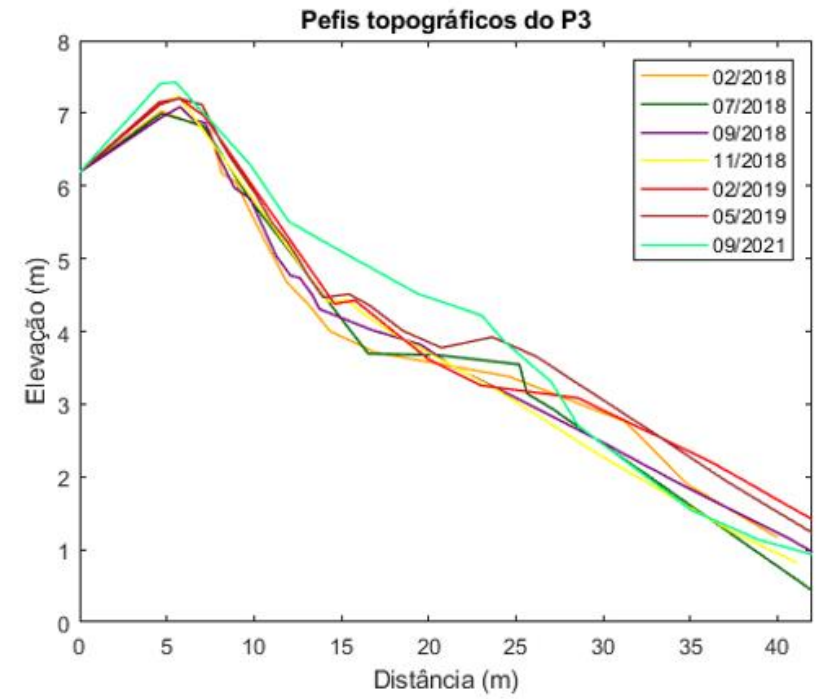


Figura 20 – P3: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2021 a NMM a direita.

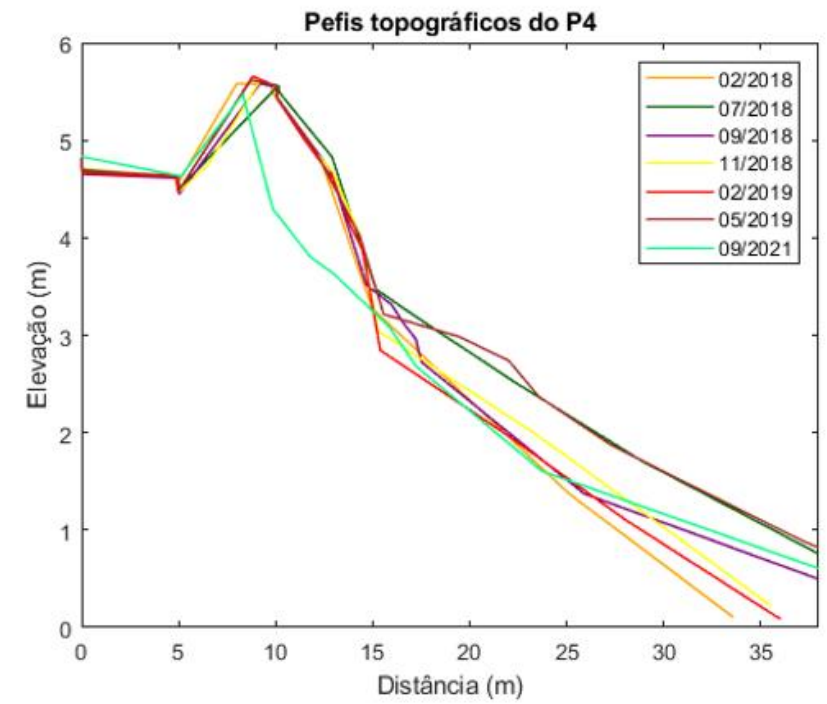
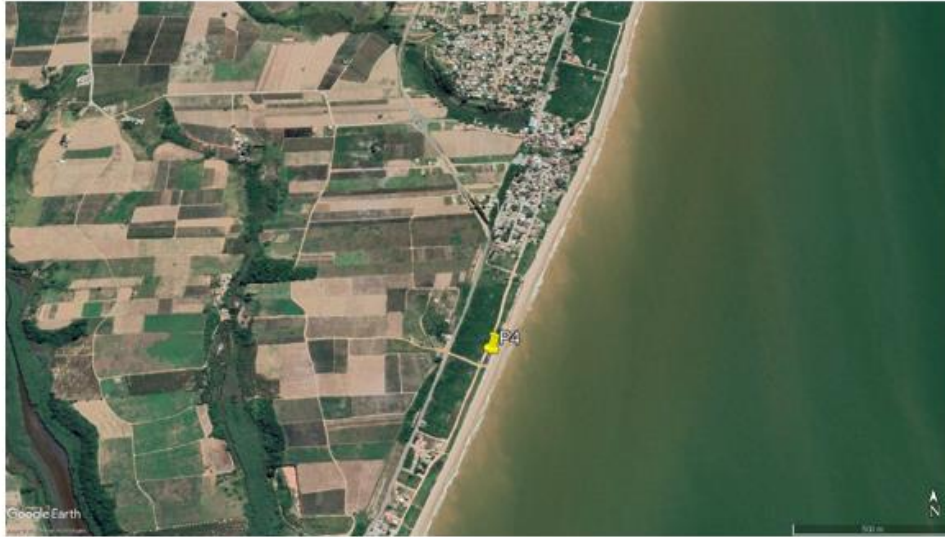


Figura 21 – P4: imagem do Google Earth a esquerda de fevereiro de 2022 e os perfis topográficos das campanhas realizadas entre 2018 a 2021 a NMM a direita.

Estas mudanças no perfil de praia estão ligadas aos eventos de tempestades costeiras que podem causar erosão rápida e significativa da praia e dunas subaéreas ao longo de grandes trechos de costa arenosa (CASTELLE *et al.*, 2015; MASSELINK *et al.*, 2016). Conforme Ciavola & Coco (2017), os impactos de diferentes eventos de tempestade podem estar ligados às variações nas características e gênese de uma determinada tempestade, tal como: altura de onda, direção, velocidade do vento, pressão atmosférica e duração. Esta variação nos impactos gera diferentes graus de erosão.

A erosão resultante destas tempestades costeiras pode causar danos às propriedades e infraestrutura à beira-mar, risco à segurança pública e perturbação aos ambientes e amenidades da praia (BEUZEN *et al.*, 2019), em ambiente antropizado. Conforme apresentado por Masselink *et al.* (2016), algumas áreas de “hotspot” podem sofrer erosão severa de praias e/ou dunas, enquanto áreas adjacentes podem parecer não afetadas.

As figuras 22 e 23 trazem os parâmetros morfométricos utilizando o NMM e NMPS, respectivamente, dos perfis de praia medidos. De NMM para NMPS nota-se que ficaram constantes no geral os parâmetros relacionados com a duna frontal (volume, largura e altura). Enquanto que os parâmetros referentes à praia (volume, largura e altura) e ao volume reserva ocorreram uma redução nesta incrementação devido ao recorte. Estas variáveis dos parâmetros morfométricos apresentaram o coeficiente (CV) de variação bem diversificado por ser um ambiente bem dinâmico (apêndices B e C).

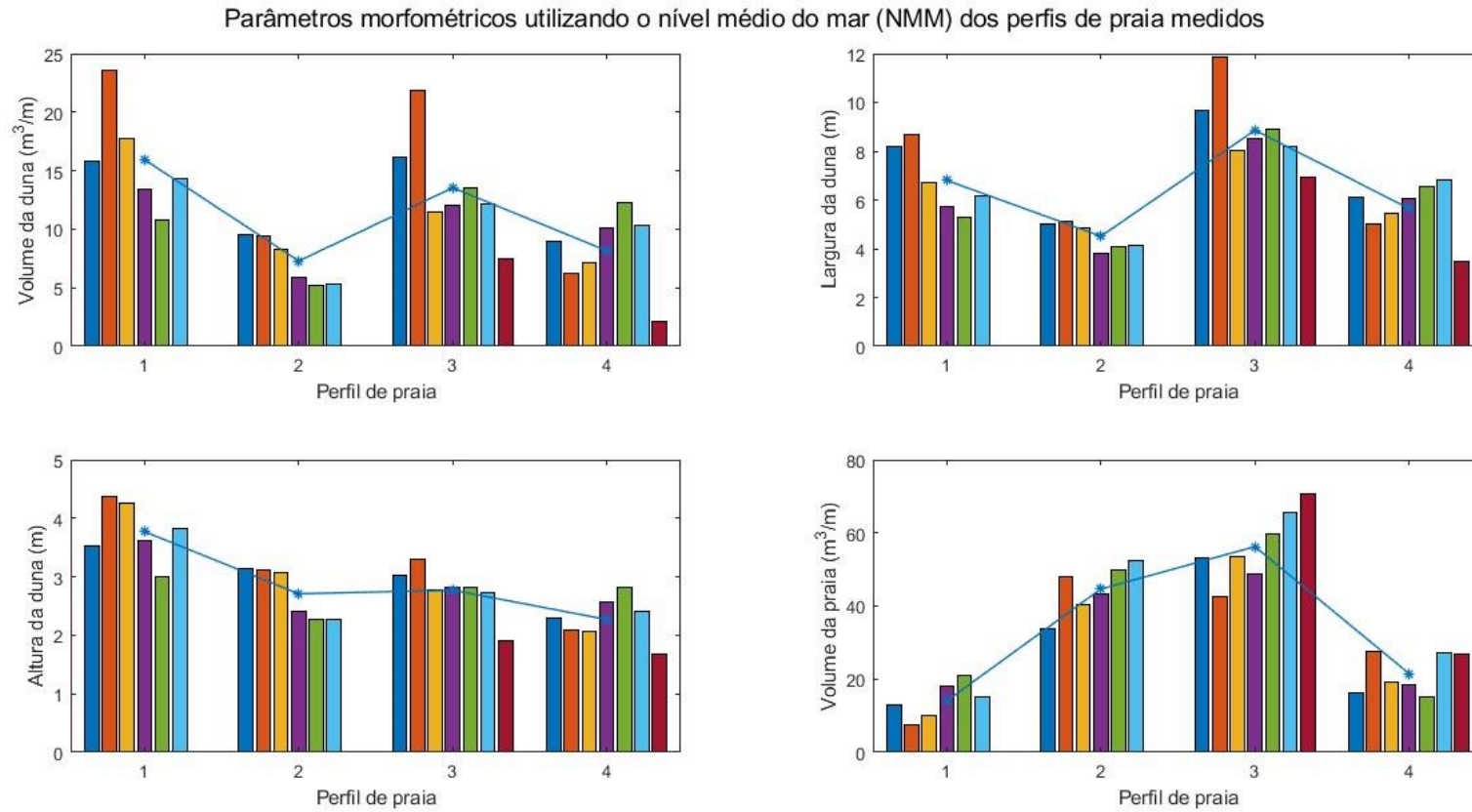


Figura 22 – Parâmetros morfométricos utilizando o NMM dos perfis de praia medidos.

(continua)



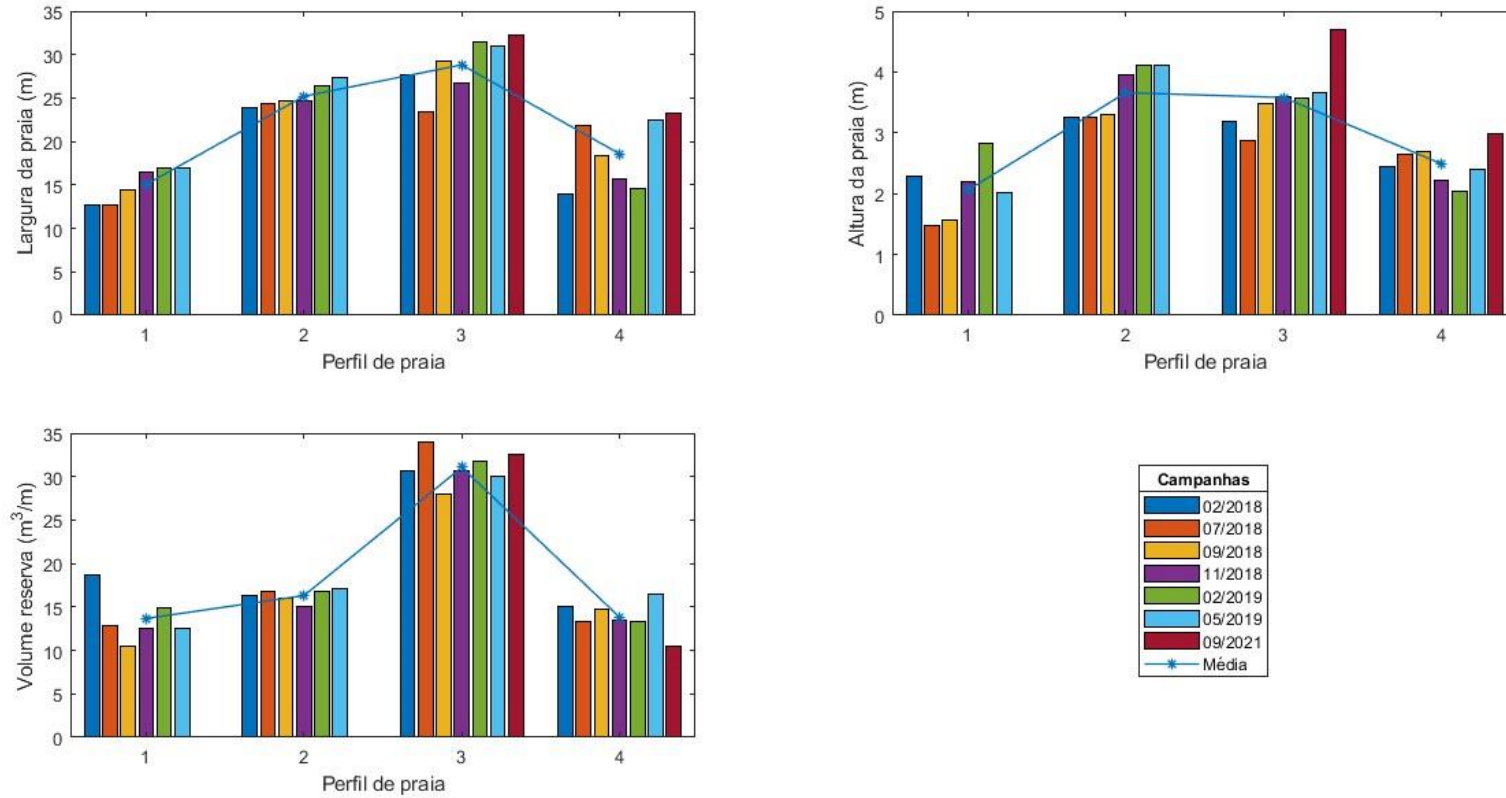


Figura 22 – Parâmetros morfométricos utilizando o NMM dos perfis de praia medidos.  
(conclusão)

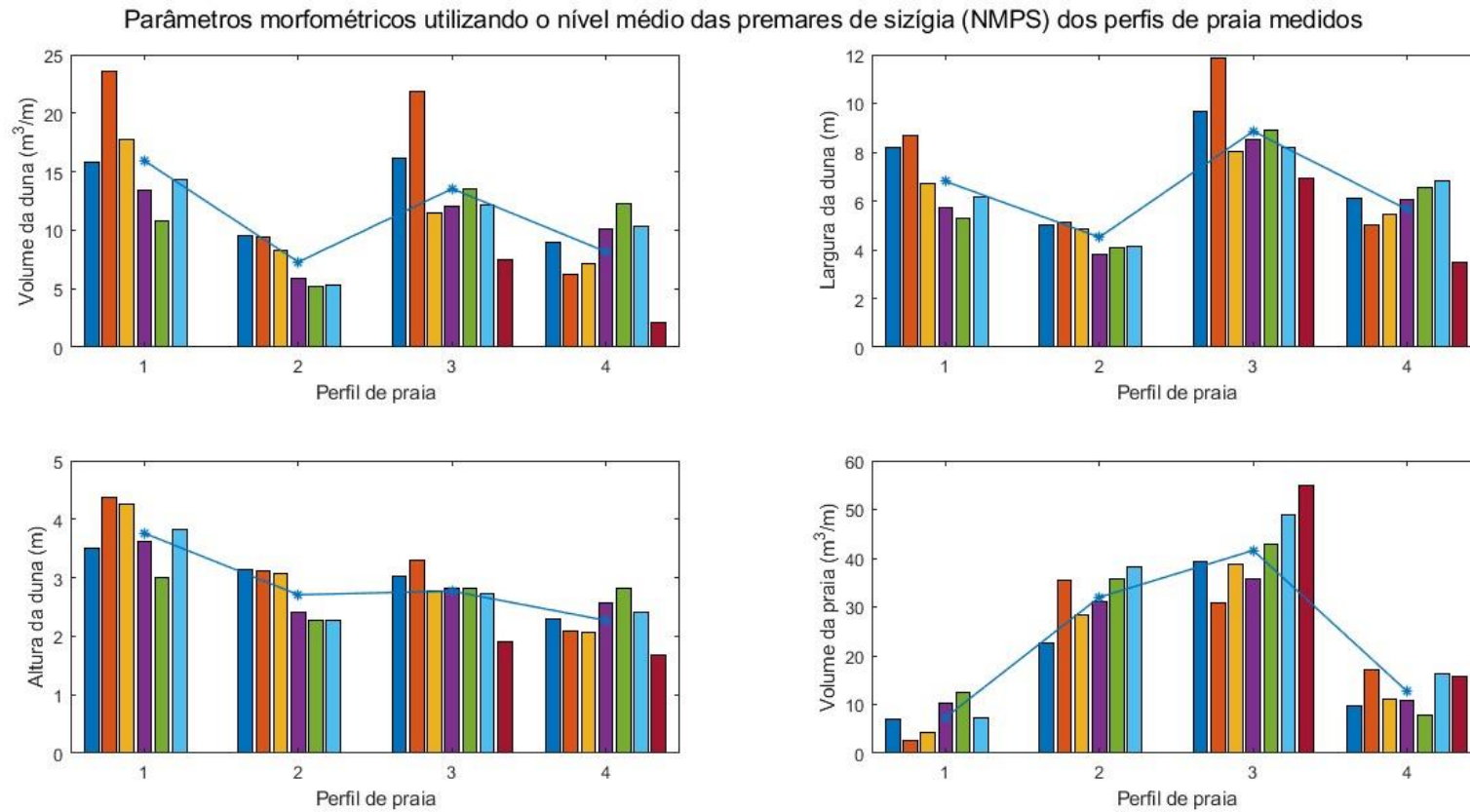


Figura 23 – Parâmetros morfométricos utilizando o NMPS dos perfis de praia medidos.

(continua)

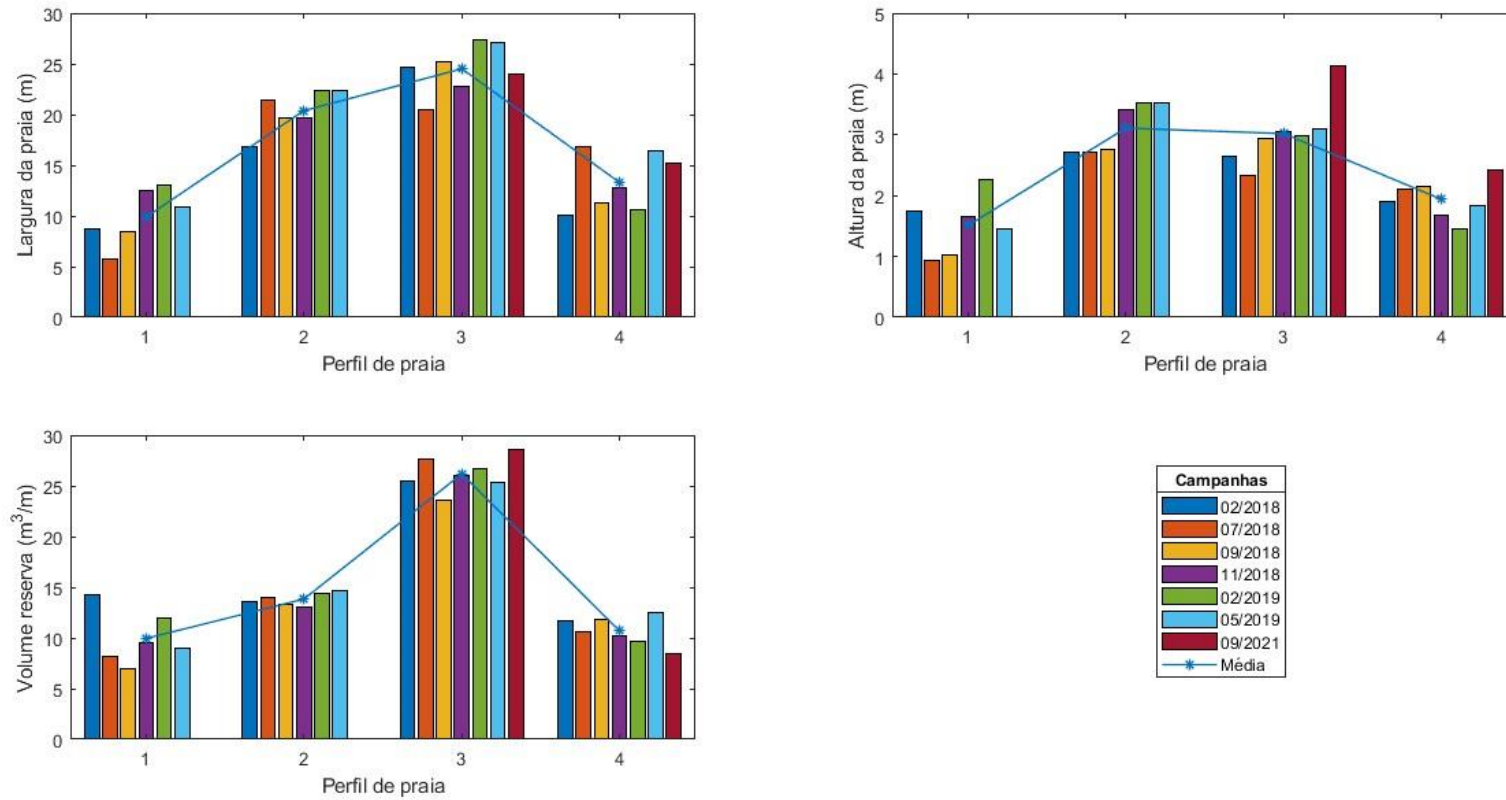


Figura 23 – Parâmetros morfométricos utilizando o NMPS dos perfis de praia medidos.

