



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ISAIAS FARIAS DA CÂMARA

**MORFOLOGIA DE PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES: implicações para o  
gerenciamento costeiro**

Recife  
2022

ISAIAS FARIAS DA CÂMARA

**MORFOLOGIA DE PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES: implicações para o  
gerenciamento costeiro**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Abiótica.

Orientadora: Profa. Dra. Mirella Borba Santos Ferreira Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira.

Recife

2022

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago CRB-4 / 1267

C173m    Câmara, Isaias Farias da.  
            Morfologia de praias protegidas por recifes: implicações para o gerenciamento costeiro / Isaias Farias da Câmara. – 2022.  
            77 f. : il., figs., tabs.

            Orientadora: Profa. Dra. Mirella Borba Santos Ferreira Costa.  
            Orientador: Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira.  
            Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
            Programa de Pós-graduação em Oceanografia. Recife, 2022.  
            Inclui referências.

            1. Oceanografia.    2. Pontais.    3. Baías.    4. Gerenciamento costeiro.    5. Morfologia.    6. RPAS.    I. Costa, Mirella Borba Santos Ferreira (Orientadora).    II. Pereira, Pedro de Souza (Coorientador).    III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-364

ISAIAS FARIAS DA CÂMARA

**MORFOLOGIA DE PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES: implicações para o  
gerenciamento costeiro**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Abiótica.

Aprovada em: 28 / 04/ 2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Mirella Borba Santos Ferreira Costa (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Davis Pereira de Paula (Examinador Externo)  
Universidade Estadual do Ceará

---

Dr. Eduardo Lacerda Barros (Examinador Externo)  
Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Ceará

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me ajudado a tomar decisões coerentes e sábias, mesmo em momentos de dúvidas.

À minha mãe Adriana, à minha tia Fabiana, à minha avó Francisca e ao meu tio Oliveira, por terem me ajudado de formas diferentes a concretizar este trabalho. À minha avó Railda que, infelizmente, não pôde acompanhar esse momento, mas sempre torceu por mim.

À minha orientadora Mirella Costa, por toda a ajuda, todas as ideias e incentivos que transbordaram o viés acadêmico.

Aos professores Dr. Davis de Paula, Dr. Fábio Matos e Dra. Tereza Araújo e ao Dr. Eduardo Lacerda por comporem a banca e pelas contribuições.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO/UFPE) e ao Programa Ecológico de Longa Duração PELD Tamandaré Sustentável, na figura da Prof. Dra. Beatrice Padovani Ferreira.

Aos que ajudaram diretamente na construção dessa dissertação: Lucas Cavalcanti, Sara Cavalcanti, Tiago Holanda, Danielle Mallmann e Davy Bérghamo. Aos meus colegas de mestrado Cinthya Arruda, Thiago Caminha e Ítala Gabriela. Às amigas construídas no decorrer dessa etapa: Lucas Medeiros e Keynes Muarramuassa.

Às minhas amigas Letícia Falcão, Karol Oliveira, Sara Facó, Clarice Nascimento e Carol Maia e ao meu amigo Vito de Giglio. Aos meus amigos da oceanografia: Joao Neto, Yasmin Marques, Kevin Samuel, Caio Erick, Camila Guerreiro, Sarah Cavalcante, João Mafra e Victor Nascimento.

À Adna Priscilla, por ter me ajudado a conciliar a caminhada acadêmica com a pessoal.

À Gabriela Moura, por ter sido minha dupla em vários momentos durante essa jornada acadêmica e pessoal. Serei grato a todos esses momentos vividos, sempre (...). À Giliana Targino, por tudo!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa (CNPq) pela bolsa, à todas as universidades públicas, as quais possuem um papel importantíssimo na formação de cidadãos e jovens cientistas, em especial à Universidade Federal do Ceará, na figura do Instituto de Ciências do Mar, onde tenho muito orgulho de ter estudado. Aos professores Marcelo Soares, Oscarina Viana, Oziléia Menezes, Fábio Matos e Lidriana Pinheiro, obrigado por tudo.

## RESUMO

Praias protegidas por recifes estão presentes em grande parte do litoral nordeste brasileiro, em especial no litoral sul de Pernambuco, onde se encontra o município de Tamandaré, área de estudo desta dissertação. Dito isso, este trabalho foi dividido em dois capítulos, cujo primeiro tem como objetivo geral avaliar as variações espaciais e temporais da linha de costa entre 2003-2020, a partir da utilização do DSAS como subsídio para o gerenciamento costeiro, enquanto o segundo está focado na ideia de explicar variações espaciais morfológicas na região, a partir de uma análise conjunta entre RPAS e GNSS, associada ao uso estatístico e ao de SIG. Ambos têm como ideia central a diferenciação entre os ambientes de pontais/trechos protegidos (headland beaches) e baías/trechos expostos (embayed beaches). Os resultados do primeiro capítulo mostram que o trecho protegido ao sul apresenta somente taxas de erosão, com média geral de  $-1,46$  m/a, o que ressalta a influência do dinamismo do Rio Mamucabas; o trecho exposto (Baía de Tamandaré) apresenta taxas de erosão ao sul ( $-1,62$  m/a) e progradantes ao norte, ( $0,49$  m/a), sendo classificada, portanto, como instável; e, por fim, o trecho protegido urbanizado apresentou-se como o mais heterogêneo, com as médias de acreção, avanço, erosão e recuo na ordem de  $0,39$  m/a,  $0,22$  m/a,  $-0,10$  m/a e  $-0,09$  m/a, respectivamente. Percebeu-se, dessa forma, que as taxas de variação da LC estão intrinsecamente relacionadas à presença dos recifes e suas implicações (ex: processos de refração e difração), das construções próximas ou sobre a LC, especialmente no trecho protegido urbanizado. Os resultados do segundo capítulo, por sua vez, exibem que os perfis topográficos diferem entre os trechos, em que no exposto os perfis são mais inclinados do que no protegido, sendo os deste último, ainda, mais aplainados e rebaixados. Ademais, foi comum a presença de cúspides na região central da baía, além da presença de cordões de restingas, enquanto no trecho protegido estas feições foram incipientes ou isoladas, tendo apenas a presença de escarpas erosivas de forma comum. Por meio da análise estatística, foi possível identificar 4 grupos, sendo dois deles tipicamente de trechos expostos e protegidos, o que está relacionado, dessa forma, às diferenças morfológicas entre os trechos, ocasionadas, sobretudo, pela presença dos recifes costeiros (sua forma e os processos associados) e por intervenções antrópicas, como as construções. Dessa forma, o conjunto de dados dessa dissertação inova no sentido de explicar as variações da linha de costa e os processos morfológicos associados às praias protegidas por recifes, uma lacuna ainda existente em âmbito nacional. Por fim, os dados discutidos podem ser utilizados para a

tomada de decisão no que concerne ao gerenciamento costeiro e áreas protegidas, ressaltando assim, a importância desse conjunto de dados aplicados à legislação ambiental vigente.