(conclusão)

O P1 e o P3 apresentam as maiores alturas e os maiores volume para a duna frontal. As maiores alturas das destas dunas evitam a ocorrência de transposição (nível 3 da Escala de Sallenger) e os maiores volumes delas diminuem o recuo da linha de costa (figuras 22 e 23; apêndices B e C).

Uma redução na largura da praia e no volume da praia que ocorreram em P1 e P4, conforme Quartel *et al.* (2008), gera erosão da costa. A praia tem oscilações por ser um ambiente dinâmico ora tem processo de erosão ora de acreção (figuras 22 e 23; apêndices B e C).

As dunas frontais são largas em P3 devido ao processo de acreção; e a maior altura da praia é observado em P2 e P3 em que o espraiamento tem que ser forte para chegar até a base da duna frontal (figuras 22 e 23; apêndices B e C). Com o aumento do nível médio do mar a praia também aumenta a altura e o ataque das ondas continua a se concentrar na base da duna frontal (nível 2 na Escala de Sallenger = colisão). De outro modo, as dunas frontais, poderão, ou não, ter um aumento altura por ação de transporte através do vento. Mas podem também ter o corte eólico (*blow out*) e provocar a transposição localizada.

Por fim, as dunas frontais fornecem sedimentos para as praias durante as tempestades e acumula sedimentos novamente em condições de ondas de bom tempo. Logo, o volume reserva que não pertence nem a duna frontal nem a praia e ele é usado quando há falta sedimento entre este sistema praia-duna. Em P3 é o que possui maior valor em reserva (figuras 22 e 23; apêndices B e C).

Portanto, há uma acreção em P3 e erosão nos outros perfis (P1, P2 e P4) conforme mostram as figuras 18 a 21 em perfis topográficos. Além disto, pelos perfis da campanha de 09/2021, observa-se que o sedimento erodido em P4 está sendo depositado para P3. Esta última afirmação também é confirmada por Bulhões (2020), pois em Marataízes houve uma intervenção de alimentação artificial na Praia Central que resolveu localmente o problema da erosão costeira, mas transportou-a para áreas imediatamente ao sul.

A tabela 3 refere-se ao sedimento coletado na praia (berma, face da praia e submerso) na qual as porcentagens indicam que são constituídos predominante

de areia, sendo que a mediana e o diâmetro médio apontam que na berma e face da praia apresentaram areia média, exceto no P3 que apareceu areia grossa. Já o submerso apresentou areia fina através da mediana e do diâmetro médio. O grau de seleção variou entre moderadamente bem selecionado e moderadamente selecionado. A assimetria foi de simétrica à assimétrica no sentido dos grossos (negativo). Por fim, o  $D_{90}$  indica que 90% da amostra da berma e da face da praia tem diâmetro menor ou igual a  $2,73\phi$  e 90% da amostra do submerso  $3,50\phi$ .

Já o sedimento coletado na crista da duna (tabela 4), nos perfis P1 e P2 é constituindo de 100% areia enquanto que P4 possui 99,8% de areia e 0,2% de cascalho. Em todos os perfis de praia, o tamanho médio e a mediana das partículas foi de areia média. Já o grau de seleção foi bem selecionado para P1 e P2, e moderadamente bem selecionado em P4. Em relação à assimetria, P2 e P4 tem forma aproximadamente simétrica e P1 tem assimétrica no sentido dos grossos (negativo). O  $D_{90}$  indica que 90% da amostra P1 tem diâmetro menor ou igual a  $2,12\phi$ ; e 90% de P2 e P4 tem diâmetro menor ou igual a  $1,91\phi$  e  $1,98\phi$ , nesta ordem.

Esperava-se encontrar sedimentos mais finos sobre a crista da duna frontal, pois o vento transporta-os deixando os grãos mais grossos para trás. Sedimentos como cascalho dar indícios que seja uma duna frontal relíquia, ou seja, que ela não seja atual.

Tabela 3 – Estatística de amostra do sedimento da berma, da face da praia e do submerso.

<b>Perfil</b>	<b>Localização no perfil</b>	<b>% cascalho</b>	<b>% areia</b>	<b>% lama</b>	<b>D90 (<math>\phi</math>)</b>	<b>Mediana (<math>\phi</math>)</b>	<b>Diâmetro médio (<math>\phi</math>)</b>	<b>Grau de seleção (<math>\phi</math>)</b>	<b>Assimetria (<math>\phi</math>)</b>
P1	BERMA	0,02	99,98	0,00	2,73	1,97	1,95	0,58	0,03
P1	FACE	0,08	99,88	0,03	2,61	1,86	1,84	0,63	-0,05
P1	SUBMERSO	0,32	98,47	1,23	3,50	2,92	2,83	0,63	-0,21
P2	BERMA	0,03	99,97	0,00	2,31	1,39	1,46	0,61	0,16
P2	FACE	0,15	99,85	0,00	2,33	1,44	1,46	0,71	0,01
P2	SUBMERSO	1,02	95,58	3,42	3,40	2,68	2,64	0,68	-0,12
P3	BERMA	0,63	99,37	0,00	1,74	0,75	0,79	0,71	0,12
P3	FACE	0,42	99,58	0,00	2,13	1,02	1,08	0,79	0,13
P3	SUBMERSO	1,73	96,83	1,43	3,43	2,52	2,52	0,70	-0,10
P4	BERMA	0,23	99,78	0,00	2,03	1,18	1,18	0,63	-0,01
P4	FACE	0,32	99,68	0,00	2,09	1,11	1,18	0,66	0,16
P4	SUBMERSO	1,45	98,50	0,05	3,09	2,23	2,18	0,76	-0,13

Tabela 4 – Estatística de amostra do sedimento da crista da duna frontal.

<b>Perfil</b>	<b>Localização no perfil</b>	<b>% cascalho</b>	<b>% areia</b>	<b>% lama</b>	<b>D90 (<math>\phi</math>)</b>	<b>Mediana (<math>\phi</math>)</b>	<b>Diâmetro médio (<math>\phi</math>)</b>	<b>Grau de seleção (<math>\phi</math>)</b>	<b>Assimetria (<math>\phi</math>)</b>
P1	CRISTA DA DUNA FRONTAL	0,00	100,00	0,00	2,12	1,66	1,59	0,45	-0,16
P2	CRISTA DA DUNA FRONTAL	0,00	100,00	0,00	1,91	1,32	1,36	0,44	0,09
P4	CRISTA DA DUNA FRONTAL	0,20	99,80	0,00	1,98	1,38	1,38	0,51	-0,008

#### 4.1.2 Clima de ondas de tempestades sobre o sistema dunas-praia

O clima de onda dos dados brutos (apêndice D), em águas profundas, para o ERA5 entre 01/01/1979 a 31/12/2020 apresenta direções entre nordeste (NE) a sul (S), sendo as mais frequentes entre leste-nordeste (ENE) a sul-sudeste (SSE). Na PNBOIA as direções são entre nor-nordeste (NNE) e sul-sudoeste (SSO ou SSW), sendo as mais frequentes entre NE a leste (E). Ambas têm períodos significativos predominante entre  $\geq 6s$  a  $< 10s$  e alturas significativas entre  $\geq 1m$  a  $< 1,5m$ .

A figura 24 apresenta a densidade de frequência dos valores das variáveis altura, período e direção da onda para o ERA5 (01/01/1979 a 31/12/2020) e para PNBOIA. Nesta figura, as alturas de ondas mais frequentes foram na faixa de 1-1,5m, com ocorrência de 52,11% para o ERA5 e de 49,14% para PNBOIA. Os intervalos de períodos mais frequentes foram 6-8s e 8-10s que são equivalentes a 32,22% e 27,06% de ocorrência para o ERA5, respectivamente. Os mesmos intervalos equivalem a 28,87% e 26,96% de ocorrência para a PNBOIA, na devida ordem. Os intervalos correspondentes às direções associadas ao maior pico de energia do *spectrum* direcional mais frequentes foram 45-67,5° (NE-ENE) e 135-157,5° (SE-SSE) equivalentes a 16,37% e 17,49% para o ERA5, nesta ordem. e estes intervalos para a PNBOIA foram 45-67,5° (NE-ENE) e 67,5-90° (ENE-E) que equivalem a 15,91% e 14,44%, respectivamente.

De acordo com Avelar (2022), há uma boa concordância entre os dados da reanálise ERA5 e os dados da boia PNBOIA para águas profundas. Conforme Wang *et al.* (2011), não existe um produto de reanálise ou de modelo único que seja melhor em todos os casos. Assim sendo, os outros produtos conseguem demonstrar estimativas melhores para os lugares estudadas.

A análise dos dados de onda permitiu concluir que as alturas de ondas mais frequentes foram na faixa de 1-1,5m, na qual definiu-se  $\overline{H}_s = 1,5m$ . Este valor está de acordo com Mendoza & Jiménez (2004) e Dissanayake *et al.* (2021). A partir do banco de dados tratados (ERA5 de 01/01/1979 a 31/12/2020 e PNBOIA) foi possível determinar também as condições oceanográficas nos eventos



extremos, adotando ondas  $H_s \geq 1,5\text{m}$ . Baseado nisto foram definidas as ondas de tempestades em dois tipos, além do clima de ondas médio.

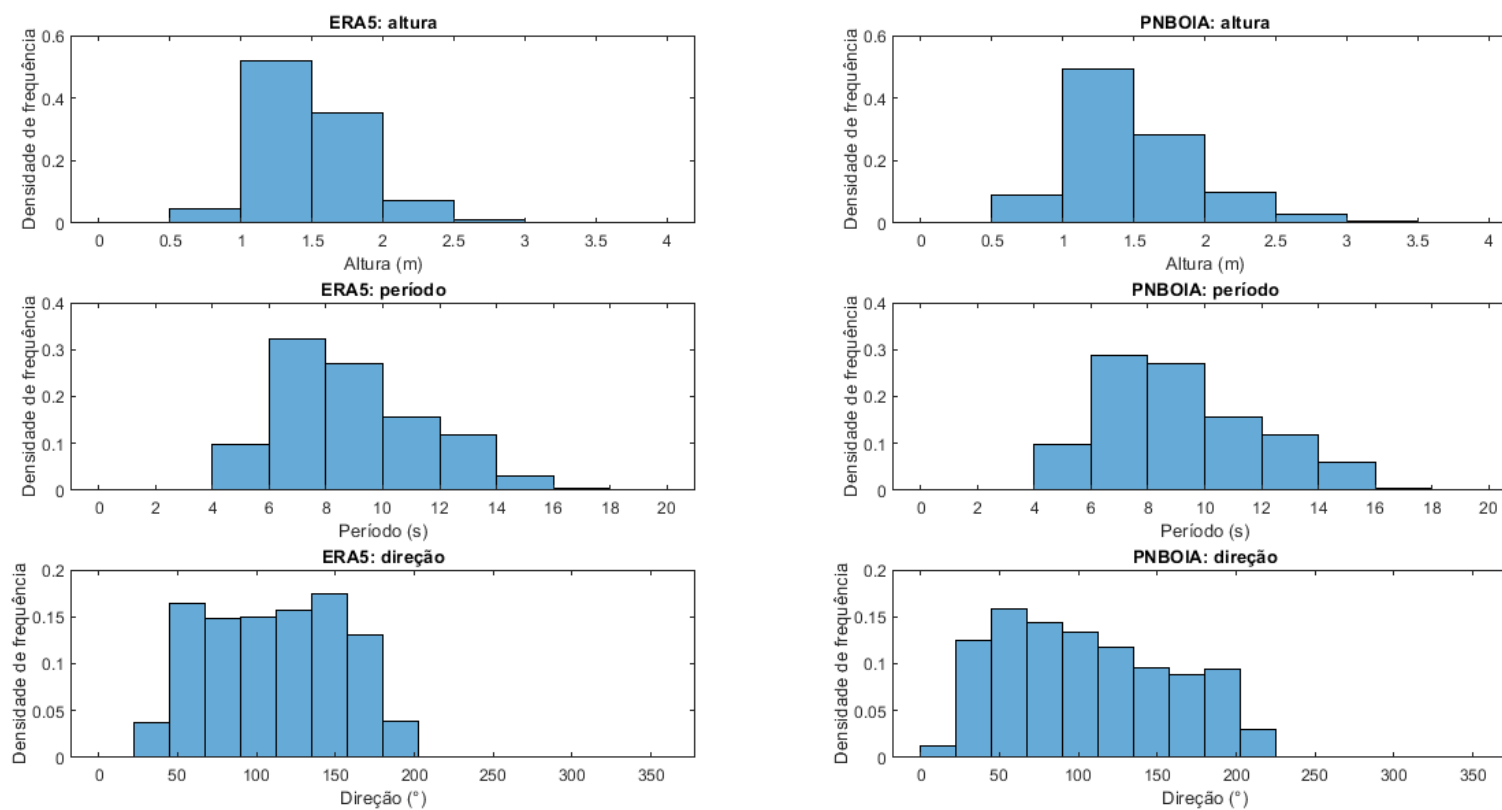


Figura 24 – Densidade de frequência dos valores da altura, do período e da direção dos dados brutos obtidos do ERA5 (01/01/1979 a 31/12/2020) e da PNBOIA.

A figura 25 apresenta os três climas de ondas do modelo de reanálise ERA5:

- Clima de onda médio: direções em NE e entre sudeste (SE) a S; alturas significativas entre  $\geq 1,5\text{m}$  a  $< 2\text{m}$ ; e períodos significativos entre  $\geq 6\text{s}$  a  $< 8\text{s}$  e entre  $\geq 8\text{s}$  a  $< 14\text{s}$ .
- Onda de tempestade do tipo 1: direções entre SSE a SSW; alturas significativas entre  $\geq 3\text{m}$  a  $< 3,5\text{m}$ ; e períodos significativos entre  $\geq 8\text{s}$  a  $< 16\text{s}$ .
- Onda de tempestade do tipo 2: direções entre SSE a S; alturas significativas entre  $\geq 2\text{m}$  a  $< 3\text{m}$ ; e períodos significativos entre  $\geq 8\text{s}$  a  $< 16\text{s}$ .

A figura 26 exhibe os mesmos climas de ondas, mas para a boia PNBOIA:

- Clima de onda médio: direções em NE e entre S a SSW; alturas significativas entre  $\geq 1,5\text{m}$  a  $< 2,5\text{m}$ ; e e períodos significativos entre  $\geq 6\text{s}$  a  $< 16\text{s}$ .
- Onda de tempestade do tipo 1: direção foi SSW; alturas  $\geq 3\text{m}$ ; e períodos entre  $\geq 8\text{s}$  a  $< 14\text{s}$ .
- Onda de tempestade do tipo 2: direções entre S a SSW; alturas significativas entre  $\geq 2\text{m}$  a  $< 3,5\text{m}$ ; e períodos significativos entre  $\geq 6\text{s}$  a  $< 16\text{s}$ .

O clima de ondas em águas profundas (*offshore*) é pouco variável. No entanto, em águas rasas e perto da costa (*nearshore*), ele precisa do que foi originado em *offshore*, prevalecendo os ventos e as tempestades, e sobre a topografia de fundo oceânico, a qual tende a modificar a direção de propagação das ondas (SCHWARTZ, 2005). Em outras palavras, o clima de ondas em águas profundas não representa com precisão o clima de ondas adjacente à costa (figuras 27 e 28).

Segundo Firmino & Bulhões (2020), os ventos de maior frequência e intensidade, que atingem o litoral do Espírito Santo, provém das direções NE e ENE. Albino *et al.* (2001) mencionam para o litoral capixaba ventos provenientes dos quadrantes ENE e SE, estando associados ao ASAS. Enquanto que os de SE

surtem durante à passagem de sistemas ciclônicos relacionados às frentes frias que chegam regularmente neste litoral (ALBINO, 1999). Este padrão de vento dominante gera ondas oriundas das direções entre NE a E e entre SE a E, sendo que as primeiras ocorrem em grande parte do ano (ALBINO *et al.*, 2001), tendo alturas significativas menores que 1,5 m (ALBINO *et al.*, 2016) e período de pico médio de 7s (BRANCO, 2005).

Os ventos predominantes são das direções NE e E, e de menor expressividade do quadrante S e SE (FIRMINO & BULHÕES, 2020). Isto também reflete para as ondas, quando Albino *et al.* (2001) citam que as ondas NE e E ocorrem em maior parte do ano.

A figura 27 apresenta o clima de ondas do ADCP entre 11/08/2021 a 16/09/2021 (dados brutos) na qual a direção é E com alturas de entre 1m a 1,5m e período de pico de 4s a 10s.

A figura 28 mostra o clima de ondas do ERA5 de 11/08/2021 a 16/09/2021 (mesmo intervalo de tempo do ADCP), sendo que A e B possuem as mesmas coordenadas no ERA5 (plataforma continental) e C possui a mesma coordenada do ADCP fundeado. Ambas alturas (figura 28 A e C) variam de 1m a 2m e o período (figura 28 B) de 6s a 10s. Os dados do ERA5 (11/08/2021 a 16/09/2021) baixados mais próximos a costa apresentaram toda a coluna referente ao período com o valor NaN (significa "não é um número"), por este motivo não foi possível fazer clima de ondas com o período para a mesma coordenada do ADCP.

## Clima de ondas com base nos dados do ERA5

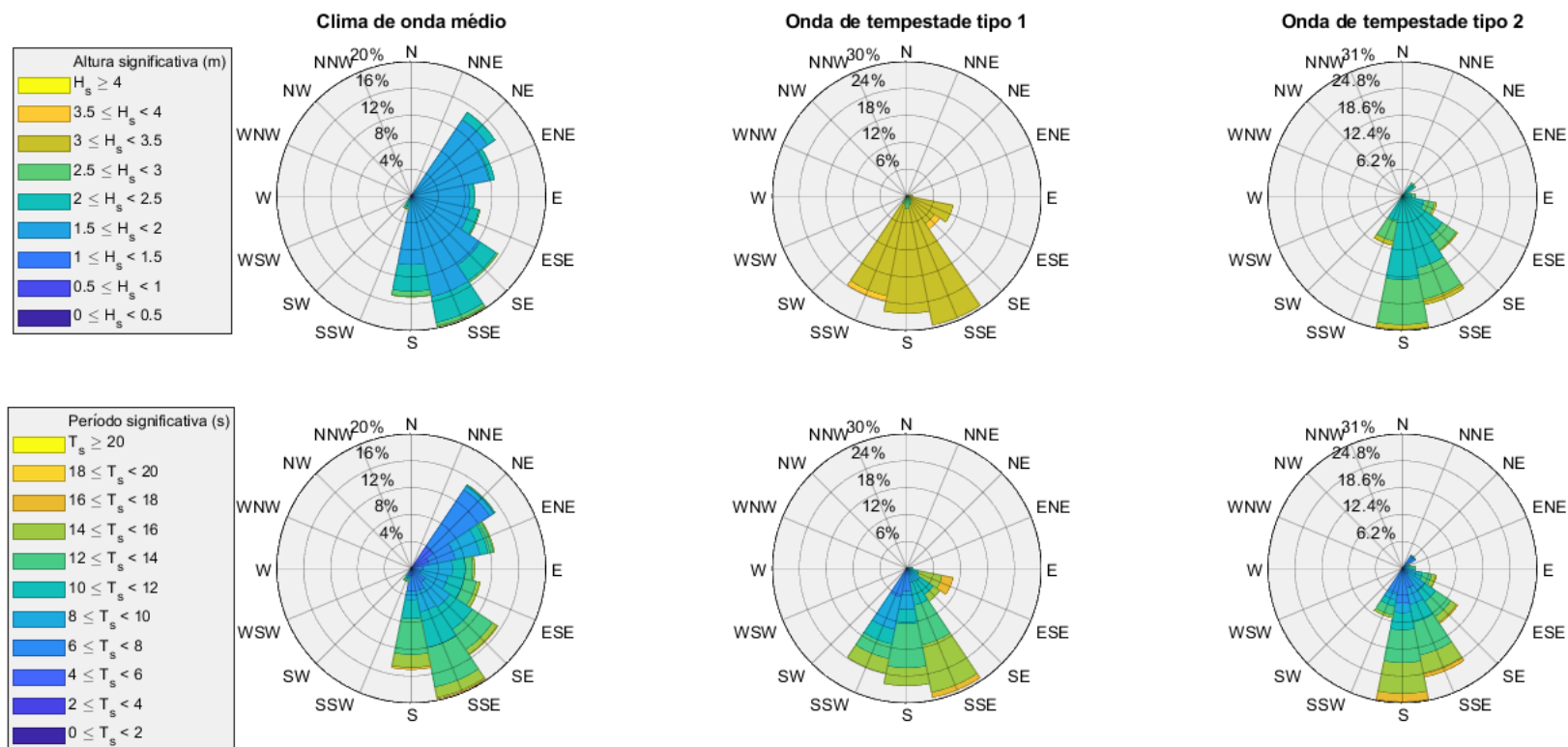


Figura 25 – Clima de ondas (altura e período significativos) com base nos dados do ERA5 (01/011979 a 31/12/2020), sendo que a esquerda é o clima de onda médio, no meio é o clima de onda de tempestade tipo 1 e a esquerda é o clima de onda de tempestade tipo 2.

## Clima de ondas com base nos dados da boia PNBOIA

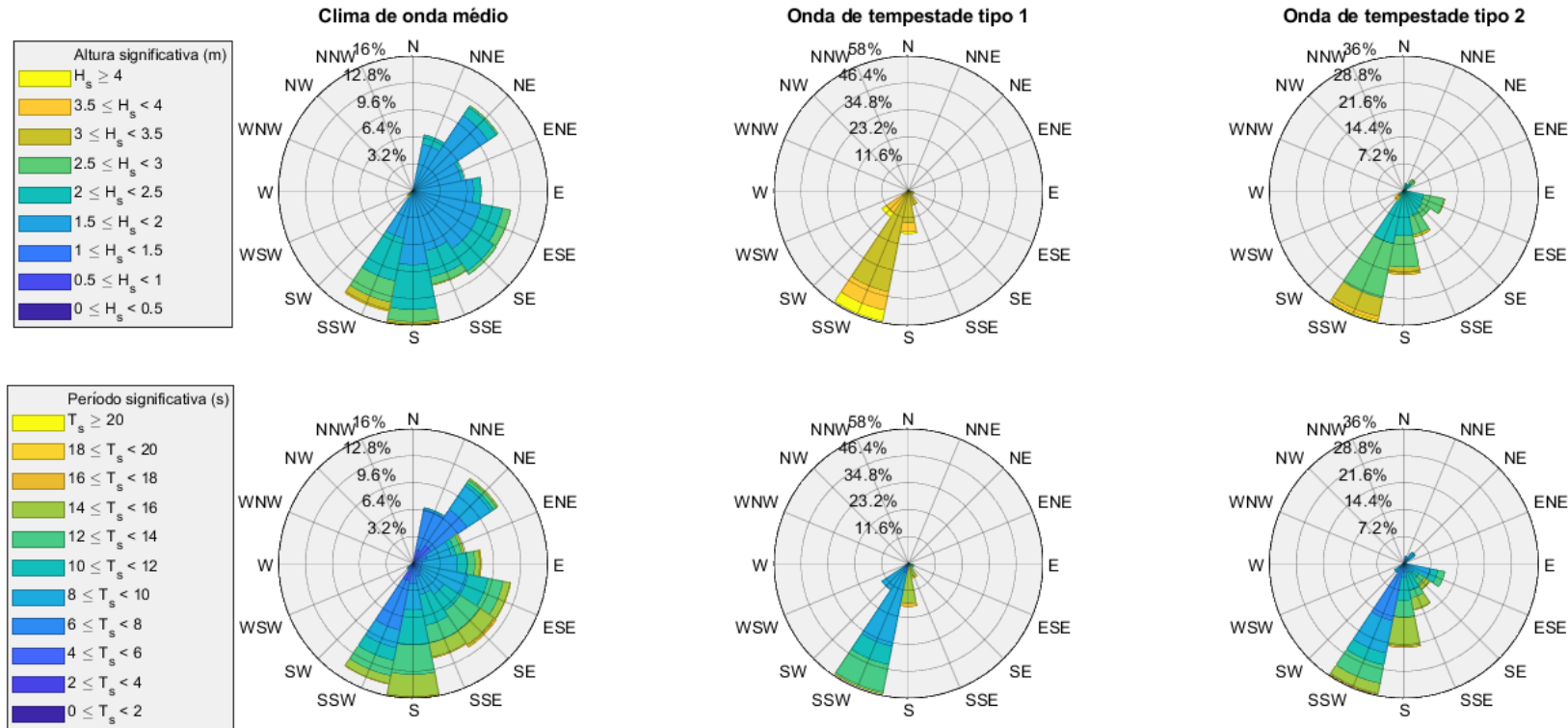


Figura 26 – Clima de ondas (altura e período significativos) com base nos dados da boia PNBOIA, sendo que a esquerda é o clima de onda médio, no meio é o clima de onda de tempestade tipo 1 e a esquerda é o clima de onda de tempestade tipo 2.

## Clima de ondas com base nos dados do ADCP

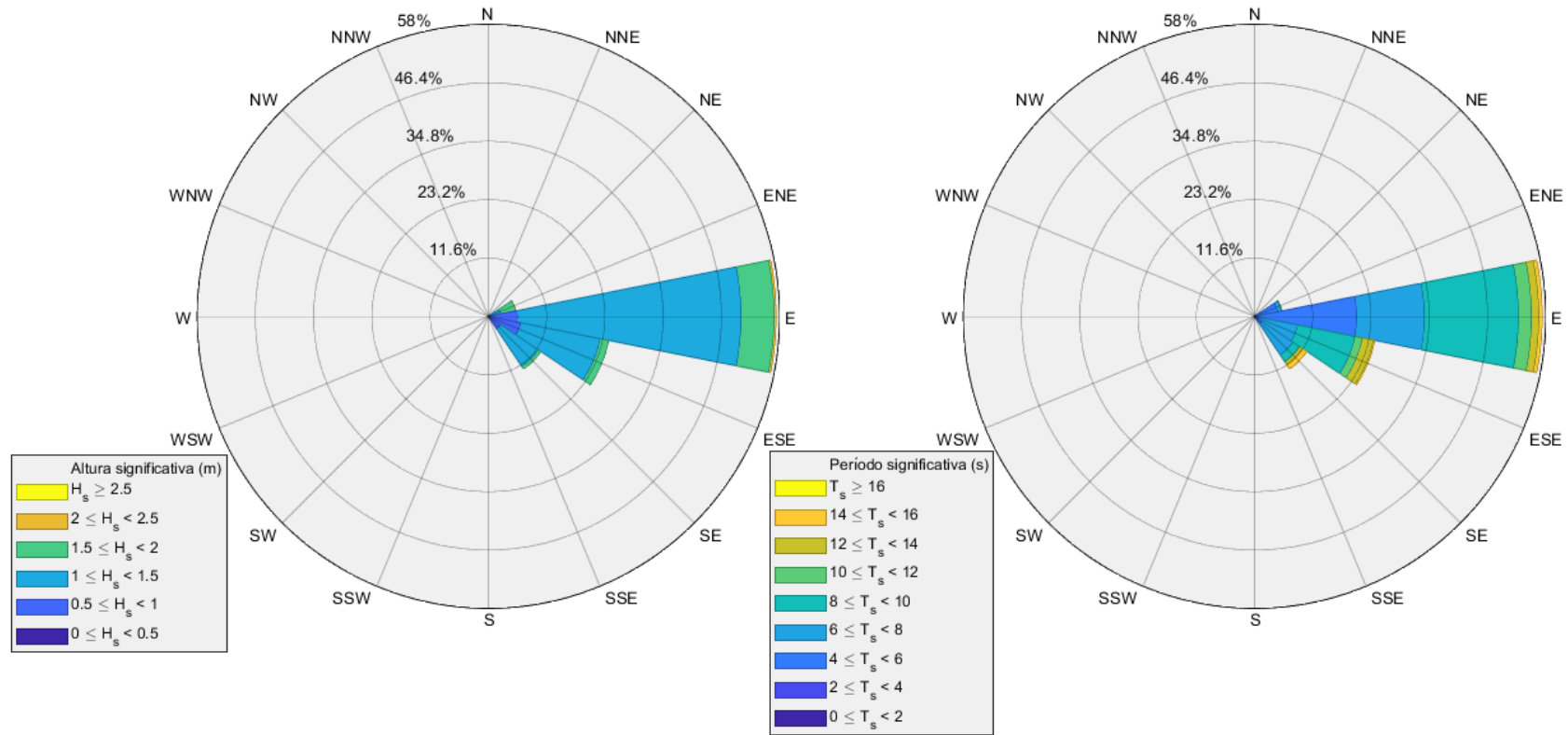


Figura 27 – Clima de ondas do ADCP entre 11/08/2021 a 16/09/2021.

## Clima de ondas do ERA5 entre 11/08/2021 a 16/09/2021

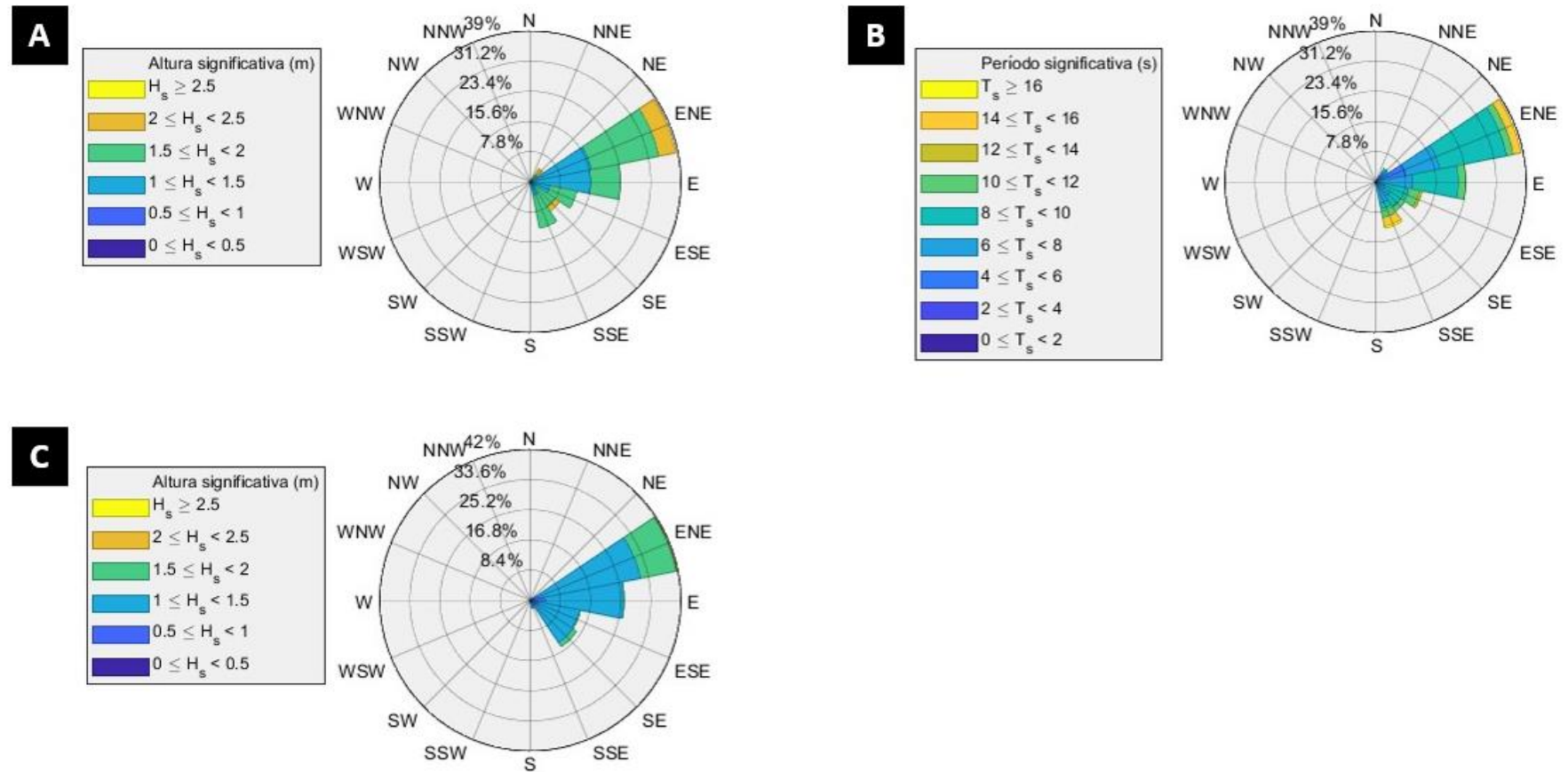


Figura 28 – Clima de ondas do ERA5 entre 11/08/2021 a 16/09/2021. A e B possuem as mesmas coordenadas no ERA5 (de 01/01/1979 a 31/12/2020) e C possui a mesma coordenada do ADCP.



#### 4.1.3 Processos erosivos e inundacionais sob ondas de tempestades

A tabela 5 apresenta cenários simulados de acordo com o clima de ondas do ERA5 (01/01/1979 a 31/12/2020) e do PNBOA para saber qual regime de impacto da Escala de Sallenger é para cada perfil a NMM e a NMPS. Adotando como altura de onda os valores das ondas de tempestade, foram realizadas as simulações em cenários (C3 a C11, exceto o C1 e C2 que não são ondas de tempestades e C12 que foi extrapolado) conforme a tabela 5. Nesta tabela é possível visualizar, por exemplo, que nos cenários C3 e C4, C7 e C8, C9 e C10, e C11 e C12 a altura foi mantida e o período foi alterado; neste caso, obteve-se um valor do *runup* maior naquele com o maior período. Logo, pode-se concluir que, se for mantido a altura e aumenta o período, maior será o *runup* e isto, consequentemente, aumentaria os níveis na Escala de Sallenger. Também é observado que os níveis vão ficando mais críticos nos regimes de impactos de Sallenger a NMPS comparado com a NMM.

Tabela 5 – Cenários com a relação do *runup* e a Escala de Impacto de Sallenger para os perfis de praia com NMM e NMPS, onde: 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

Cenários	H (m)	T (s)	L (m)	Runup (m)	Perfil a NMM				Perfil a NMPS			
					P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
C1	0,5	7	76,43	0,72	1	1	1	1	1	1	1	1
C2	0,5	12	224,60	1,24	1	1	1	1	1	1	1	1
C3	1,5	9	126,34	1,61	1	1	1	1	2	1	1	1
C4	1,5	14	305,70	2,51	2	1	1	2	2	1	1	2
C5	2	10	155,97	2,07	2	1	1	1	2	1	1	2
C6	2,5	20	623,89	4,62	2	2	2	2	2	2	2	3
C7	3	7	76,43	1,77	1	1	1	1	2	1	1	2
C8	3	15	350,94	3,80	2	1	2	2	2	2	2	2
C9	3,5	8	99,82	2,19	2	1	1	1	2	1	1	2
C10	3,5	16	399,29	4,37	2	2	2	2	2	2	2	2
C11	4	9	126,34	2,63	2	1	1	2	2	1	1	2
C12	4	22	754,90	6,43	3	3	3	3	3	3	3	3

Os dados do ADCP se enquadram nos cenários C3 a C5 ocorrendo somente os níveis 1 e 2 da Escala de Sallenger tanto ao NMM quanto a NMPS.

Em relação à exposição das dunas sob ondas mais energéticas, aplicando a Escala de Impacto de Sallenger, foi observado que na área de estudo ocorreram somente os níveis 1 (espraiamento) e 2 (colisão), sendo que em relação ao NMM dominou o nível 1 sobre o nível 2 nos quatro perfis de praia, mas quanto ao NMPS o nível 2 prevaleceu sobre o nível 1 apenas no P1 (figura 29; apêndices E e F). Já em P4 com NMPS ocorreu um aumento no nível 2 e uma redução no nível 1 no que se refere a frequência de ocorrência comparado ao NMM. Não apareceram indícios de sedimentos de transposição (*washover*), pois não alcançou o nível 3. Logo, não teve evidências de dunas complementarmente inundadas (nível 4). Em relação ao coeficiente de variação, o comprimento de

onda ( $L$ ) obteve o maior valor devido a fórmula aplicada  $(L_0 = \frac{gT^2}{2\pi})$  (apêndices E e F) na qual foi usada para encontrar o *runup*.

Quando se faz o recorte para NMPS, houve o aumento no “nível médio” e foi observado uma redução no nível 1 e um aumento no nível 2 nos perfis 1 e 4. Isto ocorre por causa dos impactos de tempestades em barreiras costeiras por ter uma variabilidade espacial significativa principalmente devido à variabilidade ao longo da costa tanto da morfologia da praia quanto da intensidade do forçamento do oceano, como maré de tempestade, ondas e *runup* (SALLENGER, 2000; MORTON, 2002; STOCKDON *et al.*, 2007). Tal situação torna os bermas e/ou as dunas frontais mais vulneráveis à erosão e à transposição, já que as ondas atacam a parte mais alta do perfil deste subambiente (berma e/ou duna frontal) quando os níveis de água aumentam ao longo da costa (MORTON, 2002).

O ataque prolongado de ondas de tempestade ao longo de várias marés altas consecutivas pode erodir progressivamente um sistema de barreira costeira (LEAMAN *et al.*, 2021). O espraiamento da onda chegando na base da duna pode acarretar a erosão na base da duna que assim perde largura podendo desaparecer, na qual a defesa costeira comprometida. Isto ocorreu no P4 na campanha de 2021 (figura 21).

Por isto, o espraiamento máximo da onda (*runup*) é a chave para o sucesso do planejamento e gestão costeiros e um parâmetro crítico na avaliação do efeito da subida do nível do mar na costa (SENECHAL *et al.*, 2011). Visto que um aumento no *runup* leva aos níveis mais extremos da Escala de Impacto de Sallenger (tabela 5).

A altura de onda igual ou maior a 1,5m (43% no ERA5 e 39% na PNBOIA; ver figura 24) pode ser vulnerável para as dunas, pois a partir desta altura a onda começa a chegar na base da duna frontal (nível 2); como é visto na tabela 5 no cenário C4 à NMM, por exemplo. A alteração climática pode aumentar o nível médio do mar, isto aumenta o *runup* e, conseqüentemente, pode ocorrer os regimes 2, 3 ou 4 na Escala de Impacto de Sallenger.