Palavras-chave: pontais; baías; gerenciamento costeiro; morfologia; RPAS.

## ABSTRACT

Reef-shaped coasts are present in a large part of the Brazilian northeast coast, especially in the south coast of Pernambuco, where the municipality of Tamandaré is located, the area of study of this dissertation. In this context, this document was divided into two chapters, the first of which has the general aim of evaluating the spatial and temporal rates of the shoreline between 2003-2020, from the use of DSAS as a subsidy for coastal management, while the second is focused on the idea of explaining morphological spatial variations in the region, based on a joint analysis between RPAS and GNSS, associated with statistical use and that of GIS. Both have as their central idea the differentiation between headland beaches and embayed beaches. The results of the first chapter show that the southern section of reef-protected headland beach presents only erosion rates, with a general average of -1.46 m/a, which highlights the influence of the dynamism of the Mamucabas River; the embayment section (Tamandaré Bay) presents erosion rates to the south (-1.62 m/y) and prograding rates to the north (0.49 m/y), being classified, therefore, as unstable; and, finally, the urbanized reef-protected headland beach was the most heterogeneous, with average accretion, advance, erosion and retreat in the order of 0.39 m/y, 0.22 m/y, -0.10 m/y and -0.09 m/y, respectively. In this way, it was noticed that the LC variation rates are intrinsically related to the presence of reefs and their implications (eg: refraction and diffraction processes), of constructions close to or on the LC, especially in the urbanized reef-protected headland beach. The results of the second chapter, in turn, show that the topographic profiles differ between the sections, in which the profiles are more inclined in the embayment section than in the reef-protected one, with the latter being even more flattened and lowered. Furthermore, the presence of cusps in the central region of the bay was common, in addition to the presence of “restingas”, while in the reef-protected headland beach these features were incipient or isolated, with only the presence of erosive scarps in common. Through statistical analysis, it was possible to identify 4 groups, two of them typically from embayment and reef-protected sections, which is thus related to the morphological differences between the stretches, caused mainly by the presence of coastal reefs (their shape and associated processes) and by anthropic interventions, such as constructions. Thus, the data set of this dissertation innovates in order to explain the variations of the coastline and the morphological processes associated with reef-protected headland beaches, a gap still exists at the national level. Finally, the data discussed can be used for decision making regarding coastal



management and protected areas, thus emphasizing the importance of this set of data applied to current environmental legislation.

Key-words: headland beaches; embayed beaches; coastal management; morphology; RPAS.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1 – EROSÃO E GESTÃO COSTEIRA EM PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES

- Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, em que (a) representa a localização da área de estudo em relação ao nordeste brasileiro; (b) a subdivisão em trechos protegidos e expostos, além da presença das Áreas Protegidas legalmente instituídas; (c) vista área da região exposta (Baía de Tamandaré), incluindo a região protegida associada a Foz do Rio Mamucabas na região superior da imagem e (d) região protegida (Tamandaré-Urbanizada)..... 21
- Figura 2 - Utilização do DSAS para a realização de cálculos de taxas de regressão linear em trechos expostos e protegidos no município de Tamandaré..... 23
- Figura 3 - Variação da Linha de Costa no Município de Tamandaré, considerando os trechos protegidos e expostos, de acordo com o indicador de linha de costa utilizado..... 27
- Figura 4 - Distribuição de classes, em especial a ocupação e APPs, entre trechos expostos (Baía de Tamandaré) e protegidos (Tamandaré-Urbanizado) ..... 30
- Figura 5 - (a) representa a exposição, no estirâncio, de raízes de plantas erodidas pela ação de ondas; (b) exhibe a atuação de processos erosivos na base da vegetação, danificando-as, ambas localizadas no trecho protegido sob influência do Rio Mamucabas e (c) mostra a artificialização da LC por obras rígidas, o parcelamento e supressão da vegetação de restingas, no segundo pontal, no trecho urbanizado..... 34

### ARTIGO 2 – VARIAÇÃO ESPACIAL DA MORFOLOGIA EM PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES

- Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. A figura (a) representa a localização da área de estudo em relação ao nordeste brasileiro, enquanto a figura (b) exhibe os setores exposto e protegido, bem como, os perfis topográficos perpendiculares à praia distribuídos ao longo dos trechos. Ainda, é possível notar a presença dos recifes costeiros ao norte e a Baía de Tamandaré ao sul 50
- Figura 2 – (a) e (c) representam os MDTs do trecho exposto (Baía de Tamandaré) e do

trecho protegido, respectivamente. A figura (b) representa o trecho à esquerda da centralidade da baía, tomando como referência a imagem (a), em que é possível visualizar a presença de cúspides ao longo de todo o trecho, com dimensões variadas..... 54

Figura 3 - (a) e (b) representam os perfis topográficos plotados no setor exposto e no setor protegido, respectivamente; (c) exhibe a Baía de Tamandaré, um trecho com perfil relativamente inclinado e (e) exhibe o trecho protegido por recifes, um trecho com perfil relativamente aplainado. A figura (d), por fim, exhibe os perfis médios de cada grupo originado na análise cluster..... 56

Figura 4 - Análise Cluster dos perfis topográficos. Os grupos 1 e 4 (G1 e G4) correspondem aos trechos expostos e protegidos, respectivamente. Os demais grupos (G2 e G3) compreendem uma mistura entre os perfis de ambas as regiões..... 58

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1 – EROSÃO E GESTÃO COSTEIRA EM PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES

|            |                                                                                                                                            |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Dados quantitativos relacionados à ocupação, à delimitação de ETAPs e outras categorias, subdividido em trechos expostos e protegidos..... | 29 |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### ARTIGO 2 – VARIAÇÃO ESPACIAL DA MORFOLOGIA EM PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES

|            |                                                                                                                                       |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Erro Quadrático médio (Mean Squared Error, em inglês) dos Pontos de Controle utilizados para o aerolevanteamento.....                 | 53 |
| Tabela 2 - | Sumário dos resultados da PERMANOVA referente às características morfológicas dos perfis topográficos e dos agrupamentos cluster..... | 57 |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                  |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>                                                                                    | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>                                                                     | <b>15</b> |
| <b>3</b> | <b>ARTIGO 1 – EROSÃO E GESTÃO COSTEIRA EM PRAIAS PROTEGIDAS<br/>POR RECIFES NO LITORAL SUL DE PERMABUCO.....</b> | <b>17</b> |
| <b>4</b> | <b>ARTIGO 2 – VARIAÇÃO ESPACIAL DA MORFOLOGIA EM PRAIAS<br/>PROTEGIDAS POR RECIFES.....</b>                      | <b>47</b> |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                                 | <b>69</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                          | <b>70</b> |

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Praias protegidas por recifes são comumente encontradas em regiões tropicais do planeta, sendo que no Brasil, elas estão presentes em uma região que compreende mais de 2500 km de costa (SIEGLE e COSTA, 2017). A presença dessas feições cria condições hidrodinâmicas e oceanográficas diferenciadas que possuem reflexos na costa. Dentre eles, estão a presença de processos de refração e difração induzidos, que são responsáveis pela formação de pontais/trechos protegidos (Headland beaches) e baías/trechos expostos (embayed beaches) ao longo do litoral (SANDERSON e ELIOT, 1996; PEREIRA et al. 2016; MANSO et al. 2018).

Ainda, a presença dos recifes costeiros é responsável pela atenuação das ondas que incidem sobre a costa (YOUNG, 1989; MUEHE, 2001; KENCH e BRANDER, 2006; SHORT, 2006; FERRARIO et al. 2014; MALLMANN et al. 2014; ELLIFF e SILVA, 2017; MARTINS et al. 2019; OSORIO-CANO et al. 2019; ROELVINK et al. 2021), o que causa uma modificação do comportamento da linha de costa, tornando assim, necessário estudos que a monitorem, associados a uma boa gestão do território. Nesse sentido, o primeiro capítulo desta dissertação tem como objetivo o mapeamento e a caracterização da variação espacial e temporal da linha de costa entre os anos de 2003-2020, a partir da utilização de técnicas de SIG aliada ao uso do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). Adicionalmente, questões referentes à legislação ambiental, em especial à costeira, foram adicionadas à discussão, no sentido de contribuir para o gerenciamento costeiro de praias protegidas por recifes e de áreas legalmente protegidas associadas.

Além disso, a relação entre os processos oceanográficos e hidrodinâmicos com a presença e as características morfológicas intrínsecas dos recifes costeiros influencia na morfologia praial. Isso inclui desde a influência na sedimentação (MOBERG e FOLK, 1999; MARTINS et al. 2019) até a formação de feições costeiras, como as saliências a sotavento da feição submersa (COSTA et al. 2016), criando assim, condições diferenciadas no que tange a morfologia de acordo o grau de proteção fornecidos pelos recifes e processos associados, tanto no sentido transversal quanto perpendicular do ambiente praial. O segundo capítulo, nesse contexto, teve como objetivo estudar o padrão morfológico espacial transversal e perpendicular associado a praias protegidas por recifes e adjacências, a partir da utilização conjunta de RPAS e GNNS, associado ao uso estatístico e ao de SIG. Considerações referentes ao papel antrópico também foram levados em consideração, assim como no capítulo anterior.

Logo, nesse cenário, o litoral sul de Pernambuco, onde está inserido o município de Tamandaré, área de estudo deste trabalho, é ideal para o estudo dessas temáticas. Ele está inserido nos limites apontados por Costa et al. (2016) e Siegle e Costa (2017), em que os recifes costeiros estão presentes ao longo da costa com formatos alongados e descontínuos (DOMINGUEZ et al. 1990; PEREIRA et al. 2016; COSTA et al. 2016), criando um padrão de existência de trechos expostos e protegidos. Dessa forma, ambos os capítulos visam preencher lacunas existentes sobre as temáticas supracitadas nesses ambientes, fornecendo assim, dados e discussões que podem ser utilizados pela comunidade científica e pelos gestores bem intencionados em diferentes níveis de competência institucional, garantindo, portanto, a eficiência na gestão costeira.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida no município de Tamandaré, sul do litoral de Pernambuco, no setor sul do Estado de Pernambuco, de acordo com a Lei nº 14.258/10, que instituiu a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro do estado de Pernambuco. A região é abrangida por três unidades de conservação da natureza de categorias distintas, a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC), a Área de Proteção Ambiental de Guadalupe (APAGua) e o Parque Natural Municipal do Forte de Tamandaré (PNMFTams), que abrange parte do trecho da Baía de Tamandaré. O município detém 14 km de linha de costa (FERREIRA e MAIDA, 2006), dos quais 6,7 km foram analisados no primeiro artigo e desses, 3,2 km foram analisados no segundo artigo, representados cartograficamente nos mapas de localização de cada capítulo adiante.

A região está inserida nos intervalos de 5° a 10° de latitude, onde os recifes costeiros ocorrem de forma paralela a costa, sendo geralmente alongados e com extensões e larguras variáveis (MAIDA e FERREIRA, 1997; DOMINGUEZ et al. 1990; FERREIRA e MAIDA, 2006; PEREIRA et al. 2016; COSTA et al. 2016). Especificamente na área de estudo, os recifes apresentam-se em até três linhas e com topos expostos durante a maré baixa (MAIDA e FERREIRA, 1997; FERREIRA e MAIDA, 2006). Eles são, ainda, classificados como semi-submersos, em que durante as preamares, alguns trechos continuam emersos e durante e as baixa-mares, alguns continuam imersos.

Os processos de refração e difração que acontecem, em especial nas extremidades dos recifes, juntamente com suas características geomorfológicas, são responsáveis pela modulação da linha de costa em um padrão irregular, resultando na criação de linhas de costas côncavas e convexas. Nesse sentido, Moura e Passavante (1993) ressaltaram que tais processos foram responsáveis pela criação da Baía de Tamandaré, cujo formato é côncavo e com orientação para leste, apresentando uma comunicação com o oceano abeto de aproximadamente 1 km de largura entre os recifes costeiros (REBOUÇAS, 1965). Ainda, são responsáveis pelas formações de feições, como tômbolos e saliências (MANSO et al. 2018) que são convexos, sendo estas últimas presentes a sotavento da porção semi-submersa das linhas dos recifes (COSTA et al. 2016), ou seja, no trecho protegido eles.

O clima da região é quente e úmido (LINS-SILVA et al. 2021), caracterizada pelo clima tropical com temperaturas médias anuais de 27°C e precipitação em torno dos 2.000 mm, com estação seca (ou verão) entre outubro e março e a chuvosa (inverno) de abril a setembro (VENEKEY et al. 2014; PEREIRA et al. 2016). O trimestre mais chuvoso engloba



os meses de maio, junho e julho, concentrando 47% dos totais anuais, tendo relação direta com a posição e intensidade da alta pressão do Atlântico Sul (MANSO et al. 2018). Os ventos são sazonais, soprando 90% do tempo do setor leste-sudeste, com velocidades medias de 3 a 5 m/s (MOURA e PASSAVANTE, 1995; MANSO et al. 2018), tendo os intervalos de julho a outubro com ventos fortes de SE a E e uma estação com ventos mais brandos de janeiro a maio, preferencialmente de nordeste (LINS-SILVA et al. 2021).

Em relação aos aspectos oceanográficos, o regime de maré é mesomaré apresentando característica semidiurna (VENEKEY et al. 2014; MANSO et al. 2018). O clima das ondas em oceano aberto é controlado principalmente pelos ventos alísios, com predominância da direção leste-sudeste, embora durante o outono e inverno ondas do quadrante sul estejam presentes (COSTA et al. 2016; PEREIRA et al. 2016). Os recifes, além de serem importantes na atenuação e ondas, também são importantes na mudança de orientação das mesmas (MANSO et al. 2018). A corrente de deriva litorânea na região tem predominância de sentido S-N.