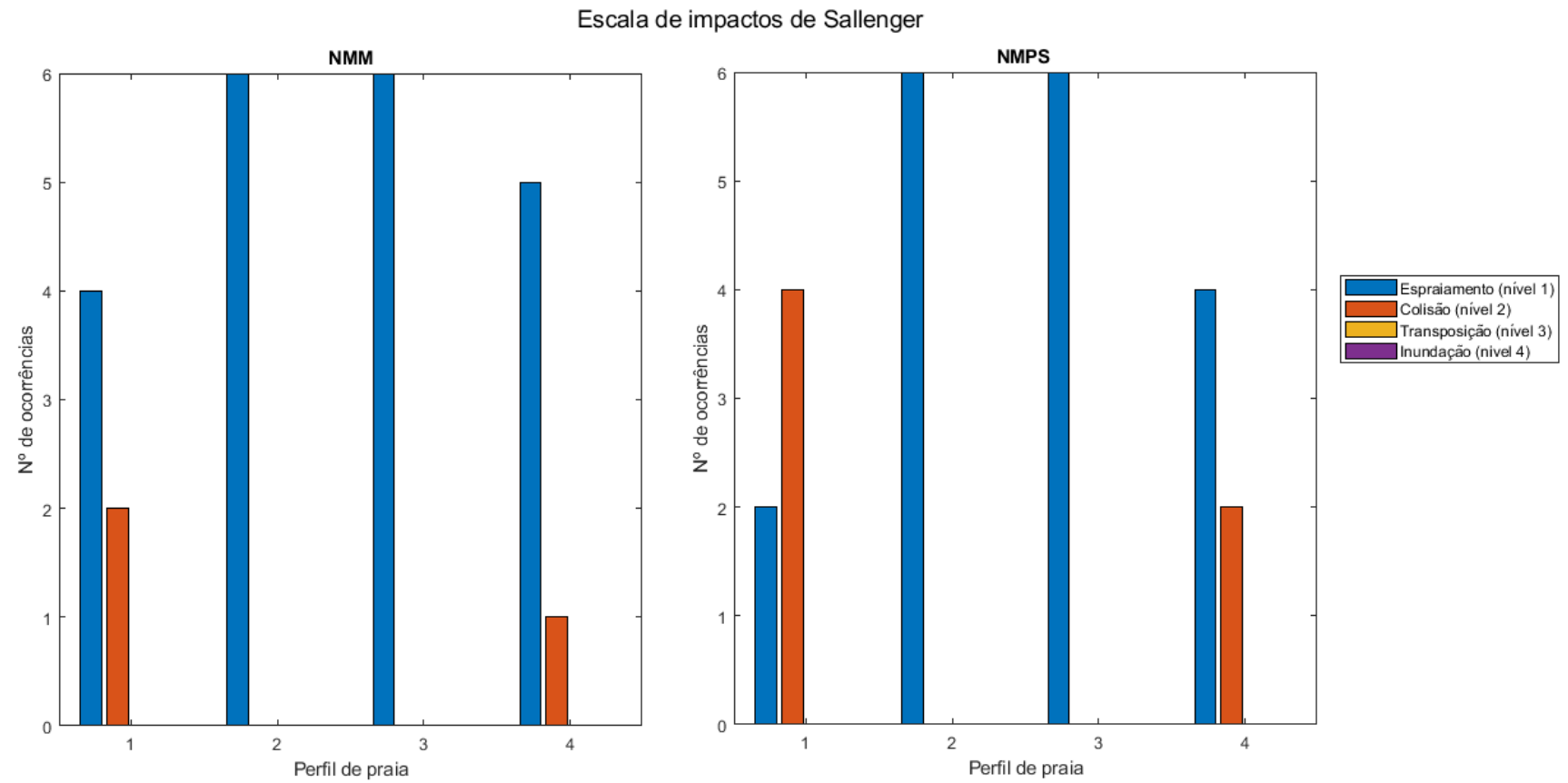


Figura 29 – Escala de Impacto de Sallenger aplicada tanto para o nível médio do mar (NMM) quanto para nível médio das premares de sizígia (NMPS).

## 4.2 O PAPEL DA VEGETAÇÃO NA PROTEÇÃO DO SISTEMA PRAIA-DUNAS

A tabela 6 traz as medições realizadas na vegetação (altura, diâmetro da haste e densidade da cobertura vegetal) na campanha de 11/2021 referentes as figuras 30 a 33.

Tabela 6 – Medições feita na vegetação na campanha de 11/2021 referentes as figuras 30 a 33.

Perfil de praia	Quadrat	Medições da vegetação das dunas frontais		
		Altura (ah) em cm	Diâmetro da haste (bv) em mm	Densidade da cobertura vegetal (Nv) em unidade por m <sup>2</sup>
P1	C	32	0,2	35
	D	98	20	25
P2	C	40	0,1	28
	D	16	0,1	39
	E	64	0,1	45
	F	11	0,1	78
P3	C	23	0,2	13
	D	16	0,2	15
	E	20	0,2	24
	F	25	0,2	19
P4	C	20	0,2	25
	D	32	0,1	35
	E	45	0,1	32



Figura 30 – P1: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; e E – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021.

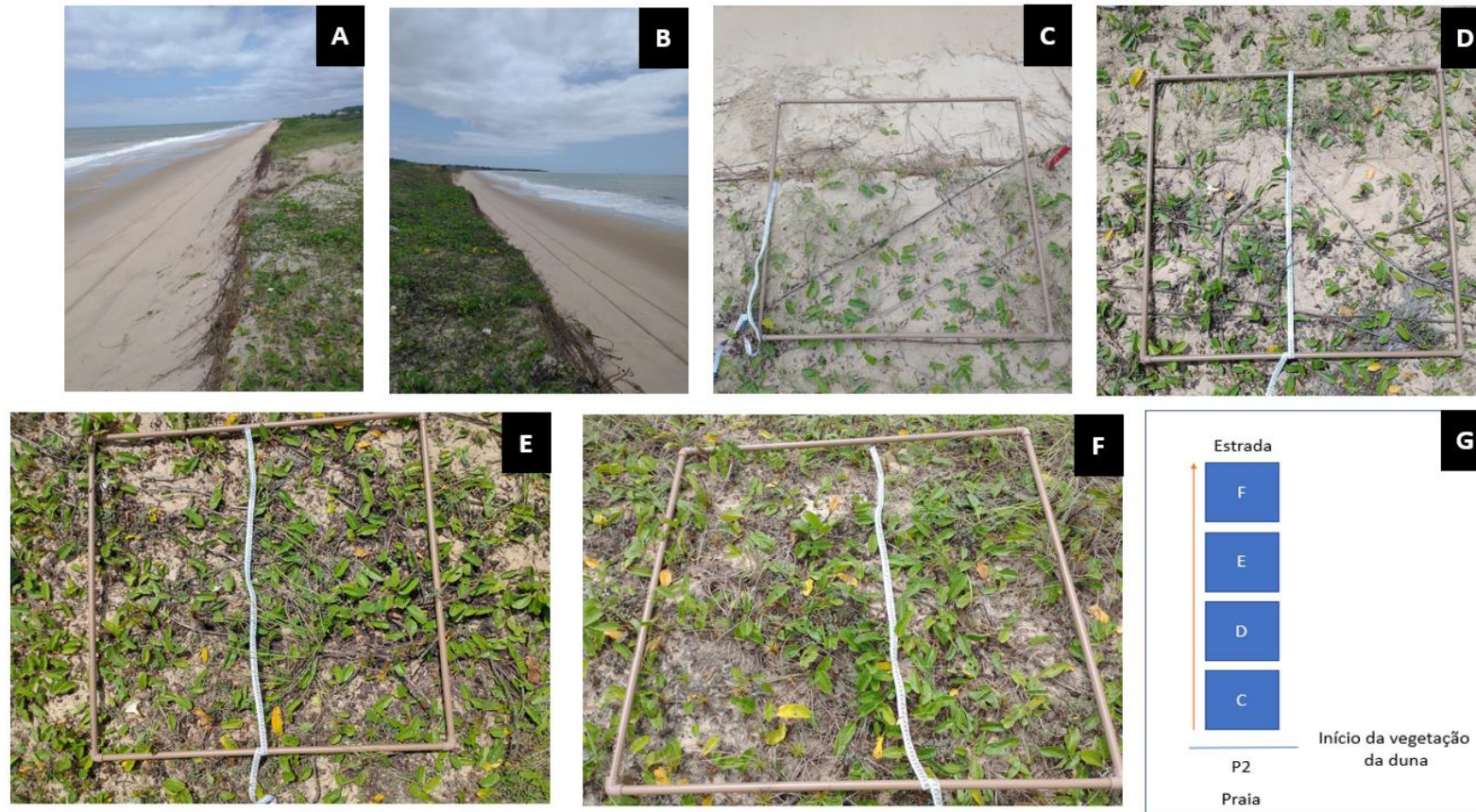


Figura 31 – P2: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; E – terceiro quadrat; F – quarto quadrat; e G – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021.



Figura 32 – P3: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; E – terceiro quadrat; F – quarto quadrat sendo realizada as medições na vegetação; e G – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021.





Figura 33 – P4: A – Vista para ao sul do perfil; B – Vista para ao norte do perfil; C – primeiro quadrat; D – segundo quadrat; E – terceiro quadrat; e F – croqui para amostragem da vegetação das dunas frontais (quadrat) da campanha de 11/2021.

A vegetação adjacente à praia é a restinga (figuras 30 a 33), que, por definição, é um ecossistema costeiro (DEPRÁ *et al.*, 2022) que apresenta alguns dos serviços ecossistêmicos, como: regulação do clima; recreação e lazer; retenção natural de sedimentos; e entre outros (DE PAIVA & DE ALMEIDA JR, 2020). Entretanto, a cobertura da vegetação vem sofrendo ameaças pelas ações humanas, tais como: construção de empreendimentos, extração ilegal de areia, expansão das áreas de agropecuária e introdução de espécies não-nativas (SCHLICKMANN *et al.* 2019). Nas figuras de 18 a 20 há presença de núcleos de urbanização próximos da vegetação de dunas frontais que posteriormente podem construir em cima das dunas por falta de conhecimento da importância que elas têm.

Neste ecossistema, na área de estudo, houve uma diversificação na vegetação de um perfil para o outro, com predominância de uma espécie ou com a composição de diferentes espécies. No P1 observa-se plantas herbáceas sobre a duna frontal erodida e plantas arbustivas à retropraia (figura 30). Em P2 plantas herbáceas são observadas, com predominância de uma espécie (figura 31). No P3 também são encontradas plantas herbáceas com uma prevalência de outra espécie (figura 32). E em P4 ver-se da mesma forma plantas herbáceas, mas com mistura de espécies (figura 33). Folli (2021) identificou *Ipomoea pes-caprae* (L.) R.Br. e *Canavalia rosea* (Sw.) DC. como sendo as espécies da vegetação pioneira, primeiras plantas que se estabelecem são as de pequeno porte e rasteiras após uma perturbação no ambiente, dominantes na área de estudo (litoral sul do Espírito Santo). Está perturbação sobre as dunas frontais pode diminuir a densidade da cobertura de vegetação deixando o solo exposto e/ou a vegetação morta.

Segundo Pereira (2022), em Presidente Kennedy ocorrem trechos com várias fisionomias da restinga, no entanto não há Unidade de Conservação para esta porção do litoral. A riqueza florística e fisionômica desta região foi reconhecida por Braz *et al.* (2013) depois de estudos na Praia das Neves, tendo sugerido a criação de área de conservação de Proteção Integral. Porém, esta riqueza

florística e fisionômica já foi, em parte, erradicada pela construção de uma unidade portuária (FERRARI & GOMES, 2020).

Segundo Waechter (1985 *apud* OPOLSKI-NETO & MELO JR, 2022), o afastamento da vegetação em relação ao mar resulta no aumento da riqueza de espécies, na abundância de indivíduos lenhosos e no incremento em altura da vegetação. Estas características são observadas somente em P1, sendo o vento, a salinidade, e características do substrato, como teor de água e disponibilidade de nutrientes são os fatores que influenciam (ARAUJO, 1992).

Ao longo do P1 também é observada a diminuição na densidade da cobertura vegetal à medida que se afastar do mar, pois o sombreamento impede que algumas espécies se desenvolvam (ODUM, 1988). Já em P2, P3 e P4 observam-se que o diâmetro da haste do vegetal não se desenvolveu de acordo com o afastamento em relação ao mar (tabela 6 e figuras 30 a 33). Isto ocorre devido aos micronutrientes minerais (B, Cu, Fe, Mn e Zn), importantes como fatores limitantes do desenvolvimento vegetal, não estando distribuídos homogeneamente numa área (ODUM, 1988). Em geral, o distanciamento da vegetação em relação ao oceano resulta no aumento da riqueza de espécies, um aumento da cobertura e no incremento em altura do vegetal.

O levantamento dos perfis foi realizado em áreas com pouca urbanização em Presidente Kennedy e Maratáizes, mas no verão a quantidade de turista que frequentam estas praias é alta (FOLLI, 2021). Contudo, as imagens do Google Earth (figuras 18 a 21) mostram que para o acesso às praias, os turistas não contam com passarelas, sendo frequente o pisoteio sobre a vegetação das dunas. Ao longo do litoral, a continuidade da faixa da cobertura vegetal é interrompida por várias trilhas (FOLLI, 2021). A mesma autora afirma que a supressão de parte da vegetação fixadora das dunas frontais pode dar origem a corredores de deflação, com modificação substancial da morfologia da duna frontal.

A ação do vento, do *runup* e das tempestades podem diminuir a altura das dunas frontais, originar escarpas e deixar as raízes da vegetação pioneira expostas (HESP & WALKER, 2013). Também pode ocorrer a deposição do material da

erosão no sopé da duna (base da duna), ocorrendo um aumento do sedimento nesta área.

Portanto, a vegetação é importante porque tende a fixar a duna frontal no local pela sua capacidade de promover a deposição do sedimento e a reduzir a erosão.

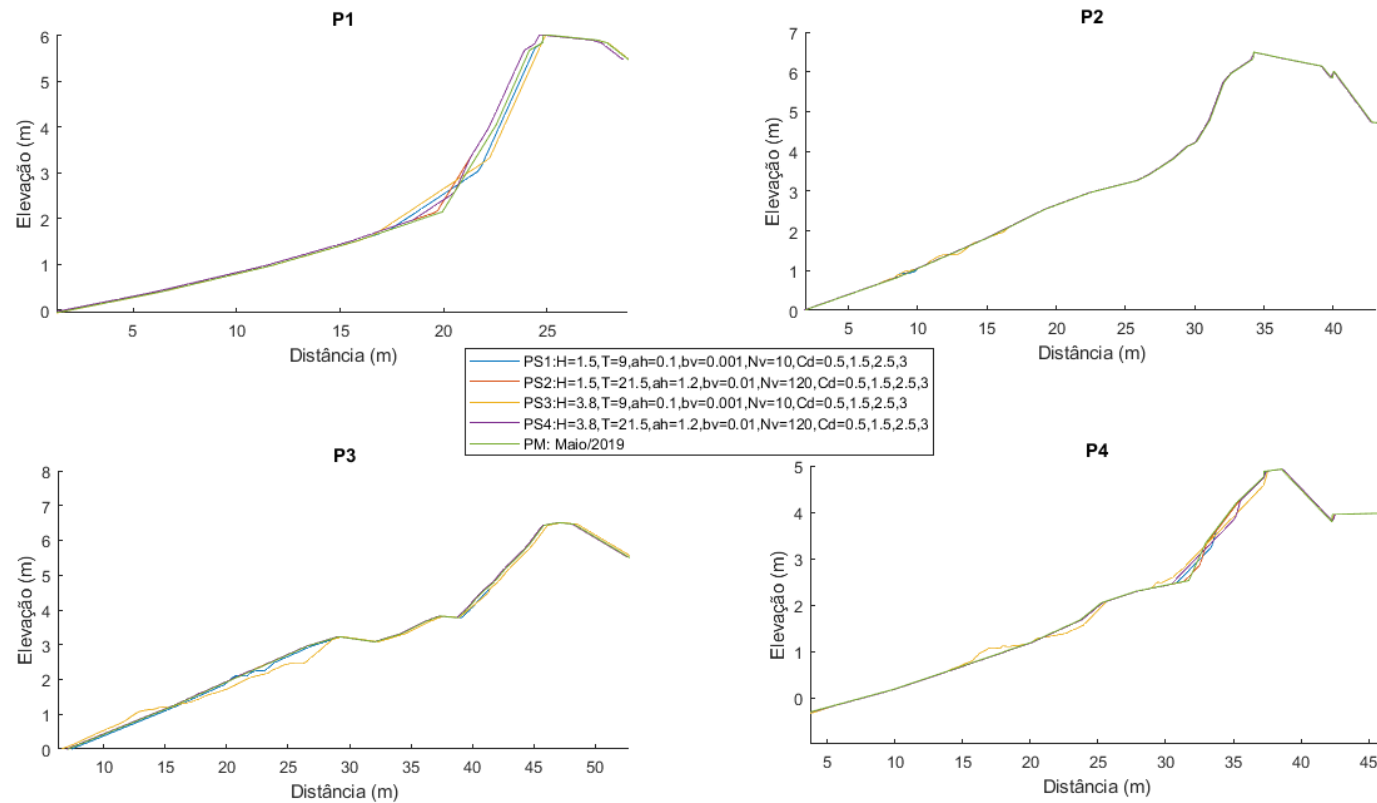


Figura 34 – Simulação no XBeach com vegetação dos quatro perfis de praia a partir da campanha 05/2019 utilizando o nível médio das premares de sizígia (NMPS), onde PS é o perfil simulado e PM é o perfil medido. Onde  $H$  = altura de onda [m],  $T$  = período de onda [s],  $ah$  = altura da vegetação [m],  $bv$  = diâmetro da haste da vegetação [m],  $Nv$  = densidade da cobertura vegetal [unidade/m<sup>2</sup>],  $Cd$  = coeficiente de arrasto e PS = perfil simulado. Também foi adicionado a esta figura o perfil medido (PM) campanha 05/2019 usando o NMPS.

A figura 34 (página anterior) traz as simulações com presença de vegetação realizadas no XBeach da campanha 05/2019 usando o NMPS em quatro cenários: PS1, PS2, PS3 e PS4.

Na figura 34 é possível observar em P1, partindo do perfil medido na campanha de 05/2019 o PS1 e o PS3 apresentaram uma erosão e o PS2 e o PS4 uma acreção (da base da duna até a quebra do final da crista da duna). Ao sopé da duna ocorreu a acreção decrescente: PS3, PS1, PS4 e PS2; e na praia uma acreção em PS4. Em P2, o PS1 e o PS3 alteraram levemente a praia; e acreção em PS4 da praia até a quebra do final da crista da duna. Já em P3, o PS1 e o PS3 modificaram significativamente a praia, sendo que PS3 ora tinha erosão ora acreção, e ocorreu erosão base da duna até a quebra do final da crista da duna; acreção do PS4 da base da duna até a quebra do final da crista da duna. Por fim, em P4, um pouco acima da base da duna até a quebra do final da crista da duna ocorre erosão em todos os cenários, mas a praia o PS3 tem uma significativa modificação; e no sopé da duna a ordem da acreção decrescente foi: PS3, PS4, PS1 e PS2. O  $Cd$  não apresentou variação por cenário e por esta razão foi colocado um único perfil.

Além disto, nas simulações em que o perfil possuía mais plantas com  $ah=1,2$  e  $bv=0,01$  foi menos erodido comparado com o perfil com menos plantas com  $ah=0,1$  e  $bv=0,001$ . Mesmo com a presença de vegetação, houve erosão com altura de 3,8m e período de 21,5s tanto com mais ou menos número de plantas. Em todos os casos, a cobertura vegetal não mostrou um aumento proeminente no efeito de resistência com o aumento do coeficiente de atrito. Esse acontecimento também foi demonstrado no estudo de Cai *et al.* (2021).

Portanto, o papel da vegetação nas dunas frontais é muito importante devido ao fato de oferecerem inúmeros serviços ecossistêmicos além de proteger a costa da erosão e inundação. Além disto, geralmente não há cobertura vegetal na face da duna frontal. Esta cobertura da vegetação ocorre no topo e reverso, e às vezes na berma de tempestade. Este último quando existir.

Pelas simulações realizadas no XBeach, ocorreu uma maior erosão nas dunas frontais com pouca cobertura vegetal comparada com as que possuíam uma cobertura maior. Ou seja, as com maior densidade de cobertura vegetal tiveram

uma maior proteção, mas estão sujeitas a sofrer processo erosivo de menor intensidade.

Além do mais, as simulações em uma dimensão (1D) com presença de vegetação feitas no XBeach tem escala de tempo de tempestades (horas a dias). Por esta razão, os processos de erosão e de acreção, que apresentaram nestas simulações, evidenciaram uma intensidade fraca (figura 34). Logo, o modelo não é capaz de prevê o que vai acontecer depois de vários anos.

#### 4.3 O PAPEL DAS DUNAS FRONTAIS NA PROTEÇÃO AO LONGO DO LITORAL SUL DO ESPÍRITO SANTO

As dunas frontais são essenciais por serem a primeira linha de defesa do continente contra a ocorrência de grandes ondas e elevações do nível da água do mar (e.g. LARSON *et al.*, 2004; SALLENGER, 2000). Além disto, a antropização exerce forte influência na forma de modificar o estoque sedimentar e morfodinâmico de praias arenosas (TABAJARA *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A tabela 7 traz um resumo das informações já discutidas, tais como: localização das praias onde foram realizados os perfis de praia (P1, P2, P3 e P4), proteção das dunas frontais (Escala de Impacto de Sallenger), vegetação sobre as dunas frontais, construções sobre as dunas frontais, urbanização nos arredores e comportamento da linha de costa através do perfil medido a NMM das campanhas 11/2021 e 09/2021.

Tabela 7 – Síntese das informações.

Municípios	Presidente Kennedy	Marataízes		
Perfil de praia	P1	P2	P3	P4
Localização	Praia das Neves	Praia Marobá	Praia do Siri	Praia de Lagoa Dantas
Proteção das dunas frontais (Escala de Impacto de Sallenger)	Não	Sim	Sim	Não
Vegetação sobre dunas frontais	Sim	Sim	Sim	Sim
Construções sobre dunas frontais	Não	Não	Não	Não
Urbanização nas proximidades	Não	Sim	Sim	Sim
Comportamento da linha de costa (perfil medido da campanha 11/2021 para P1 e P2; e campanha 09/2021 para P3 e P4)	erosão	erosão	acrecção	erosão

De modo geral, do que foi exposto, a costa é protegida em P2 e P3; e desprotegida em P1 e P4 no que se refere a Escala de Sallenger. Porém somente em P3 ocorre acreção e o restante erosão. Além disto, o litoral sul capixaba é exposto a entrada de tempestade, uma vez que em caso de combinação da elevação do nível do mar (maré meteorológica) e incidência de ondas mais altas, as praias ficam expostas a alterações morfológicas que resultam no recuo da linha de costa (NEVES & MUEHE, 2010). Isto pode erodir as dunas frontais.

Além do mais, dos quatro perfis vistos por imagens do Google Earth (figuras 18 a 21), o P3 é o que apresenta a menor quantidade de vegetação entorno por ter uma urbanização espaçada, mas ele o que tem a vegetação mais estável (figura 32), visto que a última campanha mostra uma acreção no perfil de praia (figura 20). Os outros perfis (P1, P2 e P4) sofreram erosão, mas mesmo assim



conseguiram proteger a orla por ter dunas frontais de grande extensão (altura com média maior que 2m e largura com média maior do que 4m – apêndices B e C). Neste caso de erosão nas dunas frontais, pode ter ocorrido a remoção a vegetação pioneira por ondas de tempestades deixando a vegetação do próximo estágio sucessional (fase intermediária) exposta.

Nenhum dos perfis levantados apresentavam indícios de construção de casa e/ou empreendimento sobre as dunas frontais. Mas futuramente, se não houve uma conscientização sobre a importância das dunas frontais e elas forem destruídas poderá ter consequências, tais como: erosão, inundação, perda de propriedade, perda humana, não será atrativo para o turismo e entre outros.

Muehe (2001) definiu critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento o que fica evidente a proteção à ocupação com a presença das dunas frontais. Estas são mais desenvolvidas em praias dissipativas ou de baixo gradiente. As praias que estão sob condição de aumento do nível médio relativo do mar, permitem alcance horizontal das ondas mais longo, sendo as barreiras representadas pelas dunas frontais determinantes na proteção da orla.

Segundo o IJSN (2020), em 2013, Marataízes estava na fase de contratação de Instrutor do Projeto Orla quando ocorreu a mudança de prefeito e desde então o município encontra-se na mesma situação de "aderido". Ele ainda não retomou os trabalhos para implementar o Projeto Orla (IJSN, 2020).

Em abril de 2011, Presidente Kennedy iniciou o processo do Projeto Orla e paralisou em função da troca de prefeito; em setembro de 2014 houve a retomada do Projeto Orla; e em novembro de 2014 aconteceu a apresentação do Projeto orla à nova gestão municipal (IJSN, 2020). Mas, desde então o município não prosseguiu com os trabalhos e também se encontra na situação de "aderido" (IJSN, 2020).

A primeira parte do Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) prevê que o nível do mar em todo o mundo suba de 2 a 3 metros nos próximos 2000 anos, mesmo que as temperaturas sejam mantidas sob controle em 1,5°C de aquecimento e até 6 metros com 2°C

de aquecimento, o que alteraria as costas que atualmente são habitadas por centenas de milhões de pessoas (TOLLEFSON, 2021).

Considerando as projeções de alteração das condições climáticas e oceanográficas e do incremento da urbanização da orla, principalmente sobre as dunas, a implementação de um protocolo de uso e apropriação da orla se torna urgente e deve ser feito de forma preventiva e não emergencial.

Desta forma, estando o litoral em processo de urbanização, dados sobre a mobilidade e compreensão do sistema praia-dunas é fundamental na implantação de programas de gestão costeira.

## 5 CONCLUSÕES

Os impactos de diferentes eventos de tempestade podem estar ligados às variações nas características e gênese de uma determinada tempestade, resultando em erosão costeira em diferentes graus.

As dunas frontais, que têm o papel de proteger a orla e os municípios capixabas do litoral sul, vem tendo o problema da erosão. Apesar disto, as dunas conseguem exercer a proteção, devido ao fato de possuírem uma extensa área na retropraia e a urbanização ficar nos arredores.

Em relação a vegetação não identificada da duna frontal, que foi simulada no XBeach na escala temporal de tempestades, ela pode ser erodida com um menor ou maior número de plantas. Sendo que nestas últimas a erosão possui um grau mais leve. Além do mais, estas simulações não são indicadas para prever o que vai ocorrer depois de anos.

Com nível médio do mar mais alto devido as mudanças climáticas, a praia também aumenta de altura e o ataque continua a se concentrar na base da duna (colisão). Por outro lado, as dunas, poderão, ou não, ter sua altura aumentada por ação de transporte eólico. Mas podem também sofrer corte eólico (*blow out*) e permitir a transposição localizada.

Para trabalhos futuros, recomenda-se usar dados de ondas profundas que irão se propagar até a costa através de modelagem. E quando estas ondas se

aproximarem dos perfis de praia, sugere-se aplicar a Escala de Impacto de Sallenger e analisar a susceptibilidade erosiva e inundacional. Além disto, recomenda-se identificar as espécies da vegetação sobre as dunas frontais, analisar as previsões meteoceanográficas antes das campanhas com mais intervalos (por exemplo: com 15 dias, 30 dias e 60 dias que antecedem o campo) e desvendar a história deposicional para entender a evolução das dunas frontais do litoral sul do Espírito Santo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albino, J. (1999). Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES [Current sedimentation and morphodynamic processes between Bicanga and Povoação beaches – ES]. (Tese de Doutorado). Doi: 10.11606/T.44.1999.tde-04112015-153554

Albino, J., Girardi, G., & Nascimento, K. A. do. (2006). Espírito Santo. *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: MMA, 227-264. Disponível: [https://web.archive.org/web/20180722051713id\\_/http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/publicacao/78\\_publicacao12122008090123.pdf](https://web.archive.org/web/20180722051713id_/http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/publicacao/78_publicacao12122008090123.pdf)

Albino, J., Neto, N. C., & Oliveira, T. C. A. (2016). The Beaches of Espírito Santo. In *Brazilian Beach Systems* (pp. 333-361). Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-30394-9\_13

Albino, J., Paiva, D. S., & Machado, G. M. (2001). Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana das praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. *Geografares*, Vitória, n. 2, p. 63-69. DOI: 10.7147/GEO2.1141

Almeida, L. R. de, Amaro, V. E., Marcelino, A. M. T., & Scudelari, A. C. (2015). Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 15(2), 135-151. DOI:10.5894/rgci532

Anderson, T. R., Fletcher, C. H., Barbee, M. M., Frazer, L. N., & Romine, B. M. (2015). Doubling of coastal erosion under rising sea level by mid-century in Hawaii. *Natural Hazards*, 78(1), 75–103. DOI:10.1007/s11069-015-1698-6

Araujo, D. S. D. (1992). Vegetation types of sandy coastal plains of tropical Brazil: a first approximation. In *Coastal plant communities of Latin America* (pp. 337-347). Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-08-092567-7.50027-1

Araujo, G. H. de S., Almeida, J. R., & Guerra, A. J. T. (2005). Gestão ambiental de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Disponível: [https://www.researchgate.net/publication/281320326\\_GESTAO\\_AMBIENTAL\\_DE\\_AREAS\\_DEGRADADAS](https://www.researchgate.net/publication/281320326_GESTAO_AMBIENTAL_DE_AREAS_DEGRADADAS)

Armaroli, C., Grottoli, E., Harley, M. D., & Ciavola, P. (2013). Beach morphodynamics and types of foredune erosion generated by storms along the Emilia-Romagna coastline, Italy. *Geomorphology*, 199, 22-35. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.04.034

Avelar, J. F. R. (2022). Estudo do potencial da energia das ondas nos estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) da Pós-Graduação *Lato Sensu* em Clima e energia: Variabilidade e Impactos. Laboratório de Meteorologia do Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Baldock, T. E., Holmes, P., & Horn, D. P. (1997). Low frequency swash motion induced by wave grouping. *Coastal Engineering*, 32(2-3), 197-222. DOI: 10.1016/S0378-3839(97)81750-4

Barbosa, E. de M., Monico, J. F. G., Alves, D. B. M., & De Oliveira, L. C. (2010). Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 16(4), 589-605. DOI: 10.1590/S1982-21702010000400007

Battjes, J. A. (1974). SURF SIMILARITY. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(14), 26. DOI: 10.9753/icce.v14.26

Beuzen, T., Harley, M. D., Splinter, K. D., & Turner, I. L. (2019). Controls of variability in berm and dune storm erosion. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(11), 2647-2665. DOI:10.1029/2019JF005184

Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248. DOI: 10.1002/esp.261

Branco, F. V. (2005). *Contribuições de swell gerado em tempestades distantes para o clima de ondas na costa brasileira*. (Dissertação de Mestrado). Disponível: [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=91042](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=91042)

Brand, E., De Sloover, L., De Wulf, A., Montreuil, A. -L., Vos, S., & Chen, M. (2019). Cross-shore suspended sediment transport in relation to topographic changes in the intertidal zone of a macro-tidal beach (Mariakerke, Belgium). *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(6), 172. DOI: 10.3390/jmse7060172

Brasil. (2012). Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida

Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm).

Braz, D. M., Jacques, E. de L., Somner, G. V., Sylvestre, L. da S., Rosa, M. M. T. da, Pereira-Moura, M. V. L., Filho, P. G., Couto, A. V. dos S., & Amorim, T. A. (2013). Restinga de Praia das Neves, ES, Brasil: caracterização fitofisionômica, florística e conservação. *Biota Neotropica*, 13, 315-331. DOI: 10.1590/S1676-06032013000300032

Bush, D. M., Neal, W. J., Young, R. S., & Pilkey, O. H. (1999). Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. *Ocean & Coastal Management*, 42(8), 647-670. DOI: 10.1016/S0964-5691(99)00027-7

Cabrera-Vega, L. L., Cruz-Avero, N., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A. I., & Fernández-Cabrera, E. (2013). Morphological changes in dunes as an indicator of anthropogenic interferences in arid dune fields. *Journal of Coastal Research*, (65), 1271-1276. DOI: 10.2112/SI65-215.1

Cai, Z., Wang, J., Yang, Y., & Zhang, R. (2021). Influence of vegetation coverage on hydraulic characteristics of overland flow. *Water*, 13(8), 1055. DOI: 10.3390/w13081055

Callaghan, D. P., Roshanka, R., & Short, A. (2009). Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. *Coastal engineering*, 56(1), 90-93. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2008.10.003

Castelle, B., Marieu, V., Bujan, S., Splinter, K. D., Robinet, A., Sénéchal, N., & Ferreira, S. (2015). Impact of the winter 2013–2014 series of severe Western Europe storms on a double-barred sandy coast: Beach and dune erosion and megacusp embayments. *Geomorphology*, 238, 135–148. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.03.006

Castelle, B., & Harley, M. (2020). Extreme events: Impact and recovery. In *Sandy Beach Morphodynamics* (pp. 533-556). Elsevier. DOI: 10.1016/B978-0-08-102927-5.00022-9

CHM – Centro de Hidrografia da Marinha, 2020a. Tábua de Marés. Terminal da Ponta de Ubu - Estado do Espírito Santo. Marinha do Brasil. Disponível: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>

CHM – Centro de Hidrografia da Marinha, 2020b. Carta Náutica. Proximidades da Ponta de Ubu - Estado do Espírito Santo. Marinha do Brasil. Disponível: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-cartas-nauticas/cartas-nauticas>

Ciavola, P., & Coco, G. (2017). *Coastal Storms: Processes and Impacts*. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-118-93710-5

CONAMA (2002) - Resolução No 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. DOU no 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, página 68. Disponível: [http://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=299](http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=299)

de Almeida, L. R., González, M., & Medina, R. (2019). Morphometric characterization of foredunes along the coast of northern Spain. *Geomorphology*, 338, 68-78. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.04.019

Delgado-Fernandez, I., Davidson-Arnott, R. G. D., & Hesp, P. A. (2019). Is 're-mobilisation' nature restoration or nature destruction? A commentary. *Journal of Coastal Conservation*, 23(6), 1093-1103. DOI: 10.1007/s11852-019-00716-9

de Paiva, B. H. I., & de Almeida Jr, E. B. (2020). Diversidade, análise estrutural e serviços ecossistêmicos da vegetação lenhosa da restinga da praia da Guia, São Luís, Maranhão, Brasil. *Biodiversidade*, 19(2). Disponível: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/10412>

Deprá, M. S., Evans, D. M., & Gaglianone, M. C. (2022). Pioneer herbaceous plants contribute to the restoration of pollination interactions in restinga habitats in tropical Atlantic Forest. *Restoration Ecology*, 30(4), e13544. DOI: 10.1111/rec.13544

de Waal, J. P., & van der Meer, J. W. (1993). Wave runup and overtopping on coastal structures. In *Coastal Engineering 1992* (pp. 1758-1771). DOI: 10.9753/icce.v23.%25p

de Winter, R. C., Gongriep, F., & Ruessink, B. G. (2015). Observations and modeling of alongshore variability in dune erosion at Egmond aan Zee, the Netherlands. *Coastal Engineering*, 99, 167-175. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2015.02.005

Dias, J. A. (2004). A análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica). Faro: Universidade de Algarve. E-book. Disponível:

[https://www.researchgate.net/publication/236551412\\_A\\_ANALISE\\_SEDIMENTAR\\_E\\_O\\_CONHECIMENTOS\\_DOS\\_SISTEMAS\\_MARINHOS\\_Uma\\_Introducao\\_a\\_Oceanografia\\_Geologica](https://www.researchgate.net/publication/236551412_A_ANALISE_SEDIMENTAR_E_O_CONHECIMENTOS_DOS_SISTEMAS_MARINHOS_Uma_Introducao_a_Oceanografia_Geologica)

Didier, D., Caulet, C., Bandet, M., Bernatchez, P., Dumont, D., Augereau, E., Floc'h, F., & Delacourt, C. (2020). Wave runup parameterization for sandy, gravel and platform beaches in a fetch-limited, large estuarine system. *Continental Shelf Research*. 192, 104024. DOI: 10.1016/j.csr.2019.104024

Dissanayake, P., Brown, J., Sibbertsen, P., & Winter, C. (2021). Using a two-step framework for the investigation of storm impacted beach/dune erosion. *Coastal Engineering*, 168, 103939. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2021.103939

Donnelly, C., Kraus, N. C., & Larson, M. (2004). *Coastal overwash: part 1, overview of processes* (No. ERDC/CHL-CHETN-XIV-13). ENGINEER RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER VICKSBURG MS COASTAL AND HYDRAULICS LAB. Disponível: <https://hdl.handle.net/11681/4992>

Donnelly, C., Kraus, N., & Larson, M. (2006). State of knowledge on measurement and modeling of coastal overwash. *Journal of coastal research*, 965-991. DOI: 10.2112/04-0431.1

Donnelly, C. (2007). Morphologic Change by Overwash: Establishing and Evaluating Predictors. *Journal of Coastal Research*, (SI 50 (special issue)), 520-526. Disponível: <http://www.jstor.org/stable/26481644>

Donnelly, C., Larson, M., & Hanson, H. (2009). A numerical model of coastal overwash. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Maritime Engineering* (Vol. 162, No. 3, pp. 105-114). Thomas Telford Ltd. DOI: 10.1680/maen.2009.162.3.105

Erikson, L., Larson, M., & Hanson, H. (2005). Prediction of swash motion and run-up including the effects of swash interaction. *Coastal Engineering*, 52(3), 285-302. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2004.12.001

Ferrari, L. S., & Gomes, M. V. C. (2020). Licenciamento ambiental do Porto Central de Presidente Kennedy—um estudo de caso. *Pensar Acadêmico*, 18(3), 616-646. DOI: 10.21576/pa.2020v18i3.1923



Filgueiras, G. D. L. (2020). *Diferenças entre as escalas regional e local na aplicação da abordagem multicritério da vulnerabilidade costeira: estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo*. (Dissertação de Mestrado). Disponível:

[https://sappg.ufes.br/tese\\_drupal//tese\\_14285\\_Disserta%E7%E3o%20de%20Mestrado%20-%20Gilberto%20Daniel%20Lima%20Filgueiras%20%28Vers%E3o%20Final%29.pdf](https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_14285_Disserta%E7%E3o%20de%20Mestrado%20-%20Gilberto%20Daniel%20Lima%20Filgueiras%20%28Vers%E3o%20Final%29.pdf)

Filgueiras, G. D. L., & Albino, J. (2020). Vulnerabilidade costeira a partir da abordagem multicritério: estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo. *Revista Do Departamento De Geografia*, 40, 78-93. DOI: 10.11606/rdg.v40i0.165831

Firmino, L. A. C., & Bulhões, E. M. R. (2020). Aspectos das ondas oceânicas em áreas de erosão costeira. litoral do Espírito Santo, Brasil. *Finisterra*, 55(113), 23-44. DOI: 10.18055/Finis13499

Folli, C. (2021). *Evolução decadal das dunas frontais do litoral sul do Espírito Santo por processos eólicos e geomorfológicos*. (Dissertação de Mestrado). Disponível: [https://sappg.ufes.br/tese\\_drupal//tese\\_15263\\_Disserta%E7%E3oChiaraFolli.pdf](https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_15263_Disserta%E7%E3oChiaraFolli.pdf)

Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary research*, 27(1), 3-26. DOI: 10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D

Fontán-Bouzas, Á., Alcántara-Carrió, J., Albarracín, S., Baptista, P., Silva, P. A., Portz, L., & Manzolli, R. P. (2019). Multiannual shore morphodynamics of a cusplate foreland: Maspalomas (Gran Canaria, Canary Islands). *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(11), 416. DOI: 10.3390/jmse7110416

Furieri, B., Harion, J. L., Milliez, M., Russeil, S., & Santos, J. M. (2014). Numerical modelling of aeolian erosion over a surface with non-uniformly distributed roughness elements. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(2), 156-166. DOI: 10.1002/esp.3435

García de Lomas, J., Gracia, F.J., García, C.M. (2011). Las dunas como hábitats de interés comunitario. Problemas de conservación. In: Sanjaume, E., Gracia, J. (Eds.), *Las Dunas En España*. Sociedad Española de Geomorfología, pp. 585–606. ISBN: 978-84-615-3780-8

Gharagozlou, A., Dietrich, J. C., Karanci, A., Luettich, R. A., & Overton, M. F. (2020). Storm-driven erosion and inundation of barrier islands from dune-to region-scales. *Coastal Engineering*, 103674. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2020.103674

Girardi, G., & Cometti, R. de S. (2006). Dinâmica do uso e ocupação do solo no litoral sul do estado do Espírito Santo, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 13. DOI: 10.5380/dma.v13i0.3114

Gómez-Pina, G., Muñoz-Pérez, J. J., Ramírez, J. L., & Ley, C. (2002). Sand dune management problems and techniques, Spain. *Journal of Coastal Research*, (36), 325-332. DOI: 10.2112/1551-5036-36.sp1.325

Guza, R. T., & Thornton, E. B. (1982). Swash oscillations on a natural beach. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 87(C1), 483-491. DOI: 10.1029/JC087iC01p00483

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2021). *Fundamentals of Physics: Extended*. Wiley. ISBN: 978-1-119-77347-4

Heleno, A. J. (2017). *Avaliação do Espraçamento e Inundação nas praias da Costa da Caparica*. Modelação com o modelo XBEACH. Lisboa: ISEL. Disponível: <https://core.ac.uk/download/pdf/83043357.pdf>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., & Thépaut, J. -N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. DOI: 10.1002/qj.3803

Hersbach, H., & Dee, D. (2016). ERA5 reanalysis is in production. *ECMWF newsletter*, number 147, Spring 2016, p. 7. Disponível: <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/147/news/era5-reanalysis-production>

Hesp, P. A. (1984). The formation of sand “beach ridges” and foredunes. *Search*, 15(9-10), 289-291. Disponível: [https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Hesp/publication/275652655\\_The\\_Formation\\_of\\_sand\\_'beach\\_ridges'\\_and\\_foredunes/links/5542e3540cf24107d3948c04/The-Formation-of-sand-beach-ridges-and-foredunes.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Hesp/publication/275652655_The_Formation_of_sand_'beach_ridges'_and_foredunes/links/5542e3540cf24107d3948c04/The-Formation-of-sand-beach-ridges-and-foredunes.pdf)

Hesp, P. (2002a). A gênese de cristas de praias e dunas frontais. *Mercator*, 1(2). DOI: 10.4215/rm.v1i2.186

Hesp, P. (2002b). Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48(1-3), 245-268. DOI: 10.1016/S0169-555X(02)00184-8

Hesp, P. A., & Smyth, T. A. (2019). Anchored dunes. In *Aeolian geomorphology: a new introduction* (pp. 157-178). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-1-118-94566-7

Hesp, P. A., & Walker, I. J. (2013). Coastal dunes. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Lancaster, N., Sherman, D. J., Baas, A. C. W. (Eds.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 11, Aeolian Geomorphology, pp. 328–355. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00310-9

Holman, R. A. (1986). Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Engineering*, 9(6), 527-544. DOI: 10.1016/0378-3839(86)90002-5

Houser, C., Hapke, C., & Hamilton, S. (2008). Controls on coastal dune morphology, shoreline erosion and barrier island response to extreme storms. *Geomorphology*, 100(3-4), 223-240. DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.12.007