### 3 ARTIGO 1 – EROSÃO E GESTÃO COSTEIRA EM PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES NO LITORAL SUL DE PERMABUCO

#### RESUMO

O padrão de alternância entre baías e pontais, típico da região do nordeste brasileiro, é responsável pelo estabelecimento de processos erosivos diferenciados. Este trabalho objetiva avaliar as variações espaço-temporal da linha de costa (LC) entre 2003-2020 utilizando o software DSAS como subsídio para o gerenciamento costeiro no sul de Pernambuco. O trecho protegido ao sul apresentou 5 transectos e uma taxa de variação da LC de -1,46 m/a (100% deles em erosão). O trecho exposto (Baía de Tamandaré) apresentou 55 transectos (32,72% em erosão e 67,28% em acreção) e uma taxa de variação da LC de -0,20 m/a. O trecho protegido ao norte (urbanizado) obteve uma taxa de variação da LC de 0,23 m/a para os 75 transectos (40,54% em erosão, 35,14% em avanço de construções, 4,05% em erosão, 10,81% em recuo de construções). O trecho protegido ao sul é controlado pela dinâmica da foz do Rio Mamucabas; a Baía de Tamandaré é classificada como instável, em virtude dos valores de acreção e erosão em suas extremidades; o trecho protegido urbanizado, por sua vez, é ditado pela presença e pela geometria dos recifes costeiros. O estudo de taxas erosivas anuais em costas protegidas por recifes contribui para subsidiar a gestão da zona costeira.

**Palavras-chave:** Pontais, Baías, Linha de costa e Construções.

#### ABSTRACT

The Brazillian northeast reef-fronted coast is characterized by recurrent embayed and headland segments with shorelines that behave in distinct erosive processes. This paper evaluates the shoreline (SL) spatial and temporal variations of between 2003-2020 using the DSAS software as a subsidy for the coastal management in the south of Pernambuco. The southern reef-protected section showed 5 transects with a SL variation rate of -1.46 m/y (100% on them). The exposed section (Tamandaré Bay) showed 55 transects (32.72% in erosion and 67.28% in accretion) with a SL variation of -0.20 m/y. The northern reef-protected section (urbanized) showed a SL variation rate of 0.23 m/y for the 75 transects (40.54% in erosion, 35.14% in construction progress, 4.05% in erosion, 10.81% in building retreat). The southern reef-protected section, which is controlled by the dynamics of the mouth of the Mamucabas River; Tamandaré Bay is classified as unstable, due to accretion and erosion values at its ends; the urbanized reef-protected section, in turn, is controlled by the presence and geometry of coastal reefs. The study of erosion rates on reef-fronted coast adds to coastal zone management.

**Keywords:** Headland beaches, Embayed beaches, Reef-fronted shoreline and Occupation.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, (incluindo seus recursos naturais renováveis e não renováveis) englobando uma faixa terrestre e uma marítima (BRASIL, 1988; BRASIL, 2004; PERNAMBUCO, 2010; OLIVEIRA e NICOLODI, 2012; ROSA et al. 2018), estando sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas, modeladas por processos de origem continental e marinha (MORAES et al. 2015; PRUDÊNCIO et al. 2019). No Brasil, tamanha é sua importância, que a Constituição Federal de 1988 elevou-a a título de Patrimônio Nacional, ao lado de biomas, como a Mata Atlântica e a Floresta Amazônica. Como previsível, regiões potencialmente importantes nos âmbitos econômico, ambiental, social, cultural e político são alvos de conflitos diversos, ressaltando, assim, seu caráter emblemático.

As praias estão inseridas na ZC. A título de legislação brasileira, elas podem ser definidas como uma área coberta e descoberta periodicamente pelas águas, acrescida da faixa subsequente de material detrítico, tais como areias, cascalhos, seixos e pedregulhos, até o limite superior onde se inicia a vegetação natural, ou, no caso de sua ausência, onde comece um outro ecossistema (BRASIL, 1988; PERNAMBUCO, 2010).

Dentre os problemas recorrentes nessas regiões estão a extração indevida de sedimentos, o uso e ocupação do solo e dos recursos de forma exacerbada, a urbanização de ambientes frágeis e intervenções de engenharias costeiras indevidas que, juntos ou em associação, podem ser responsáveis por agravar ou criar problemas relacionados à erosão costeira e à retração da linha de costa, essencialmente devido a um desequilíbrio ambiental e gerencial (MUEHE, 2001; SOUZA, 2009; SOUZA e LUNA, 2010; NICOLODI e PETERMANN 2010; OLIVEIRA e NICOLODI, 2012; ABREU e ABREU NETO, 2013; PRUDÊNCIO et al. 2019; MOREIRA et al. 2020; BARROS et al. 2021).

Praias protegidas por recifes estão submetidas a fatores naturais e antrópicos similares, todavia, são ditadas por processos oceanográficos e morfodinâmicos diferenciados, influenciados pela presença daquelas feições. Os recifes costeiros desempenham um papel decisivo na modificação da energia das ondas (FERRARIO et al. 2014; COSTA et al. 2016; PEREIRA et al. 2016), na distribuição sedimentar (PEREIRA et al. 2016; MANSO et al. 2018) e, por consequência, na morfologia praial (MANSO et al. 2018; MARTINS et al. 2019), além de ditar processos de cunho antrópico, como o padrão de ocupação (SUMMERS et al. 2018). Eles protegem a costa da ação direta das ondas através de processos de atenuação, criando saliências na zona de sombra do recife, projetando a Linha de Costa (LC)

em direção a ele (COSTA et al. 2016; SIEGLE e COSTA, 2017). Nas bordas dos recifes, os fenômenos de difração e refração de ondas são responsáveis pela formação de baías (PEREIRA et al. 2016; MANSO et al. 2018). Dessa forma, a ausência/presença dessas estruturas criam condições para o estabelecimento de padrões que se alternam entre baías (*embayed beaches*) e pontais (*headland beaches*).

Nessa linha, Fletcher et al. (2012), em estudos nas ilhas do Havaí, sugeriram a predominância de taxas anuais de erosão mais altas em pontais arenosos e taxas relativamente mais baixas em baías adjacentes. Esse padrão erosão-acreção é um princípio fundamental da morfodinâmica costeira (Romine et al. 2016). Sendo assim, é de fundamental importância a compreensão desses processos costeiros, em busca de uma adaptação antropogênica e ecológica, associado, entre outros fatores, à elevação do nível do mar e à degradação crescente dos recifes costeiros, por meio de metodologias adequadas e adaptadas para o estudo em regiões recifais.