Houser, C. (2013). Alongshore variation in the morphology of coastal dunes: Implications for storm response. *Geomorphology*, 199, 48-61. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.10.035

Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN). (2020). *PROJETO ORLA: Gestão Integrada do Município de Vitória*, Vitória, ES. 38 p.; il. tab. (Nota Técnica 60). Disponível: <http://www.ijsn.es.gov.br/component/attachments/download/7152>

Iribarren, C. R., & Nogales, C. (1949). Protection des Ports. XVIIth International Navigation Congress, Section II, Comm. 4, pp.31-80. Disponível: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:7ab718ff-a74d-4141-8c3f-413044c751c4>

Jackson, D. W. T., Costas, S., González-Villanueva, R., & Cooper, A. (2019). A global 'greening' of coastal dunes: An integrated consequence of climate change?. *Global and Planetary Change*, 182, 103026. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2019.103026

Jiménez, J. A., Sánchez-Arcilla, A., Valdemoro, H. I., Gracia, V., & Nieto, F. (1997). Processes Reshaping the Ebro Delta. *Marine Geology*, 144, 59-79. DOI: 10.1016/S0025-3227(97)00076-5

Komar, P. D. (2018). Beach processes and erosion—an introduction. In *CRC Handbook of coastal processes and erosion* (pp. 1-20). CRC Press: Boca Raton, FL, USA. DOI: 10.1201/9781351072908

Laidler, G. J., Ford, J. D., Gough, W. A., Ikummaq, T., Gagnon, A. S., Kowal, S., Qrunnut, K., & Irngaut, C. (2009). Travelling and hunting in a changing Arctic: Assessing Inuit vulnerability to sea ice change in Igloodik, Nunavut. *Climate Change*, 94(3-4), pp. 363-397. DOI: 10.1007/s10584-008-9512-z

Larson, M., Erikson, L., & Hanson, H. (2004). An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. *Coastal Engineering*, 51(8-9), 675-696. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2004.07.003

Lauro, C. de S., Sampaio, A. G., Faria, A. F. N., Brandão, H. A., Ribeiro, N. A. de M., & Pedro, T. A. (2018). Levantamento planialtimétrico com estação total e nível óptico no nivelamento de um terreno. *GTS-Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade*, 1(1). Disponível: <http://www.faengrv.com.br/gts/index.php/revistagts/article/view/47>

Leaman, C. K., Harley, M. D., Splinter, K. D., Thran, M. C., Kinsela, M. A., & Turner, I. L. (2021). A Storm Hazard Matrix combining coastal flooding and beach erosion. *Coastal Engineering*, 170, 104001. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2021.104001

Liu, X. -g., & Zeng, Y. -h. (2016). Drag coefficient for rigid vegetation in subcritical open channel. *Procedia Engineering*, 154, 1124-1131. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.522

Lithgow, D., Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J. B., Hesp, P. A., Flores, P., Gachuz, S., Rodríguez-Revelo, N., Jiménez-Orocio, O., Mendoza-González, G., & Álvarez-Molina, L. L. (2013). Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*, 199, 214-224. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.05.007

Manso, V. do A. V., Coutinho, P. da N., Pedrosa, F. J., Macedo, R. J. de, Silva, A. C. da, Gois, L. A. de, Barcellos, R. L., Arruda, S. D. d'A., Soares Junior, C. F. de A., & Madruga Filho, J. D. (2018). *Panorama da erosão costeira no Brasil – Pernambuco*. Disponível: [https://www.bivica.org/files/5975\\_11.%20TerraMar\\_Panorama%20da%20Eros%C3%A3o%20Costeira%20do%20Brasil\\_PDF.pdf](https://www.bivica.org/files/5975_11.%20TerraMar_Panorama%20da%20Eros%C3%A3o%20Costeira%20do%20Brasil_PDF.pdf)

Martínez, M.L., & Psuty, N.P. (2007). *Coastal Dunes: Ecology and Conservation, Ecological Studies*. Springer, New York. DOI: 10.1007/978-3-540-74002-5

Masselink, G., Scott, T., Poate, T., Russell, P., Davidson, M., & Conley, D. (2016). The extreme 2013/2014 winter storms: hydrodynamic forcing and coastal response along the southwest coast of England. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(3), 378–391. DOI: 10.1002/esp.3836

Matias, A., Carrasco, A. R., Loureiro, C., Masselink, G., Andriolo, U., McCall, R., Ferreira, Ó., Plomaritis, T. A., Pacheco, A., Guerreiro, M. (2019). Field measurements and hydrodynamic modelling to evaluate the importance of factors controlling overwash. *Coastal Engineering*, 152, 103523. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2019.103523

McCall, R. T., Van Thiel de Vries, J. S. M., Plant, N. G., Van Dongeren, A. R., Roelvink, J. A., Thompson, D. M., & Reniers, A. J. H. M. (2010). Two-dimensional time dependent hurricane overwash and erosion modeling at Santa Rosa Island. *Coastal Engineering*, 57(7), 668-683. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2010.02.006

Mendoza, E. T., & Jiménez, J. A. (2004). Factors controlling vulnerability to storm impacts along the Catalanian coast. In: J. Smith (Editor), *Proceedings of the 29th International Conference on Coastal Engineering* (Lisbon, Portugal, ASCE), pp. 3087- 3099. DOI: 10.1142/9789812701916\_0249

Mendoza, E. T., & Jiménez, J. A. (2006). Storm-induced beach erosion potential on the Catalanian coast. *Journal of Coastal Research*, 81-88. Disponível: <http://www.jstor.org/stable/25737386>

Mokhtar, M., Ariffin, M. A. F. B., Daud, M. E., Kaamin, M., Azmi, M. A. M., & Hamid, N. B. (2022). Sediment Properties of Eroded Coastal Area at Batu Pahat, Johor, Malaysia. *Environment and Ecology Research*, 10(2), 248 - 259. DOI: 10.13189/eer.2022.100214

Morton, R. A. (2002). Factors controlling storm impacts on coastal barriers and beaches: a preliminary basis for near real-time forecasting. *Journal of Coastal Research*, 486-501. Disponível: <https://www.jstor.org/stable/4299096>

Muehe, D. (2001). Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 2(1). DOI: 10.20502/rbg.v2i1.6

Muehe, D., Roso, R. H., & Savi, D. C. (2003). Avaliação de método expedito de determinação do nível do mar como datum vertical para amarração de perfis de praia. *Revista brasileira de geomorfologia*, 4(1). DOI: 10.20502/rbg.v4i1.19

Muehe, D. (2019). Pós-praia não deve ser traduzido como *backshore*—uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia–antepraia. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 10(1/2). DOI: 10.5380/abequa.v10i1.69217

Muehe, D. (2020). O sistema praias: formas, termos, processos e medição. In: *Geografia marinha [livro eletrônico]: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos / organização Dieter Muehe, Flavia Moraes Lins-de-Barros, Lidriana de Souza Pinheiro*. -- 1. ed. -- Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes, 2020. p. 27-55. ISBN 978-65-992571-0-0

Muehe, D. C. E. H., Castro, L. B., & Albino, J. (2020). PERFIS DE PRAIA: DEVE O MÉTODO DAS BALIZAS DE EMERY SER ABANDONADO?. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(1). DOI: 10.20502/rbg.v21i1.1725

Nepf, H. M. (1999). Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water resources research*, 35(2), 479-489. DOI: 10.1029/1998WR900069

Netto, R. de F., & Di Benedetto, A. P. M. (2007). Diversidade de artefatos da pesca artesanal marinha do Espírito Santo. *Biotemas*, 20(2), 107-119. Disponível: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/20736/18860>

Neves, C. F., & Muehe, D. (2010). Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias estratégicas*, 13(27), 217-296. Disponível: [https://cetesbhomolog2.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/3\\_artigo\\_cgce\\_zona\\_costeira.pdf](https://cetesbhomolog2.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/3_artigo_cgce_zona_costeira.pdf)

Nordstrom, K. F. (2000). *Beaches and dunes of developed coasts*. Cambridge University Press, Cambridge. DOI: 10.1017/CBO9780511549519

Odum, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. ISBN 8520102492

- Oliveira, U. R. de, Koerner, K. F., Simões, R. S., Mota, G. S. da, Leal, K. B., & Gautério, B. C. (2018). Histórico de antropização e supressão das dunas no balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.11(2), p.687-704. Disponível: [https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Mota-4/publication/328432356\\_Historico\\_de\\_Antropizacao\\_e\\_Supressao\\_das\\_Dunas\\_no\\_Balneario\\_Hermenegildo\\_Rio\\_Grande\\_do\\_Sul\\_Brasil/links/5bce0d13a6fdcc204a001b42/Historico-de-Antropizacao-e-Supressao-das-Dunas-no-Balneario-Hermenegildo-Rio-Grande-do-Sul-Brasil.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Mota-4/publication/328432356_Historico_de_Antropizacao_e_Supressao_das_Dunas_no_Balneario_Hermenegildo_Rio_Grande_do_Sul_Brasil/links/5bce0d13a6fdcc204a001b42/Historico-de-Antropizacao-e-Supressao-das-Dunas-no-Balneario-Hermenegildo-Rio-Grande-do-Sul-Brasil.pdf)
- Oliveira, U. R. de, Simões, R. S., Calliari, L. J., & Gautério, B. C. (2019). Erosão de Dunas Sob Ação de um Evento Extremo de Alta Energia de Ondas na Costa Central e Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 20 (1), 137–158. DOI: 10.20502/rbg.v20i1.1352
- Oliveira Filho, S. R. de, & Fernandez, G. B. (2017). *Monitoramento contínuo de perfis de praia: quantificação da erosão ocasionada por ondas de tempestade e recuperação natural do estoque sedimentar, litoral do Rio de Janeiro. In book Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 1, 2911-2922. DOI:10.20396/sbgfa.v1i2017.2571
- Opolski-Neto, T., & Melo Jr, J. C. F. (2022). Influência das condições edáficas na composição florística e estrutural de uma comunidade de restinga sobre costão rochoso no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(02), 1108-1127. DOI: 10.26848/rbgf.v15.2.p1108-1127
- Paula, D. P. de, Leisner, M. M., Vasconcelos, Y. G., & Sousa, F. R. C. (2021). Respostas morfológicas do sistema praia-duna a eventos de ressaca do mar. *REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA*, 1(14), 165-180. DOI: 1022411/rede2020.1401.11
- Pereira, O. J. (2022). Restinga no Espírito Santo: vegetação, flora e distribuição geográfica das espécies. (tese de doutorado). Disponível: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/12139>
- Pereira, O. J., & Assis, A. M. D. (2000). Florística da restinga de Camburi, Vitória, ES. *Acta botanica brasílica*, 14, 99-111. DOI: 10.1590/S0102-33062000000100009
- Plant, N. G., & Stockdon, H. F. (2012). Probabilistic prediction of barrier-island response to hurricanes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F3). DOI: 10.1029/2011JF002326

Pradhan, S., Mohanty, P. K., Samal, R. N., Sahoo, R. K., Baral, R., Barik, S. K., Mahanty, M. M. & Mishra, S. (2019). Beach morphology near the inlet of Chilika Lagoon. *In Proceedings of the Fourth International Conference in Ocean Engineering (ICOE2018)* (pp. 35-47). Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-13-3134-3\_4

Prakash, N., Ashly, K. U., Seelam, J. K., Bhaskaran, H., Yadhunath, E. M., Lavanya, H., Krishnan, R. & Kumar, S. V. V. A. (2021). Investigation of near-shore processes along North Goa beaches: A study based on field observations and numerical modelling. *Journal of Earth System Science*, 130, 242. DOI: 10.1007/s12040-021-01755-3

Prieto, F. J. G. (2022). The complexity of studying coasts: From forms and processes to management. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 48(2), 219-255. DOI: 10.18172/cig.5451

Psuty, N. P. (1993). Foredune morphology and sediment budget, Perdido Key, Florida, USA. *Geological Society, London, Special Publications*, 72(1), 145-157. DOI: 10.1144/GSL.SP.1993.072.01.13

Quartel, S., Kroon, A., & Ruessink, B. G. (2008). Seasonal accretion and erosion patterns of a microtidal sandy beach. *Marine Geology*, 250(1-2), 19-33. DOI:10.1016/j.margeo.2007.11.003

Quataert, E., Storlazzi, C., van Dongeren, A., & McCall, R. (2020). The importance of explicitly modelling sea-swell waves for runup on reef-lined coasts. *Coastal Engineering*, 160, 103704. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2020.103704

Robin, N., Certain, R., Bouchette, F., Anthony, E. J., Meulé, S., & Aleman, N. (2014). Wave-driven circulation over a double nearshore bar system during storm conditions. *Journal of Coastal Research*, (70 (10070)), 84-89. DOI: 10.2112/SI70-015.1

Roelvink, D., McCall, R., Mehvar, S., Nederhoff, K., & Dastgheib, A. (2018). Improving predictions of swash dynamics in XBeach: The role of groupiness and incident-band runup. *Coastal Engineering*, 134, 103-123. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2017.07.004

Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., & Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal engineering*, 56(11-12), 1133-1152. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2009.08.006



Roelvink, D., van Dongeren, A., McCall, R., Hoonhout, B., van Rooijen, A., Van Geer, P., De Vet, L., Nederhoff, K., & Quataert, E. (2015). *XBeach Technical Reference: Kingsday Release*. DOI:10.13140/RG.2.1.4025.6244

Romeu, M. A. R., Fontoura, J. A. S., Melo Filho, E., & Machado, V. B. (2012). Estimativa dos cenários característicos de agitação marítima para a região oceânica do RS utilizando dados de reanálise do modelo WW3. *VETOR - Revista De Ciências Exatas E Engenharias*, 21(1), 91–109. Disponível: <https://periodicos.furg.br/vetor/article/view/2568>

Russell, P. E. (1993). Mechanisms for beach erosion during storms. *Continental Shelf Research*, 13(11), 1243-1265. DOI: 10.1016/0278-4343(93)90051-X

Ruz, M. -H., & Hesp, P. A. (2014). Geomorphology of high-latitude coastal dunes: a review. *Geological Society, London, Special Publications*, 388(1), 199-212. DOI: 10.1144/SP388.17

Salameh, E., & El -Naser, H. (2000). The Interface Configuration of the Fresh-/Dead Sea Water–Theory and Measurements. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 28(6), 323-328. DOI: 10.1002/1521-401X(200012)28:6<323::AID-AHEH323>3.0.CO;2-1

Sallenger, A. H. (2000). Storm impact scale for barrier islands. *Journal of Coastal Research*, 16(3), 890–895. Disponível: <https://www.jstor.org/stable/4300099>

Schlickmann, M. B., Ferreira, M. E. A., Varela, E. P., Pereira, J. L., Duarte, E., da Luz, A. P. C., Dreyer, J. B. B., da Silva, M. T. S., & Pinto, F. M. (2019). Fitossociologia de um fragmento de restinga herbácea-subarbustiva no sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. *Hoehnea*, 46. DOI: 10.1590/2236-8906-29/2018

Schwartz, M. L. (Ed.) (2005). *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer, The Netherlands. 1211pp. ISBN: 9781402038808

Sedrati, M., Ciavola, P., & Armaroli, C. (2011). Morphodynamic evolution of a microtidal barrier, the role of overwash: Bevano, Northern Adriatic Sea. *Journal of Coastal Research*, 696-700. Disponível: <https://www.jstor.org/stable/26482261>

Senechal, N., Coco, G., Bryan, K. R., & Holman, R. A. (2011). Wave runup during extreme storm conditions. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C7). DOI: 10.1029/2010JC006819

Short, A. D., & Hesp, P. A. (1982). Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine geology*, 48(3-4), 259-284. DOI: 10.1016/0025-3227(82)90100-1

Silva, S. de A., & Lima, J. S. de S. (2011). Número de postos pluviométricos necessários para a estimativa da precipitação mensal no Estado do Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 26, 555-560. DOI: 10.1590/S0102-77862011000400005

Stive, M. J. F., Aarninkhof, S. G. J., Hamm, L., Hanson, H., Larson, M., Wijnberg, K. M., Nicholls, R. J., & Capobianco, M. (2002). Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal engineering*, 47(2), 211-235. DOI: 10.1016/S0378-3839(02)00126-6

Stockdon, H. F., Sallenger, A. H., Holman, R. A., & Howd, P. A. (2007). A simple model for the spatially-variable coastal response to hurricanes. *Marine Geology*, 238(1-4), 1-20. DOI: 10.1016/j.margeo.2006.11.004

Stoker, Y. E. (1992). Salinity distribution and variation with freshwater inflow and tide, and potential changes in salinity due to altered freshwater inflow in the Charlotte Harbor Estuarine System, Florida. United States Geological Survey. *Water Resources Investigations Report*, 92-4062. DOI: 10.3133/wri924062

Tabajara, L. L., & Martins, L. R. (2006). Classificação textural de sedimentos praias e a relação com os processos morfogenéticos eólicos e marinhos. *Gravel, Porto Alegre*, (4), 99-107. Disponível: [https://www.ufrgs.br/gravel/4/Gravel\\_4\\_08.pdf](https://www.ufrgs.br/gravel/4/Gravel_4_08.pdf)

Tabajara, L. L. C. A., Gruber, N. L. S., & Portz, L. C. (2012). Dunas frontais de Xangri-Lá, litoral Norte do RS: inventário, classificação e escolha de áreas prioritárias ao manejo. *Pesquisas Em Geociências*, 39(1), 35–52. DOI: 10.22456/1807-9806.35812

Tolentino, Z. B. (2021). Cidade encantadora é Conceição da Barra. *Revista Ponto de Vista*, 10(1), 01-03. ISSN: 1983-2656

Tollefson, J. (2021). IPCC climate report: Earth is warmer than it's been in 125,000 years. *Nature*, 596(7871), 171-172. DOI: 10.1038/d41586-021-02179-1

Tsukada, E., Fernandes, E., Vidal, C., & Salla, R. F. (2021). Beach morphodynamics and its relationship with the deposition of plastic particles: A preliminary study in southeastern Brazil. *Marine pollution bulletin*, 172, 112809. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112809

van Rooijen, A. A., McCall, R. T., van Thiel de Vries, J. S. M., van Dongeren, A. R., Reniers, A. J. H. M., & Roelvink, J. A. (2016). Modeling the effect of wave-vegetation interaction on wave setup. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. DOI: 10.1002/2015JC011392

van Santen, R., Steetzel, H., de Vries, J. V. T., & van Dongeren, A. (2012). Modelling storm impact on complex coastlines. Westkapelle, the netherlands. *Coastal Engineering Proceedings*, (33), 52-52. DOI: 10.9753/icce.v33.management.52

Vega de Seoane, C. L., Fernandez, J. B. G., & Pascual, C. V. (2007). Manual de restauración de dunas costeras. *Dirección General de Costas. Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de España*. Disponible: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0652461.pdf>

Wamsley, T. V., Collier, Z. A., Brodie, K., Dunkin, L. M., Raff, D., & Rosati, J. D. (2015). Guidance for developing coastal vulnerability metrics. *Journal of Coastal Research*, 31(6), 1521-1530. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-14-00015.1

Wang, X., Guo, P., & Huang, X. (2011). A review of wind power forecasting models. *Energy Procedia*, 12, 770-778. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.10.103

Williams, J. J., Esteves, L. S., & Rochford, L. A. (2015). Modelling storm responses on a high-energy coastline with XBeach. *Modeling Earth Systems and Environment* 1, 1-14. DOI: 10.1007/s40808-015-0003-8

Wright, L. D., & Short, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, 56(1-4), 93-118. DOI: 10.1016/0025-3227(84)90008-2

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2019). *University Physics with Modern Physics in SI Units*. Pearson Education Canada. ISBN: 978-1292314730

## APÊNDICE A – CONDIÇÕES DE TEMPO E DE ONDAS COM 5 DIAS ANTES DA CAMPANHA<sup>4</sup>

- **Campanha 02/2018**
  - Data de realização: 01/02/2018
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (27/01/2018):
    - Presidente Kennedy:
      - Costeiro: precipitação: 2mm; altura total: 0,2 a 0,5m; período: 7 a 16s; direção primária: E a SE; velocidade do vento: 4 a 24km/h; e direção do vento: NNE a N.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 0,9 a 1,1m; período: 7 a 11s; direção primária: ENE a SSE; velocidade do vento: 4 a 19km/h; e direção do vento: N.
    - Marataízes:
      - Costeiro: precipitação: 0mm; altura total: 0,3 a 0,5m; período: 7 a 16s; direção primária: E a SE; velocidade do vento: 4 a 19km/h; e direção do vento: NNE a NNO.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 0,9 a 1,1m; período: 7 a 11s; direção primária: ENE a SSE; velocidade do vento: 4 a 19km/h; e direção do vento: N.
- **Campanha 07/2018**
  - Data de realização: 12 e 13/07/2018
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (07 e 08/07/2018):
    - Presidente Kennedy:
      - Costeiro: precipitação: 0mm; altura total: 0,4 a 0,7m; período: 11 a 14s; direção primária: E a SE; velocidade do vento: 6 a 35 km/h; e direção do vento: NNE a N.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 1,2 a 1,4m; período: 8 a 12s; direção primária: ENE a SSE; velocidade do vento: 6 a 28 km/h; e direção do vento: N a NNO.
    - Marataízes:
      - Costeiro: precipitação: 0mm; altura total: 0,5 a 0,8m; período: 11 a 14s; direção primária: E a SE; velocidade do vento: 6 a 28km/h; e direção do vento: N a NNO.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 1,2 a 1,4m; período: 8 a 12s; direção primária: ENE a SSE; velocidade do vento: 6 a 28km/h; e direção do vento: N a NNO.
- **Campanha 09/2018**
  - Data de realização: 11 e 12/09/2018
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (06 e 07/09/2018):

<sup>4</sup> Acervos de dados do Surf guru (<https://surfguru.com.br/>)

- Presidente Kennedy:
    - Costeiro: precipitação: 0mm; altura total: 0,4 a 0,5m; período: 6 a 10s; direção primária: E a SSE; velocidade do vento: 15 a 28km/h; e direção do vento: ESE a SO.
    - Oceânico: precipitação: 0 a 2mm; altura total: 1,2 a 1,7m; período: 5 a 9s; direção primária: E a S; velocidade do vento: 6 a 26km/h; e direção do vento: SE a SO.
  - Marataízes:
    - Costeiro: precipitação: 0 a 1mm; altura total: 0,4 a 0,6m; período: 8 a 10s; direção primária: E a SE; velocidade do vento: 9 a 20km/h; e direção do vento: E a OSO.
    - Oceânico: precipitação: 0 a 2mm; altura total: 1,2 a 1,7m; período: 5 a 9s; direção primária: E a S; velocidade do vento: 6 a 26km/h; e direção do vento: SE a SO.
- **Campanha 11/2018**
  - Data de realização: 21 e 22/11/2018
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (16 e 17/11/2018):
    - Presidente Kennedy:
      - Costeiro: precipitação: 3 a 4mm; altura total: 0,2 a 0,5m; período: 6 a 7s; direção primária: E a ESE; velocidade do vento: 6 a 33km/h; e direção do vento: NNE a SO.
      - Oceânico: precipitação: 0 a 2mm; altura total: 0,9 a 1,4m; período: 5 a 6s; direção primária: ENE; velocidade do vento: 7 a 24km/h; e direção do vento: NNE a NNO.
    - Marataízes:
      - Costeiro: precipitação: 3 a 4mm; altura total: 0,2 a 0,5m; período: 6 a 7s; direção primária: E; velocidade do vento: 6 a 22km/h; e direção do vento: NNE a SO.
      - Oceânico: precipitação: 0 a 2mm; altura total: 0,9 a 1,4m; período: 5 a 6s; direção primária: ENE; velocidade do vento: 7 a 24km/h; e direção do vento: NNE a NNO.
- **Campanha 02/2019**
  - Data de realização: 06, 07 e 08/02/2019
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (01, 02 e 03/02/2019):
    - Presidente Kennedy:
      - Costeiro: precipitação: 0mm; altura total: 0,2 a 0,5m; período: 4 a 6s; direção primária: ENE a E; velocidade do vento: 11 a 41km/h; e direção do vento: N a ENE.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 0,8 a 1,3m; período: 4 a 5s; direção primária: NE a ENE; velocidade do vento: 11 a 31km/h; e direção do vento: N a ENE.
    - Marataízes:

- Costeiro: precipitação: 0mm; altura total: 0,2 a 0,5m; período: 5 a 7s; direção primária: ENE a ESE; velocidade do vento: 4 a 31km/h; e direção do vento: NNE a N.
- Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 0,8 a 1,3m; período: 4 a 5s; direção primária: NE a ENE; velocidade do vento: 11 a 31km/h; e direção do vento: N a ENE.
- **Campanha 05/2019**
  - Data de realização: 06, 07 e 08/05/2019
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (01, 02 e 03/05/2019):
    - Presidente Kennedy:
      - Costeiro: precipitação: 0 a 8mm; altura total: 0,2 a 0,4m; período: 10 a 15s; direção primária: SE; velocidade do vento: 6 a 30km/h; e direção do vento: NNE a NNO.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 0,8 a 1,1m; período: 8 a 12s; direção primária: SE a SSE; velocidade do vento: 4 a 22km/h; e direção do vento: N a NNO.
    - Marataízes:
      - Costeiro: precipitação: 0 a 1mm; altura total: 0,2 a 0,4m; período: 10 a 14s; direção primária: SE; velocidade do vento: 6 a 24km/h; e direção do vento: N a NNO.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 0,8 a 1,1m; período: 8 a 12s; direção primária: SE a SSE; velocidade do vento: 4 a 22km/h; e direção do vento: N a NNO.
- **Campanha 09/2021 (somente Marataízes)**
  - Data de realização: 09 e 10/09/2021
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (04 e 05/09/2021):
    - Marataízes:
      - Costeiro: precipitação: 0mm; altura total: 0,4 a 0,6m; período: 9 a 16s; direção primária: E a SE; velocidade do vento: 4 a 30km/h; e direção do vento: N a NO.
      - Oceânico: precipitação: 0mm; altura total: 1,1 a 1,7m; período: 6 a 8s; direção primária: ENE a E; velocidade do vento: 6 a 30km/h; e direção do vento: NNE a NNO.
- **Campanha 11/2021**
  - Data de realização: 06/11/2021
  - Descrição do tempo e das ondas 5 dias antes da campanha (01/11/2021):
    - Presidente Kennedy:
      - Costeiro: precipitação: 34mm; altura total: 0,6m; período: 8s; direção primária: SE; velocidade do vento: 30 a 35km/h; e direção do vento: NE a ENE.
      - Oceânico: precipitação: 38mm; altura total: 1,5 a 1,9m; período: 6 a 7s; direção primária: ENE a E; velocidade do vento: 20 a 26km/h; e direção do vento: NNE a NE.

- Marataízes:
  - Costeiro: precipitação: 34mm; altura total: 0,6m; período: 8s; direção primária: SE; velocidade do vento: 30 a 35km/h; e direção do vento: NE a ENE.
  - Oceânico: precipitação: 38mm; altura total: 1,5 a 1,9m; período: 6 a 7s; direção primária: ENE a E; velocidade do vento: 20 a 26km/h; e direção do vento: NNE a NE.



## APÊNDICE B – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DO MAR (NMM) DOS PERFIS MEDIDOS

P1								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV <sup>5</sup> (%)
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	15,77	23,62	17,72	13,41	10,83	14,31	15,94	27,66
Largura da duna (m)	8,17	8,71	6,72	5,73	5,28	6,18	6,80	8,58
Altura da duna (m)	3,52	4,38	4,25	3,62	3,00	3,82	3,77	3,18
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	12,83	7,46	10,10	17,91	21,04	15,13	14,08	31,41
Largura da praia (m)	12,72	12,68	14,50	16,53	17,02	16,93	15,06	12,84
Altura da praia (m)	2,28	1,47	1,57	2,20	2,83	2,02	2,06	3,13
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	18,64	12,81	10,56	12,61	14,94	12,51	13,68	17,57

P2								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	9,58	9,41	8,26	5,89	5,21	5,31	7,28	4,57
Largura da duna (m)	5,01	5,15	4,83	3,81	4,09	4,15	4,51	1,25
Altura da duna (m)	3,14	3,11	3,08	2,41	2,27	2,27	2,71	0,98
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	33,69	47,94	40,54	43,27	50,00	52,50	44,66	15,51
Largura da praia (m)	23,83	24,39	24,68	24,67	26,40	27,30	25,21	2,99
Altura da praia (m)	3,25	3,26	3,29	3,95	4,10	4,10	3,66	0,97
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	16,32	16,77	15,93	15,05	16,76	17,03	16,31	1,63

Onde: VolDuna é o volume da duna, VolPraia é o volume da praia e VolReserva é o volume de reserva.

<sup>5</sup> Coeficiente de variação (CV): fornece uma ideia de precisão dos dados → quanto menor o CV, mais homogêneos são os dados (GARCIA, 1989) Garcia, C. H. (1989). Tabelas para classificação do coeficiente de variação (Vol. 171). IPEF, 1989. 11 p.. Disponível: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/ctecnica/nr171.pdf>

<b>P3</b>									
Variável/ campanha	<b>02/2018</b>	<b>07/2018</b>	<b>09/2018</b>	<b>11/2018</b>	<b>02/2019</b>	<b>05/2019</b>	<b>09/2021</b>	<b>Média</b>	<b>CV (%)</b>
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	16,20	21,88	11,46	12,05	13,54	12,19	7,47	13,54	30,81
Largura da duna (m)	9,65	11,84	8,01	8,53	8,90	8,19	6,92	8,86	16,27
Altura da duna (m)	3,02	3,30	2,78	2,83	2,83	2,73	1,90	2,77	14,37
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	53,15	42,42	53,52	48,75	59,76	65,55	70,51	56,24	16,00
Largura da praia (m)	27,65	23,45	29,24	26,80	31,38	31,05	32,18	28,82	9,93
Altura da praia (m)	3,18	2,87	3,48	3,59	3,56	3,66	4,70	3,58	14,70
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	30,73	34,01	27,91	30,59	31,74	29,97	32,50	31,06	5,79

<b>P4</b>									
Variável/ campanha	<b>02/2018</b>	<b>07/2018</b>	<b>09/2018</b>	<b>11/2018</b>	<b>02/2019</b>	<b>05/2019</b>	<b>09/2021</b>	<b>Média</b>	<b>CV (%)</b>
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	8,92	6,19	7,14	10,13	12,24	10,36	2,15	8,16	37,90
Largura da duna (m)	6,11	5,01	5,47	6,05	6,57	6,83	3,50	5,65	18,54
Altura da duna (m)	2,30	2,09	2,07	2,57	2,81	2,40	1,67	2,27	15,17
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	16,32	27,66	19,10	18,28	15,20	27,39	26,77	21,53	23,75
Largura da praia (m)	14,01	21,84	18,31	15,73	14,60	22,42	23,18	18,58	19,45
Altura da praia (m)	2,45	2,65	2,69	2,22	2,03	2,40	2,99	2,49	11,85
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	14,98	13,30	14,75	13,46	13,35	16,42	10,45	13,82	12,52

Onde: VolDuna é o volume da duna, VolPraia é o volume da praia e VolReserva é o volume de reserva.

**APÊNDICE C – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DAS PREMARES DE SIZÍGIA (NMPS) DOS PERFIS MEDIDOS**

<b>P1</b>								
Variável/ campanha	<b>02/2018</b>	<b>07/2018</b>	<b>09/2018</b>	<b>11/2018</b>	<b>02/2019</b>	<b>05/2019</b>	<b>Média</b>	<b>CV (%)</b>
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	15,77	23,61	17,72	13,41	10,83	14,31	15,94	27,65
Largura da duna (m)	8,17	8,71	6,72	5,73	5,28	6,18	6,80	8,58
Altura da duna (m)	3,51	4,38	4,25	3,62	3,00	3,82	3,76	3,17
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	7,08	2,64	4,22	10,28	12,46	7,34	7,34	22,91
Largura da praia (m)	8,72	5,68	8,50	12,53	13,02	10,93	9,90	17,49
Altura da praia (m)	1,74	0,93	1,03	1,66	2,26	1,45	1,51	3,08
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	14,23	8,11	6,93	9,51	11,93	8,99	9,95	16,81

<b>P2</b>								
Variável/ campanha	<b>02/2018</b>	<b>07/2018</b>	<b>09/2018</b>	<b>11/2018</b>	<b>02/2019</b>	<b>05/2019</b>	<b>Média</b>	<b>CV (%)</b>
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	9,58	9,41	8,26	5,89	5,21	5,31	7,28	6,38
Largura da duna (m)	5,01	5,15	4,83	3,81	4,09	4,15	4,51	1,75
Altura da duna (m)	3,14	3,11	3,08	2,41	2,27	2,27	2,71	1,37
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	22,73	35,55	28,44	31,21	35,89	38,22	32,01	17,98
Largura da praia (m)	16,83	21,39	19,68	19,67	22,40	22,30	20,38	6,61
Altura da praia (m)	2,71	2,72	2,75	3,41	3,53	3,53	3,11	1,31
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	13,61	13,99	13,32	13,00	14,43	14,66	13,84	2,02

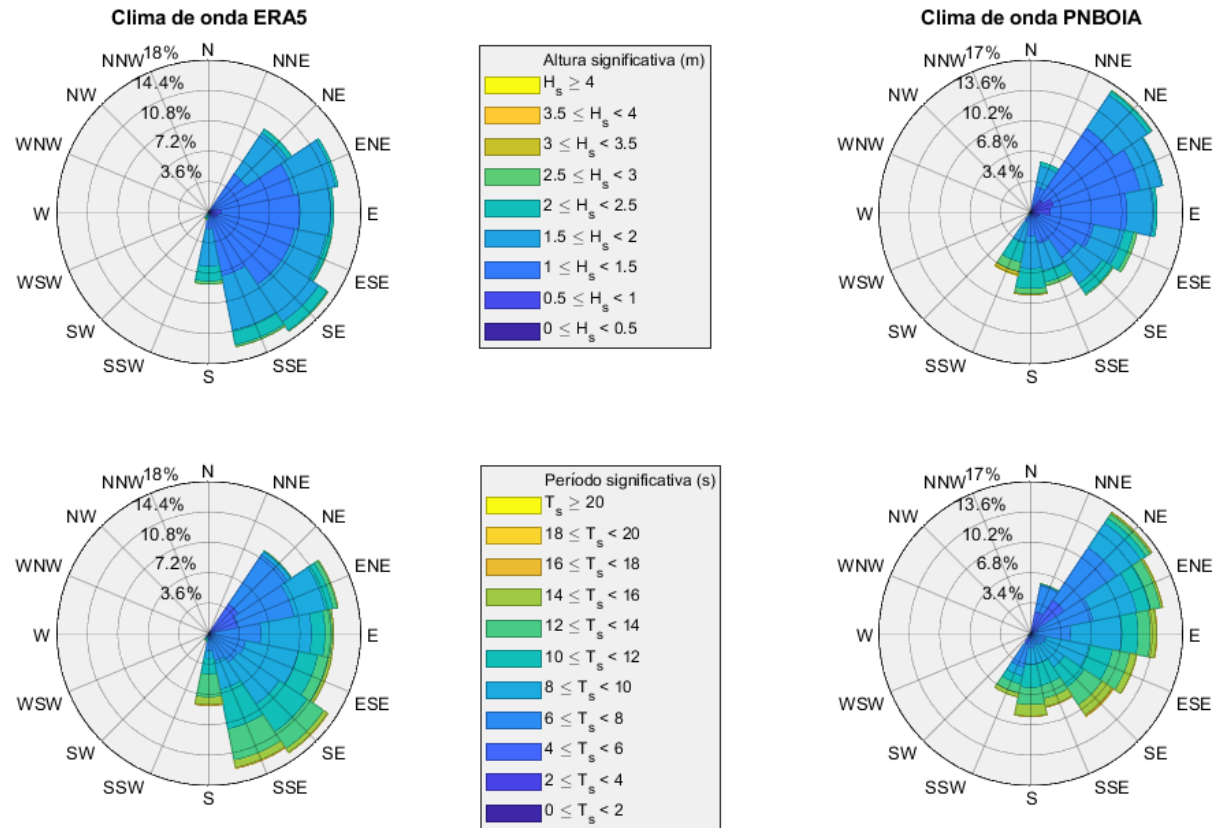
Onde: VolDuna é o volume da duna, VolPraia é o volume da praia e VolReserva é o volume de reserva.

<b>P3</b>									
Variável/ campanha	<b>02/2018</b>	<b>07/2018</b>	<b>09/2018</b>	<b>11/2018</b>	<b>02/2019</b>	<b>05/2019</b>	<b>09/2021</b>	<b>Média</b>	<b>CV (%)</b>
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	16,20	21,88	11,46	12,05	13,54	12,19	7,47	13,54	30,81
Largura da duna (m)	9,65	11,84	8,01	8,53	8,90	8,19	6,92	8,86	16,27
Altura da duna (m)	3,02	3,30	2,78	2,83	2,83	2,73	1,90	2,77	14,37
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	39,18	30,88	38,80	35,71	42,81	48,99	54,81	41,60	18,03
Largura da praia (m)	24,65	20,45	25,24	22,80	27,38	27,05	24,01	24,51	9,11
Altura da praia (m)	2,64	2,33	2,94	3,05	2,99	3,09	4,13	3,02	17,07
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	25,52	27,62	23,58	25,99	26,67	25,30	28,59	26,18	5,80

<b>P4</b>									
Variável/ campanha	<b>02/2018</b>	<b>07/2018</b>	<b>09/2018</b>	<b>11/2018</b>	<b>02/2019</b>	<b>05/2019</b>	<b>09/2021</b>	<b>Média</b>	<b>CV (%)</b>
VolDuna (m <sup>3</sup> /m)	8,92	6,19	7,14	10,13	12,24	10,36	2,15	8,16	37,90
Largura da duna (m)	6,11	5,01	5,47	6,05	6,57	6,83	3,50	5,65	18,54
Altura da duna (m)	2,30	2,09	2,07	2,57	2,81	2,40	1,67	2,27	15,17
VolPraia (m <sup>3</sup> /m)	9,63	17,18	11,08	10,81	7,94	16,25	15,84	12,68	26,80
Largura da praia (m)	10,01	16,84	11,31	12,73	10,60	16,42	15,18	13,30	19,73
Altura da praia (m)	1,91	2,11	2,15	1,68	1,46	1,83	2,42	1,94	15,29
VolReserva (m <sup>3</sup> /m)	11,68	10,57	11,80	10,19	9,61	12,53	8,46	10,69	12,25

Onde: VolDuna é o volume da duna, VolPraia é o volume da praia e VolReserva é o volume de reserva.

## APÊNDICE D – CLIMA DE ONDAS DOS DADOS BRUTOS DO ERA5 (01/011979 A 31/12/2020) E DA PNBOIA



Clima de ondas (altura e período significativos) dos dados brutos obtidos.