A delimitação, o estudo e o monitoramento da LC configuram-se como uma alternativa indispensável e intrínseco a uma boa gestão dos espaços e dos recursos costeiros. Ela pode ser definida como um elemento geomorfológico dinâmico decorrente de respostas a processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências atuantes na ZC, como ondas, correntes, marés, ação eólica, atividades antrópicas e a disponibilidade de sedimentos (ROMINE et al. 2013; FERRAPEIRA NETO e MORAIS, 2014; MORAES et al. 2015; MOREIRA et al. 2020; BARROS et al. 2021) e, nesse caso, características geomorfológicas, como a presença de recifes.

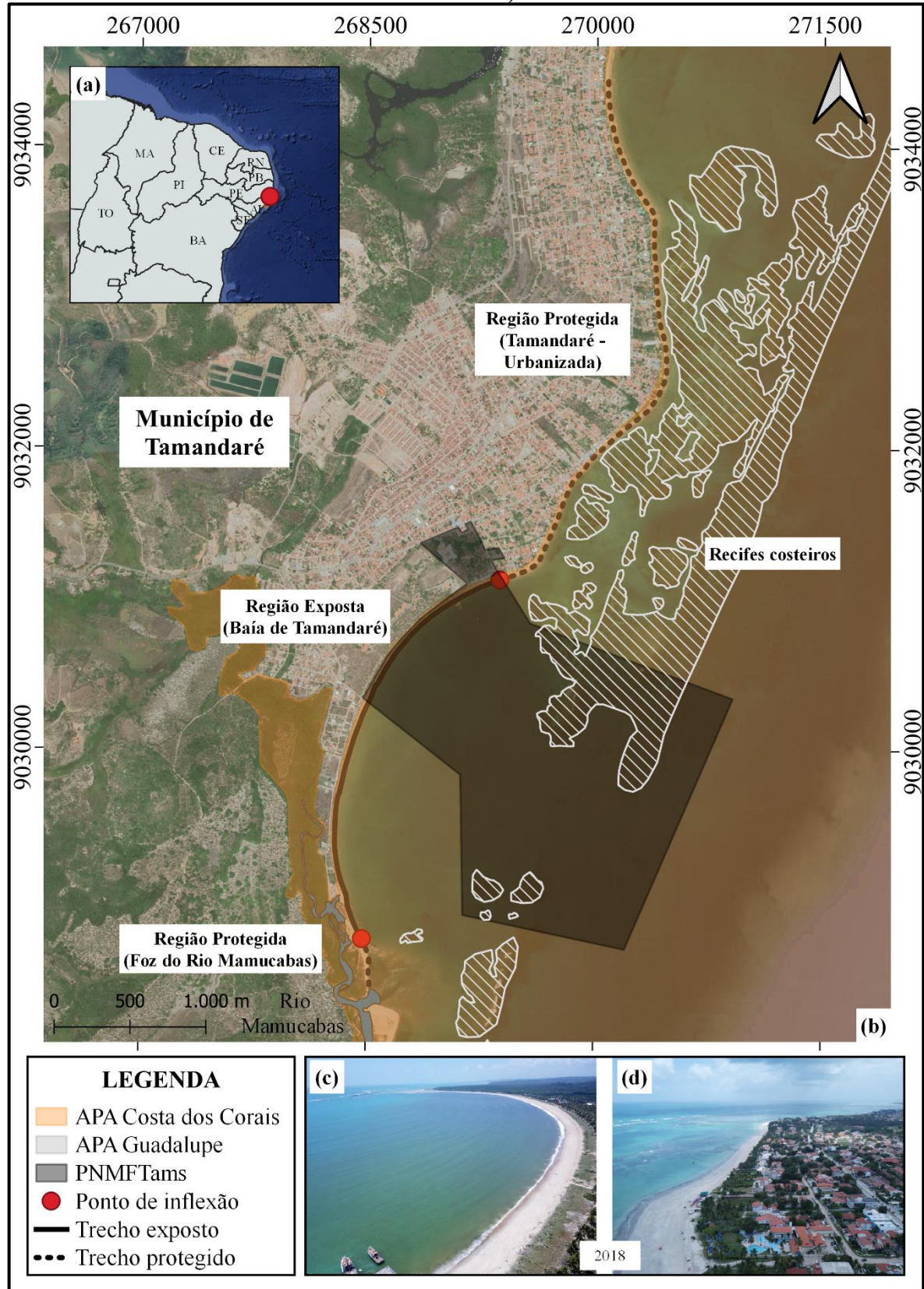
Estudos sobre o monitoramento da LC em praias protegidas por recifes são discutidos a nível internacional (FLETCHER et al. 2012; ROMINE et al. 2013; ROMINE; FLETCHER, 2013; ROMINE et al. 2016; SUMMERS et al. 2018). Porém, no Brasil, ainda são incipientes, em especial aqueles apoiados em legislações vigentes sobre o tema. Este trabalho, diante do exposto, tem como objetivo utilizar resultados oriundos de variações espaço-temporais da linha de costa nos últimos 17 anos (2003-2020), como subsídio para o gerenciamento costeiro em praias protegidas por recifes. Além disso, propõe-se a discussão desse trabalho a partir de legislações (federais, estaduais e municipais) no que tange a temática. Nesse sentido, o litoral sul pernambucano configura-se como um ambiente ideal para o estudo da temática, uma vez que está inserido em uma região geográfica em que recifes estão presentes ao longo da costa (DOMINGUEZ et al. 1990; FERREIRA e MAIDA, 2006; PEREIRA et al. 2016; COSTA et al. 2016).

### 3.1.1 Área de estudo

A área de estudo compreende 6,7 km do município de Tamandaré, compreendendo a Baía de Tamandaré, desde a foz do Rio Mamucabas, até o trecho protegido, ao norte, na Praia de Campas (Figura 1). A área de estudo está inserida em Áreas Protegidas, tais como a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC), a Área de Proteção Ambiental de Guadalupe (APAGua) e o Parque Natural Municipal do Forte de Tamandaré (PNMFTams) (Figura 1-B) criados a partir do Decreto Federal nº 5976/97, Decreto Estadual nº 19.635/97 e pelo Decreto Municipal nº 013/03, respectivamente, nos termos do inciso III, §1º, Art. 225 da CF. As duas primeiras são classificadas como Unidades de Conservação (UC) de uso sustentável, enquanto a última é de proteção integral (Art. 7º, Lei nº 9.9985/00).

Para fins de análises, a área de estudo foi subdividida em setor exposto (sinônimo também para trecho e/ ou região exposta), compreendendo a Baía de Tamandaré, e setor protegido (sinônimo também para trecho e/ou região protegida), tendo como componentes o setor urbanizado de Tamandaré e o setor corresponde a Foz do Rio Mamucabas setor urbanizado detém a presença de pontais, apresentando o termo “saliência” como sinônimo (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, em que (a) representa a localização da área de estudo em relação ao nordeste brasileiro; (b) a subdivisão em trechos protegidos e expostos, além da presença das Áreas Protegidas legalmente instituídas; (c) vista área da região exposta (Baía de Tamandaré), incluindo a região protegida associada a Foz do Rio Mamucabas na região superior da imagem e (d) região protegida (Tamandaré-Urbanizada).