## APÊNDICE E – VALORES DAS VARIÁVEIS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DO MAR (NMM) DOS PERFIS MEDIDOS

Variável/ campanha	P1						Média	CV (%)
	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019		
Largura da praia (m)	12,72	12,68	14,50	16,53	17,02	16,93	15,06	1,53
Altura da praia (m)	2,28	1,47	1,57	2,20	2,83	2,02	2,06	0,37
Tangente (valor)	0,18	0,12	0,11	0,13	0,17	0,12	0,14	0,02
Tangente (°)	10,17	6,62	6,18	7,58	9,44	6,81	7,80	1,22
$H$ (m)	0,98	1,57	1,01	1,88	1,21	1,81	1,41	0,30
$T$ (s)	6,49	10,71	9,3	9,05	6,46	12,15	9,03	1,69
$L$ (m)	65,70	178,91	134,90	127,74	65,09	230,25	133,76	48,14
$\xi_0$	1,47	1,24	1,25	1,10	1,22	1,35	1,27	0,09
$R_2$ (m)	0,94	1,96	1,37	1,81	1,04	2,39	1,58	0,42
$\eta_{NMM}$ (m)	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,82	0,003
$R_{high}$ (m)	1,76	2,78	2,19	2,63	1,85	3,20	2,40	0,42
$S_{2\%}$ (m)	1,28	1,75	1,14	1,87	1,33	2,18	1,59	0,30
$R_{low}$ (m)	0,48	1,03	1,05	0,77	0,52	1,02	0,81	0,20
$D_{high}$ (m)	6,62	6,67	6,64	6,64	6,64	6,65	6,65	0,01
$D_{low}$ (m)	3,10	2,29	2,39	3,02	3,64	2,83	2,88	0,37
$R_{high}/D_{high}$	0,27	0,42	0,33	0,40	0,28	0,48	0,36	0,06
$R_{low}/D_{high}$	0,07	0,15	0,16	0,12	0,08	0,15	0,12	0,03
Regime de Impacto (Sallenger)	1	2	1	1	1	2	1,33	0,38

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMM}$  é o nível médio do mar,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

P2								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
Largura da praia (m)	23,83	24,39	24,68	24,67	26,40	27,30	25,21	1,00
Altura da praia (m)	3,25	3,26	3,29	3,95	4,10	4,10	3,66	0,32
Tangente (valor)	0,14	0,13	0,13	0,16	0,15	0,15	0,14	0,01
Tangente (°)	7,78	7,61	7,60	9,10	8,83	8,54	8,24	0,49
$H$ (m)	0,98	1,55	1,01	1,88	1,25	1,81	1,41	0,29
$T$ (s)	6,49	10,7	9,3	9,05	6,6	12,15	9,05	1,66
$L$ (m)	65,70	178,57	134,90	127,74	67,94	230,25	134,18	47,51
$\xi_0$	1,12	1,43	1,54	1,32	1,14	1,69	1,37	0,17
$R_2$ (m)	0,94	1,95	1,37	1,81	1,08	2,39	1,59	0,41
$\eta_{NMM}$ (m)	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,82	0,003
$R_{high}$ (m)	1,76	2,77	2,19	2,63	1,89	3,20	2,41	0,41
$S_{2\%}$ (m)	0,99	1,98	1,39	2,22	1,29	2,72	1,76	0,49
$R_{low}$ (m)	0,77	0,79	0,80	0,41	0,60	0,48	0,64	0,13
$D_{high}$ (m)	7,22	7,19	7,20	7,18	7,18	7,19	7,19	0,01
$D_{low}$ (m)	4,07	4,08	4,11	4,77	4,91	4,91	4,48	0,32
$R_{high}/D_{high}$	0,24	0,38	0,30	0,37	0,26	0,45	0,33	0,06
$R_{low}/D_{high}$	0,11	0,11	0,11	0,06	0,08	0,07	0,09	0,02
Regime de Impacto (Sallenger)	1	1	1	1	1	1	1	0

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMM}$  é o nível médio do mar,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

P3								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
Largura da praia (m)	27,65	23,45	29,24	26,80	31,38	31,05	28,26	2,22
Altura da praia (m)	3,18	2,87	3,48	3,59	3,56	3,66	3,39	0,23
Tangente (valor)	0,11	0,12	0,12	0,13	0,11	0,12	0,12	0,005
Tangente (°)	6,57	6,98	6,79	7,62	6,48	6,72	6,86	0,31
$H$ (m)	0,99	1,55	1	1,82	1,21	1,81	1,40	0,29
$T$ (s)	6,52	10,7	9,28	9,03	6,46	12,15	9,02	1,69
$L$ (m)	66,30	178,57	134,32	127,18	65,09	230,25	133,62	48,07
$\xi_0$	0,94	1,31	1,38	1,12	0,83	1,33	1,15	0,17
$R_2$ (m)	0,95	1,95	1,36	1,78	1,04	2,39	1,58	0,42
$\eta_{NMM}$ (m)	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,82	0,003
$R_{high}$ (m)	1,77	2,77	2,18	2,60	1,85	3,20	2,39	0,42
$S_{2\%}$ (m)	0,85	1,83	1,23	1,84	0,93	2,15	1,47	0,40
$R_{low}$ (m)	0,92	0,94	0,94	0,76	0,92	1,04	0,92	0,07
$D_{high}$ (m)	7,03	6,99	7,09	7,23	7,21	7,20	7,13	0,08
$D_{low}$ (m)	4,00	3,69	4,30	4,41	4,37	4,47	4,21	0,22
$R_{high}/D_{high}$	0,25	0,40	0,31	0,36	0,26	0,44	0,34	0,06
$R_{low}/D_{high}$	0,13	0,13	0,13	0,11	0,13	0,15	0,13	0,009
Regime de Impacto (Sallenger)	1	1	1	1	1	1	1	0

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMM}$  é o nível médio do mar,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.



P4								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
Largura da praia (m)	14,01	21,84	18,31	15,73	14,60	22,42	17,82	2,70
Altura da praia (m)	2,45	2,65	2,69	2,22	2,03	2,40	2,41	0,19
Tangente (valor)	0,17	0,12	0,15	0,14	0,14	0,11	0,14	0,02
Tangente (°)	9,92	6,93	8,37	8,05	7,93	6,12	7,89	0,96
$H$ (m)	0,99	1,57	1,2	1,82	1,21	1,84	1,44	0,26
$T$ (s)	6,52	10,71	9,61	9,03	6,46	12,19	9,09	1,68
$L$ (m)	66,30	178,91	144,04	127,18	65,09	231,77	135,55	47,86
$\xi_0$	1,43	1,30	1,61	1,18	1,02	1,20	1,29	0,15
$R_2$ (m)	0,95	1,96	1,54	1,78	1,04	2,42	1,61	0,41
$\eta_{NMM}$ (m)	0,82	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,82	0,003
$R_{high}$ (m)	1,77	2,78	2,36	2,60	1,85	3,23	2,43	0,41
$S_{2\%}$ (m)	1,26	1,83	1,72	1,94	1,12	1,99	1,64	0,27
$R_{low}$ (m)	0,50	0,96	0,64	0,66	0,73	1,23	0,79	0,19
$D_{high}$ (m)	5,58	5,56	5,58	5,62	5,66	5,62	5,60	0,02
$D_{low}$ (m)	3,27	3,47	3,51	3,04	2,84	3,21	3,23	0,19
$R_{high}/D_{high}$	0,32	0,50	0,42	0,46	0,33	0,57	0,43	0,07
$R_{low}/D_{high}$	0,09	0,17	0,11	0,12	0,13	0,22	0,14	0,03
Regime de Impacto (Sallenger)	1	1	1	1	1	2	1,17	0,30

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMM}$  é o nível médio do mar,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

## APÊNDICE F – VALORES DAS VARIÁVEIS UTILIZANDO O NÍVEL MÉDIO DAS PREMARES DE SIZÍGIA (NMPS) DOS PERFIS MEDIDOS

P1								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
Largura da praia (m)	8,72	5,68	8,50	12,53	13,02	10,93	9,90	2,08
Altura da praia (m)	1,74	0,93	1,03	1,66	2,26	1,45	1,51	0,37
Tangente (valor)	0,20	0,16	0,12	0,13	0,17	0,13	0,15	0,02
Tangente (°)	11,30	9,31	6,91	7,55	9,85	7,57	8,75	1,26
$H$ (m)	0,98	1,57	1,01	1,88	1,21	1,81	1,41	0,30
$T$ (s)	6,49	10,71	9,3	9,05	6,46	12,15	9,03	1,69
$L$ (m)	65,70	178,91	134,90	127,74	65,09	230,25	133,76	48,14
$\xi_0$	1,64	1,75	1,40	1,09	1,27	1,50	1,44	0,18
$R_2$ (m)	0,94	1,96	1,37	1,81	1,04	2,39	1,58	0,42
$\eta_{NMPS}$ (m)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,68	0,003
$R_{high}$ (m)	1,62	2,64	2,05	2,49	1,73	3,08	2,27	0,42
$S_{2\%}$ (m)	1,42	2,43	1,26	1,86	1,38	2,41	1,79	0,39
$R_{low}$ (m)	0,20	0,21	0,78	0,64	0,35	0,66	0,47	0,19
$D_{high}$ (m)	5,93	5,99	5,96	5,96	5,95	5,96	5,96	0,01
$D_{low}$ (m)	2,42	1,61	1,71	2,34	2,95	2,14	2,20	0,37
$R_{high}/D_{high}$	0,27	0,44	0,34	0,42	0,29	0,52	0,38	0,07
$R_{low}/D_{high}$	0,03	0,04	0,13	0,11	0,06	0,11	0,08	0,03
Regime de Impacto (Sallenger)	1	2	2	2	1	2	1,67	0,39

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMPS}$  é o nível médio das premares de sizígia,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

P2								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
Largura da praia (m)	16,83	21,39	19,68	19,67	22,40	22,30	20,38	1,58
Altura da praia (m)	2,71	2,72	2,75	3,41	3,53	3,53	3,11	0,31
Tangente (valor)	0,16	0,13	0,14	0,17	0,16	0,16	0,15	0,01
Tangente (°)	9,16	7,24	7,97	9,84	8,95	9,00	8,69	0,69
$H$ (m)	0,98	1,55	1,01	1,88	1,25	1,81	1,41	0,29
$T$ (s)	6,49	10,7	9,3	9,05	6,6	12,15	9,05	1,66
$L$ (m)	65,70	178,57	134,90	127,74	67,94	230,25	134,18	47,51
$\xi_0$	1,32	1,36	1,62	1,43	1,16	1,79	1,45	0,17
$R_2$ (m)	0,94	1,95	1,37	1,81	1,08	2,39	1,59	0,41
$\eta_{NMPS}$ (m)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,68	0,003
$R_{high}$ (m)	1,62	2,63	2,05	2,49	1,77	3,08	2,27	0,41
$S_{2\%}$ (m)	1,16	1,89	1,45	2,40	1,31	2,86	1,84	0,50
$R_{low}$ (m)	0,46	0,74	0,60	0,10	0,46	0,22	0,43	0,18
$D_{high}$ (m)	6,54	6,51	6,52	6,50	6,49	6,50	6,51	0,01
$D_{low}$ (m)	3,39	3,40	3,43	4,09	4,22	4,22	3,79	0,32
$R_{high}/D_{high}$	0,25	0,40	0,31	0,38	0,27	0,47	0,35	0,06
$R_{low}/D_{high}$	0,07	0,11	0,09	0,01	0,07	0,03	0,06	0,03
Regime de Impacto (Sallenger)	1	1	1	1	1	1	1	0

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMPS}$  é o nível médio das premares de sizígia,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espriamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

P3								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
Largura da praia (m)	24,65	20,45	25,24	22,80	27,38	27,05	24,60	1,97
Altura da praia (m)	2,64	2,33	2,94	3,05	2,99	3,09	2,84	0,22
Tangente (valor)	0,11	0,11	0,12	0,13	0,11	0,11	0,11	0,007
Tangente (°)	6,12	6,50	6,65	7,61	6,24	6,52	6,61	0,40
$H$ (m)	0,99	1,55	1	1,82	1,21	1,81	1,40	0,29
$T$ (s)	6,52	10,7	9,28	9,03	6,46	12,15	9,02	1,69
$L$ (m)	66,30	178,57	134,32	127,18	65,09	230,25	133,62	48,07
$\xi_0$	0,88	1,22	1,35	1,12	0,80	1,29	1,11	0,17
$R_2$ (m)	0,95	1,95	1,36	1,78	1,04	2,39	1,58	0,42
$\eta_{NMPS}$ (m)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,68	0,003
$R_{high}$ (m)	1,63	2,63	2,04	2,46	1,73	3,08	2,26	0,42
$S_{2\%}$ (m)	0,80	1,71	1,21	1,84	0,90	2,09	1,42	0,40
$R_{low}$ (m)	0,83	0,92	0,83	0,62	0,83	0,99	0,84	0,09
$D_{high}$ (m)	6,35	6,31	6,41	6,55	6,52	6,51	6,44	0,07
$D_{low}$ (m)	3,32	3,01	3,62	3,73	3,68	3,78	3,52	0,22
$R_{high}/D_{high}$	0,26	0,42	0,32	0,38	0,27	0,47	0,35	0,06
$R_{low}/D_{high}$	0,13	0,15	0,13	0,09	0,13	0,15	0,13	0,02
Regime de Impacto (Sallenger)	1	1	1	1	1	1	1	0

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMPS}$  é o nível médio das premares de sizígia,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

P4								
Variável/ campanha	02/2018	07/2018	09/2018	11/2018	02/2019	05/2019	Média	CV (%)
Largura da praia (m)	10,01	16,84	11,31	12,73	10,60	16,42	12,98	2,19
Altura da praia (m)	1,91	2,11	2,15	1,68	1,46	1,83	1,86	0,19
Tangente (valor)	0,19	0,12	0,19	0,13	0,14	0,11	0,15	0,02
Tangente (°)	10,81	7,16	10,78	7,54	7,86	6,37	8,42	1,41
$H$ (m)	0,99	1,57	1,2	1,82	1,21	1,84	1,44	0,26
$T$ (s)	6,52	10,71	9,61	9,03	6,46	12,19	9,09	1,68
$L$ (m)	66,30	178,91	144,04	127,18	65,09	231,77	135,55	47,86
$\xi_0$	1,56	1,34	2,09	1,11	1,01	1,25	1,39	0,29
$R_2$ (m)	0,95	1,96	1,54	1,78	1,04	2,42	1,61	0,41
$\eta_{NMPS}$ (m)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,68	0,003
$R_{high}$ (m)	1,63	2,64	2,22	2,46	1,73	3,11	2,30	0,41
$S_{2\%}$ (m)	1,37	1,88	2,20	1,82	1,11	2,07	1,74	0,31
$R_{low}$ (m)	0,25	0,76	0,02	0,64	0,61	1,04	0,55	0,27
$D_{high}$ (m)	4,90	4,88	4,90	4,94	4,97	4,93	4,92	0,02
$D_{low}$ (m)	2,59	2,79	2,83	2,36	2,15	2,52	2,54	0,19
$R_{high}/D_{high}$	0,33	0,54	0,45	0,50	0,35	0,63	0,47	0,08
$R_{low}/D_{high}$	0,05	0,16	0,00	0,13	0,12	0,21	0,11	0,05
Regime de Impacto (Sallenger)	1	1	1	2	1	2	1,33	0,38

Onde:  $H$  é a altura de onda,  $T$  é o período de onda,  $L$  é o comprimento de onda,  $\xi_0$  é o número de Iribarren em águas profundas,  $R_2$  é o *runup* 2%,  $\eta_{NMPS}$  é o nível médio das premares de sizígia,  $R_{high}$  é a elevação máxima do nível da água,  $S_{2\%}$  é o *swash* 2%,  $R_{low}$  é a elevação mínimo do nível da água,  $D_{high}$  é o topo da duna,  $D_{low}$  é a base da duna e o Regime de Impacto (Sallenger): 1 é o nível de espraiamento, 2 é o nível de colisão, 3 é o nível de transposição e 4 é o nível de inundação.

**APÊNDICE G –  $D_{50}$  E  $D_{90}$  DO SEDIMENTO CONCOMITANTE DOS PERFIS MEDIDOS**

Mês/Ano	Local coletado	P1		P2		P3		P4	
		$D_{50}$ (φ)	$D_{90}$ (φ)	$D_{50}$ (φ)	$D_{90}$ (φ)	$D_{50}$ (φ)	$D_{90}$ (φ)	$D_{50}$ (φ)	$D_{90}$ (φ)
02/2018	Berma	1,325	1,949	1,867	2,383	0,856	1,859	-	-
	Face	1,931	2,741	1,371	2,346	0,975	2,311	0,944	1,892
	Submerso	3,017	3,707	3,176	3,845	2,858	3,568	2,382	3,165
07/2018	Berma	1,740	2,742	1,407	2,748	0,856	1,926	-	-
	Face	2,319	2,988	1,349	2,458	0,888	2,310	1,308	2,246
	Submerso	2,316	3,102	-0,058	1,351	0,393	2,833	2,372	3,045
09/2018	Berma	1,446	2,443	1,480	2,838	0,745	1,788	0,614	1,551
	Face	2,400	3,054	2,383	2,950	1,816	2,416	2,349	2,892
	Submerso	3,182	3,758	3,166	3,847	2,874	3,518	2,645	3,232
11/2018	Berma	2,338	2,896	1,424	1,992	0,972	1,968	1,756	2,349
	Face	0,941	1,964	1,270	2,376	0,324	1,467	0,489	1,470
	Submerso	3,088	3,672	3,113	3,671	2,839	3,231	0,943	2,759
02/2019	Berma	1,899	2,788	0,972	1,944	0,282	0,967	0,865	1,866
	Face	0,786	1,739	0,876	1,484	0,874	1,976	0,741	1,789
	Submerso	2,834	3,221	3,183	3,850	3,033	3,742	1,997	2,835
05/2019	Berma	3,090	3,557	1,194	1,975	0,813	1,949	1,483	2,346
	Face	2,781	3,182	1,419	2,354	1,241	2,322	0,832	2,224
	Submerso	3,090	3,557	3,479	3,825	3,120	3,710	3,035	3,527

} Média

## ANEXO A – DEFINIÇÃO DE MÉDIA, MEDIANA, ASSIMETRIA E GRAU DE SELEÇÃO

- Média (diâmetro médio): tamanho médio das partículas (FOLK & WARD, 1957).
- Mediana: corresponde ao decil 50 ( $D_{50}$ ) (TRASK, 1930, *apud* DIAS, 2004), ou seja, diâmetro que divide a distribuição em duas metades com pesos iguais, uma com diâmetros maiores (grossos) e outra com diâmetros menores (finos) (DIAS, 2004).
- Assimetria (*skewness*): grau de deformação da curva de frequência simples para a direita ou para a esquerda (CASELLA & BERGER, 2002). Se os valores da moda, da média e da mediana forem iguais, a distribuição é considerada simétrica, caso contrário, a distribuição é assimétrica (JESUS & ANDRADE, 2013). Se for assimétrica positiva a cauda da distribuição está deslocada para a direita (grãos finos) e se for assimétrica negativa a cauda está deslocada para a esquerda (grãos grossos) (DIAS, 2004).
- Grau de seleção (desvio padrão) (*sorting*): desvio padrão da distribuição de tamanho (BRIGGS *apud* JESUS & ANDRADE, 2013). Sedimentos bem selecionados resultam em grãos com pequena dispersão dos seus valores granulométricos, enquanto que sedimentos mal selecionados indicam o contrário (JESUS & ANDRADE, 2013).

### Referências bibliográficas:

Casella, G., & Berger, R. L. (2002). *Statistical Inference*. Cengage Learning. ISBN: 978-0-534-24312-8

Dias, J. A. (2004). *A análise sedimentar e o conhecimentos dos sistemas marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica)*. Universidade do Algarve, UALg 84p e-book da versão preliminar. Disponível: [http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb\\_Sediment.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html)

Jesus, L. V. de, & Andrade, A. C. da S. (2013). Parâmetros Granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas–Aracaju–SE. *Scientia Plena*, 9(5). Disponível: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/1289>

Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary research*, 27(1), 3-26. DOI: 10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D

**ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DO TAMANHO DE GRÃO DE UDDEN-WENTWORTH (GALLAGHER *ET AL.*, 2017)**

Millimeters (mm)	Micrometers ( $\mu\text{m}$ )	Phi ( $\phi$ )	Wentworth size class	Rock type
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia
256	-----	-8.0	-----	
64	-----	-6.0	Cobble	
4	-----	-2.0	Pebble	
2.00	-----	-1.0	Granule	
1.00	-----	0.0	Very coarse sand	Sandstone
1/2	----- 500 -----	1.0	Coarse sand	
1/4	----- 250 -----	2.0	Medium sand	
1/8	----- 125 -----	3.0	Fine sand	
1/16	----- 63 -----	4.0	Very fine sand	
1/32	----- 31 -----	5.0	Coarse silt	Siltstone
1/64	----- 15.6 -----	6.0	Medium silt	
1/128	----- 7.8 -----	7.0	Fine silt	
1/256	----- 3.9 -----	8.0	Very fine silt	
0.00006	0.06	14.0	Clay	Mud Claystone

**Referência bibliográfica:**

Gallagher, S. J., Fulthorpe, C. S., Bogus, K., Auer, G., Baranwal, S., Castañeda, I. S., Christensen, B. A., De Vleeschouwer, D., Franco, D. R., Groeneveld, J., Gurnis, M., Haller, C., He, Y., Henderiks, J., Himmler, T., Ishiwa, T., Iwatani, H., Jatiningrum, R. S., Kominz, M. A., Korpanty, C. A., Lee, E. Y., Levin, E., Mamo, B. L., McGregor, H. V., McHugh, C. M., Petrick, B. F., Potts, D. C., Rastegar Lari, A., Renema, W., Reuning, L., Takayanagi, H., & Zhang, W. (2017). Expedition 356 methods. In Gallagher, S.J., Fulthorpe, C.S., Bogus, K., and the Expedition 356 Scientists, Indonesian Throughflow. *Proceedings of the International Ocean Discovery Program*, 356: College Station, TX (International Ocean Discovery Program). DOI: 10.14379/iodp.proc.356.102.2017



ANEXO C – FÓRMULAS ESTATÍSTICAS USADAS NO CÁLCULO DE PARÂMETROS DE MÉDIA (*MEAN*), GRAU DE SELECIONAMENTO (*STANDARD DEVIATION*), ASSIMETRIA (*SKEWNESS*) E CURTOSE (*KURTOSIS*) PELO MÉTODO DE FOLK & WARD (1957) EXPRESSOS NA ESCALA LOGARÍTMICA (BASEADA EM UMA DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL, EM QUE OS TAMANHOS DOS GRÃOS SÃO EXPRESSOS EM FI) (BLOTT & PYE, 2001).

Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis		
$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$	$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$	$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$		
Sorting ( $\sigma_1$ )	Skewness ( $Sk_1$ )		Kurtosis ( $K_G$ )		
Very well sorted	<0.35	Very fine skewed	+0.3 to +1.0	Very platykurtic	<0.67
Well sorted	0.35–0.50	Fine skewed	+0.1 to +0.3	Platykurtic	0.67–0.90
Moderately well sorted	0.50–0.70	Symmetrical	+0.1 to -0.1	Mesokurtic	0.90–1.11
Moderately sorted	0.70–1.00	Coarse skewed	-0.1 to -0.3	Leptokurtic	1.11–1.50
Poorly sorted	1.00–2.00	Very coarse skewed	-0.3 to -1.0	Very leptokurtic	1.50–3.00
Very poorly sorted	2.00–4.00			Extremely leptokurtic	>3.00
Extremely poorly sorted	>4.00				

#### Referência bibliográfica:

Blott, S. J., & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248. DOI: 10.1002/esp.261