Fonte: O Autor (2022).

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Seleção e tratamento de imagens

Inicialmente, 11 imagens foram extraídas do *software Google Earth Pro*, baseadas na disponibilidade fornecida pelo programa sob a escolha de condições de baixa ou nenhuma cobertura de nuvem. Em seguida, as imagens foram inseridas no ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG) *ArcGis* versão 10.6, para o georreferenciamento a partir de pontos de controle previamente definidos. A extração de linhas de costa foi feita a partir da construção de *shapefiles* (de linha) para cada imagem selecionada em que, posteriormente, foram unidades em único *shapefile*. As imagens de satélites foram e ainda são largamente utilizadas para este fim, intrínseco a essa metodologia a presença de erros relacionados à presença de diferentes escalas espaciais e temporais (SOUZA e LUNA, 2010).

### 3.2.2 Delimitação da linha de costa

Os indicadores de linha de costa são definidos como referenciais utilizados para monitorar a evolução espaço-temporal daquela. Dentre os utilizados, destacam-se a linha que separa a região seca e úmida, perceptível pela diferença de tonalidade (BOAK e TURNER, 2005; SOUZA e LUNA, 2010; ABREU e ABREU NETO, 2013; PRUDÊNCIO et al. 2019; BARROS et al. 2021) que é o mais utilizado, a base de falésias (BOAK e TURNER, 2005), a Linha de Vegetação (LV) (BOAK e TURNER, 2005; CONTI e RODRIGUES, 2011; RIBEIRO et al. 2013) e outros mais.

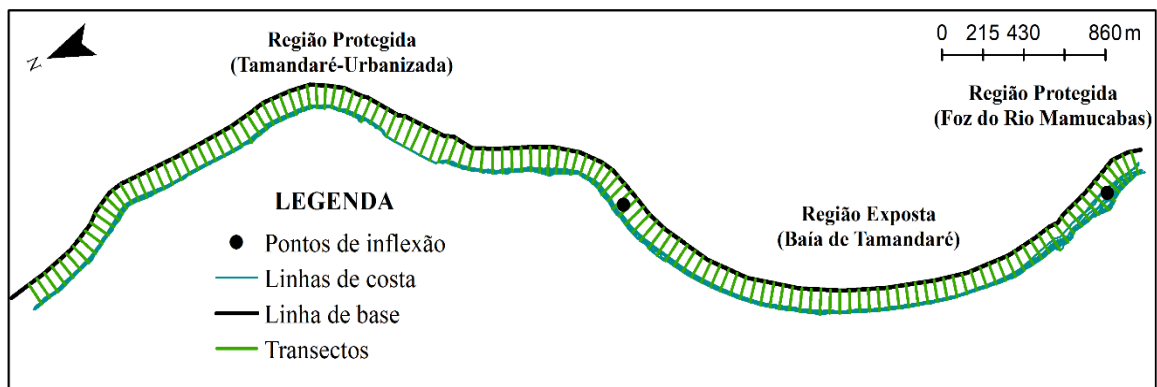
Para esse trabalho, após observações minuciosas, a LV foi adotada, visto que esse se tornou o indicador mais propício para ser trabalhado com imagens de satélites devido à precisão de identificar a linha de vegetação em cada imagem, composta majoritariamente por vegetação de restinga nos subambientes de pós-praia. Em um dado conjunto de dados, no qual as variações da LC sejam superiores a 10 anos, a LV tende a apresentar tendências relativas mais robustas (CONTI e RODRIGUES, 2011). Adicionalmente, em trechos onde ela não estava presente, como nos urbanizados, as edificações foram utilizadas como delimitadoras, dado que esse tipo de artificialização impede a movimentação da LC para além de limites rígidos. A utilização dos indicadores de LC estão espacialmente exibidos na Figura 3.

### 3.2.3 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) e Taxas de erosão

Dentre as ferramentas utilizadas para o cálculo da variação da linha de costa, temos o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), ferramenta criada pelo *United States Geological Survey* (USGS). O DSAS é amplamente utilizado em estudos sobre a evolução costeira por possibilitar, de maneira rápida e bastante eficiente, a análise de modificações daquela (PRUDÊNCIO et al. 2019). O programa utiliza de variados métodos estatísticos para a realização dos cálculos, entre eles o utilizado nesse trabalho, o *Linear Regression Rate* (LRR) que consiste em um cálculo de regressão linear simples, considerando os desvios existentes ao longo de cada linha de costa selecionada (ABREU e ABREU NETO, 2013; PRUDÊNCIO et al. 2019).

Nesse sentido, foram originados 134 transectos perpendiculares à linha de costa com espaçamento aproximado de 50 metros entre eles, utilizando o Datum SIRGAS 2000 (Figura 2). Moreira et al. (2020) destacam que para a utilização desse método são necessárias que todas as linhas de costa vetorizadas estejam disponíveis no momento da análise, como exibe a imagem abaixo (Figura 2).

Figura 2 - Utilização do DSAS para a realização de cálculos de taxas de regressão linear em trechos expostos e protegidos no município de Tamandaré.



Fonte: O autor (2022).

Em seguida, depois dessa análise, foi realizada a subdivisão entre os trechos expostos e trechos protegidos. Para isso, foram traçadas duas linhas paralelas, a primeira tangenciando a concavidade de duas baías (a englobada na área de estudo e outro mais ao norte), e a segunda tangenciando dois pontais, o primeiro representado pela foz do Rio Mamucabas e o segundo pelo pontal mais convexo do trecho protegido. Pontais são convexos em direção ao mar e baías são côncavas em direção mar (ROMINE et al. 2016). A partir disso, traçou-se



uma linha média entre as duas linhas supracitadas. Os pontos exatos onde elas tocaram a LC foram definidos como os pontos de inflexão entre área protegida e área exposta (Figura 2).

A quantidade total de Transectos (T) foi o valor total da extensão da LC analisada. Dessa forma, pôde-se estabelecer a porcentagem de trechos em erosão/recuo – com valores abaixo de 0 (zero), acreção/avanço – com valores acima de 0, e a estabilidade, com valores iguais a 0. Uma vez gerado os transectos, foram criadas linhas de costa ao longo do trecho, em que (a) vermelho representou erosão, quando o indicador utilizado foi a vegetação e recuo, quando o indicador utilizado foi a urbanização; (b) azul representou acreção quando o indicador utilizado foi a vegetação e avanço, quando o indicador utilizado foi a urbanização - indicando avanço das construções sobre o ambiente praial e, por fim, (c) cinza, representou o trecho em estabilidade. Os dados fornecidos pelo DSAS foram, então, subdivididos de acordo com a relação acima, no intuito, por exemplo, de não classificar como acreção o avanço de uma propriedade sobre o sistema praial, o que, de certa forma, mascararia os dados a serem discutidos. A Figura 3 exibe os resultados encontrados.

### **3.2.4 Taxa e distribuição da ocupação e delimitação de Espaços Territoriais Especialmente Protegidos (ETEPs)**

O ordenamento da zona costeira pode ser facilitado pelo uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG), constituindo um recurso fundamental para o desenvolvimento sustentável (PORTZ et al. 2014), além de permitir o estabelecimento de limites legalmente definidos e propor re(organizações) espaciais. Nesse sentido, foi realizado o mapeamento de ocupações para a área de estudo, a partir de um mosaico de imagens construído no *software Agisoft Photoscan*, no âmbito do Projeto Ecológico de Longa Duração Tamandaré Sustentável (PELD Tamandaré Sustentável), com o auxílio de um RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*).

Na imagem, foi plotada a Linha de Costa do Estado de Pernambuco (Decreto Estadual nº 42.010/15) e realizado, com o auxílio da ferramenta *Buffer*, um polígono de 100 metros em direção ao interior do continente, formando a área de análise total. A área foi dividida em dois trechos baseados na subdivisão apresentada no tópico 2. 3. Em virtude da ausência de ocupações e a presença majoritária de Áreas Protegidas, o trecho protegido na Foz do Rio Mamucabas, para a análise referente a este tópico, foi integrado ao trecho exposto correspondente à Baía de Tamandaré. Dessa forma, foram estabelecidos apenas dois sub-grupos, o trecho exposto (Baía de Tamandaré + Foz do Rio Mamucabas) e o trecho protegido (Tamandaré-Urbanizado).

Para isso, foram separadas classes, que variaram entre os dois trechos. O trecho exposto conteve: (i) ocupação, (ii) área útil, (iii) Centro Nacional de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Marinha do Nordeste (CEPENE), (iv) vias, (v) Área de Preservação Permanente (APP) de restinga, de curso d'água e de manguezais, (vi) Rio Mamucabas e (viii) ambiente praial. Para o trecho protegido foram: (i) ocupação, (ii) área útil, (iii) galerias fluviais, (iv) vias, (v) APPs de restinga, (vi) vegetação e (vii) ambiente praial.

Uma vez escolhida as classes a serem mapeadas, suas respectivas áreas foram contabilizadas em m<sup>2</sup>, a partir da criação de *shapefiles* de polígonos. Ao final, a área total correspondente a cada uma delas foi relacionada com a área total de cada um dos polígonos, estabelecendo assim, suas respectivas taxas. A taxa de ocupação, todavia, foi aferida de acordo com a área útil, diferente das demais. A área útil foi considerada como as regiões em que não haviam ocupações e aquelas que não fossem trechos legalmente protegidos, restando para análise as que estavam dentro de limites visuais (ex: cercas e muros), mesmo que fosse em trechos onde o parcelamento, em teoria, não poderia ser realizado (e. g. loteamentos próximos ao ambiente praial). As vias foram consideradas como aquelas por onde circulam automóveis e pessoas (ex: calçadas). No trecho exposto, para fins de cálculos de porcentagem, as APPs de Manguezais e de Cursos d'água foram unidas em apenas uma classe, junto com o ambiente praial.

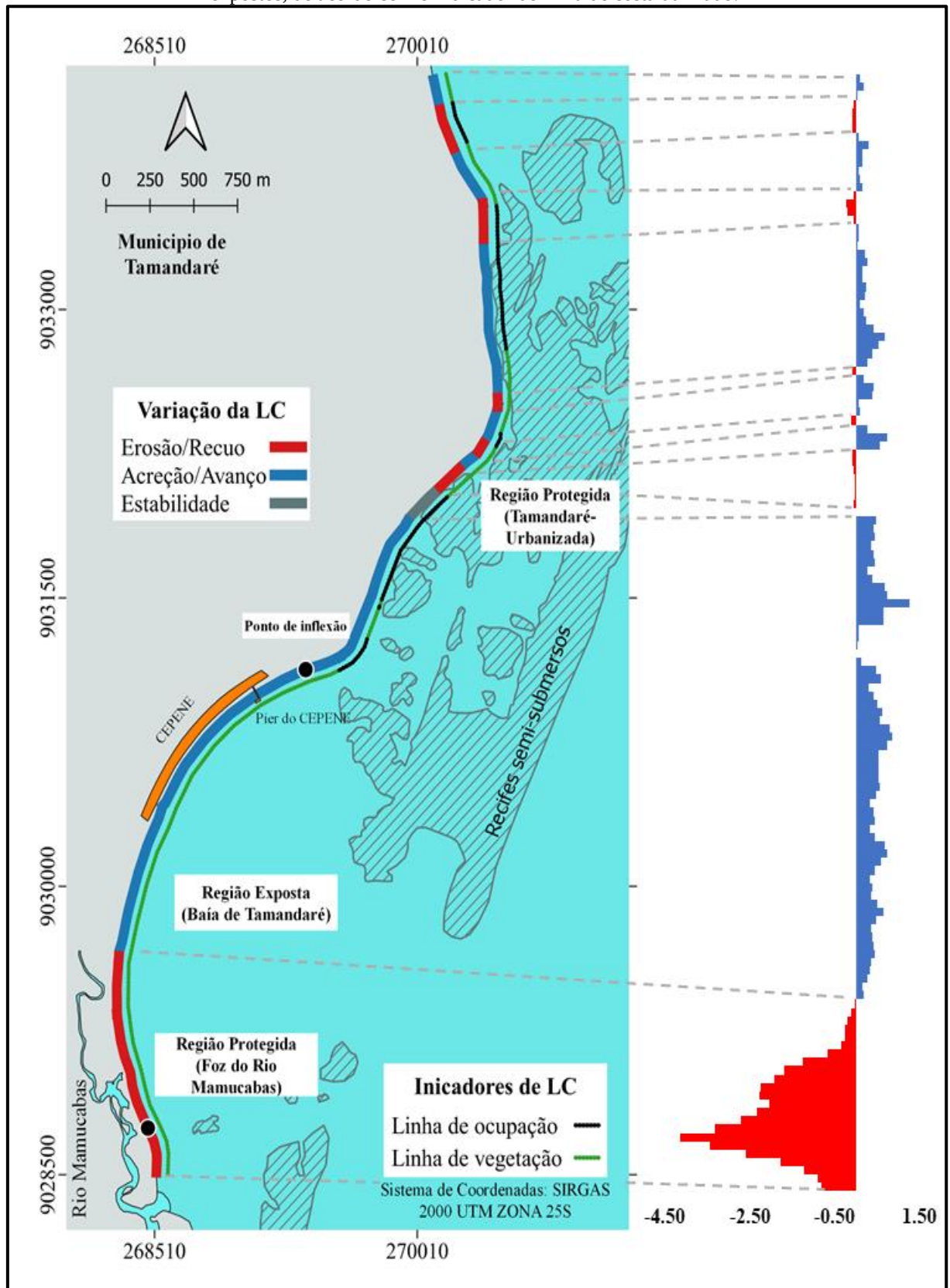
Foram plotados espaços territoriais especialmente protegidos (Art. 225, §1º, III da CF/88), como já mencionado, com o intuito de verificar o estágio atual de efetividade das legislações ambientais. Embora existam diversas legislações infraconstitucionais e infralegais que venham a legislar sobre o tema, nesse trabalho, em especial, focamos nas APPs de cursos d'água, de restingas e de manguezais e nas UCs presentes e, quando pertinentes, em outras legislações complementares.

Considera-se APP, tanto em zonas rurais quanto urbanas: I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: [...] VI - as restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues e VII - os manguezais, em toda a sua extensão (Art 4º, Lei Federal nº 12.651/12). Em complemento, a Resolução CONAMA 303/2002 também versa sobre APPs, regulamentando as de restingas, por exemplo “a) em faixa mínima de trezentos metros, medidos a partir da linha de preamar e b) em qualquer localização ou extensão, quando recoberta por vegetação com função fixadora de dunas ou estabilizadora de mangues” (Art. 3º, inciso IX, Conama 303/02).

### 3.3 RESULTADOS

Foram gerados 134 transectos com uma taxa média geral de variação da LC de -0,02 m/a. Destes, 41 apresentaram erosão/recuo (30,6%), tendo como taxa média -0,92 m/a e valor máximo de -4,15 m/a. Obteve-se 93 (69,4%) de transectos em acreção/avanço, tendo como taxa média 0,38 m/a e valor máximo de 1,26 m/a (Figura 3). Em seguida, os resultados estão subdivididos por trechos expostos e protegidos, de acordo com o descrito na metodologia e, além disso, os resultados de erosão/recuo e acreção/avanço também estão.

Figura 3 - Variação da Linha de Costa no Município de Tamandaré, considerando os trechos protegidos e expostos, de acordo com o indicador de linha de costa utilizado.



Fonte: O Autor (2022).

### 3.3.1 Trechos expostos (Baía de Tamandaré)

Nesse trecho, foram gerados 55 transectos. Destes, 18 (32,72%) estão em erosão, tendo -1,62 m/a como a média das taxas de erosão, e 37 (67,28%) estão em acreção com uma média das taxas de acreção de 0,49 m/a. A taxa de variação da LC geral neste trecho foi de -0,20 m/a. O trecho mais ao sul, próximo a foz do Rio Mamucabas, apresentaram os valores negativos (em erosão) e ao norte, valores positivos (acreção). Não foram contabilizadas taxas de recuo e nem avanço de ocupações, uma vez que o indicador utilizado foi apenas o da vegetação (Figura 3).

### 3.3.2 Trechos protegidos

Já nos trechos protegidos, englobando a Foz do Rio Mamucabas e os trechos urbanizados ao norte, foram gerados 79 transectos, apresentando 22 (27,85%) em erosão/recuo, tendo -0,38 m/a como a média, e 57 (72,15%) em acreção/avanço, com uma média de 0,30 m/a. A taxa de variação da LC geral foi de 0,11 m/a. O trecho mais erosivo está ao sul, imediatamente na margem esquerda da foz do Rio Mamucabas. Abaixo, os valores estão subdivididos em dois trechos protegidos, o primeiro adjacente à foz do Rio Mamucabas e o segundo após o CEPENE, nos trechos já urbanizados. Para a gestão dos recursos costeiros, é importa frisar que a identificação de “pontos críticos” é mais valiosa do que uma média de todas as taxas para uma dada região (ROMINE e FLETCHER, 2013).

#### 3.3.2.1 Foz do Rio Mamucabas

Foram gerados 5 transectos nesse trecho. Todos foram caracterizados como erosivos, tendo como uma média geral -1,46 m/a, sendo que transectos em acreção não foram observados. Além disso, não foram observadas taxas de recuo de ocupações, uma vez que, assim como o trecho exposto (Baía de Tamandaré), o único indicador utilizado foi a LV.

#### 3.3.2.2 Trecho Urbanizado – Tamandaré

Diferentemente dos trechos anteriormente citados, este apresentou um maior grau de complexidade, sendo gerados 74 transectos. Desses, 30 (40,54%) foram classificados como em acreção, 26 (35,14%) em avanço de construções, 3 (4,05%) em erosão e 8 (10,81%) em

recoo das construções, com taxas médias de 0,39 m/a, 0,22 m/a, -0,10 m/a e -0,09 m/a, respectivamente. No geral, a taxa de variação da LC para o trecho foi de 0,23 m/a. Os indicadores utilizados variaram entre a LV e a urbanização.

Além disso, 7 (9,46%) foram classificados como estáveis, presentes exclusivamente entre os dois primeiros pontais do setor protegido. O indicador de LC utilizado foi uma via pavimentada, que não sofreu alterações no período analisado, sendo, portanto, considerado uma variação igual a 0.

### 3.3.3 Mapeamento e distribuição de ocupações em regiões expostas e protegidas

Quanto aos aspectos quantitativos, o polígono de ocupação apresentou aproximadamente  $\frac{1}{4}$  da área útil do setor exposto, enquanto no setor protegido esse número chegou a mais que a metade. As vias estão quatro vezes mais presentes neste último em detrimento do primeiro, enquanto a vegetação de restinga apresenta  $\frac{1}{4}$  de todo o polígono do setor exposto e no setor protegido esse número é de aproximadamente 6% (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados quantitativos relacionados à ocupação, à delimitação de ETEPs e outras categorias, subdividido em trechos expostos e protegidos.

| Região Exposta              |                        |       | Região protegida            |                        |       |
|-----------------------------|------------------------|-------|-----------------------------|------------------------|-------|
| Classes                     | Área (m <sup>2</sup> ) | %     | Classes                     | Área (m <sup>2</sup> ) | %     |
| Área útil                   | 52556,993              | 15,70 | Área útil                   | 191884,766             | 61,52 |
| <i>Ocupação</i>             | 13410,561              | 25,52 | <i>Ocupação</i>             | 114358,887             | 59,60 |
| <i>Passível de ocupação</i> | 39146,432              | 74,48 | <i>Passível de ocupação</i> | 77525,879              | 40,4  |
| Vias                        | 10802,658              | 3,28  | Vias                        | 37468,567              | 12,02 |
| CEPENE                      | 55750,263              | 16,66 | Vegetação                   | 2033,504               | 0,65  |
| Rio Mamucabas               | 19815,109              | 5,92  | Galerias fluviais           | 933,851                | 0,3   |
| APP de restingas            | 85341,484              | 25,5  | APP de restingas            | 19494,120              | 6,25  |
| Outros*                     | 110390,12              | 32,99 | Outros**                    | 60111,422              | 19,27 |
| Polígono total              | 334656,627             | 100   | Polígono total              | 311926,230             | 100   |

Fonte: O Autor (2022)

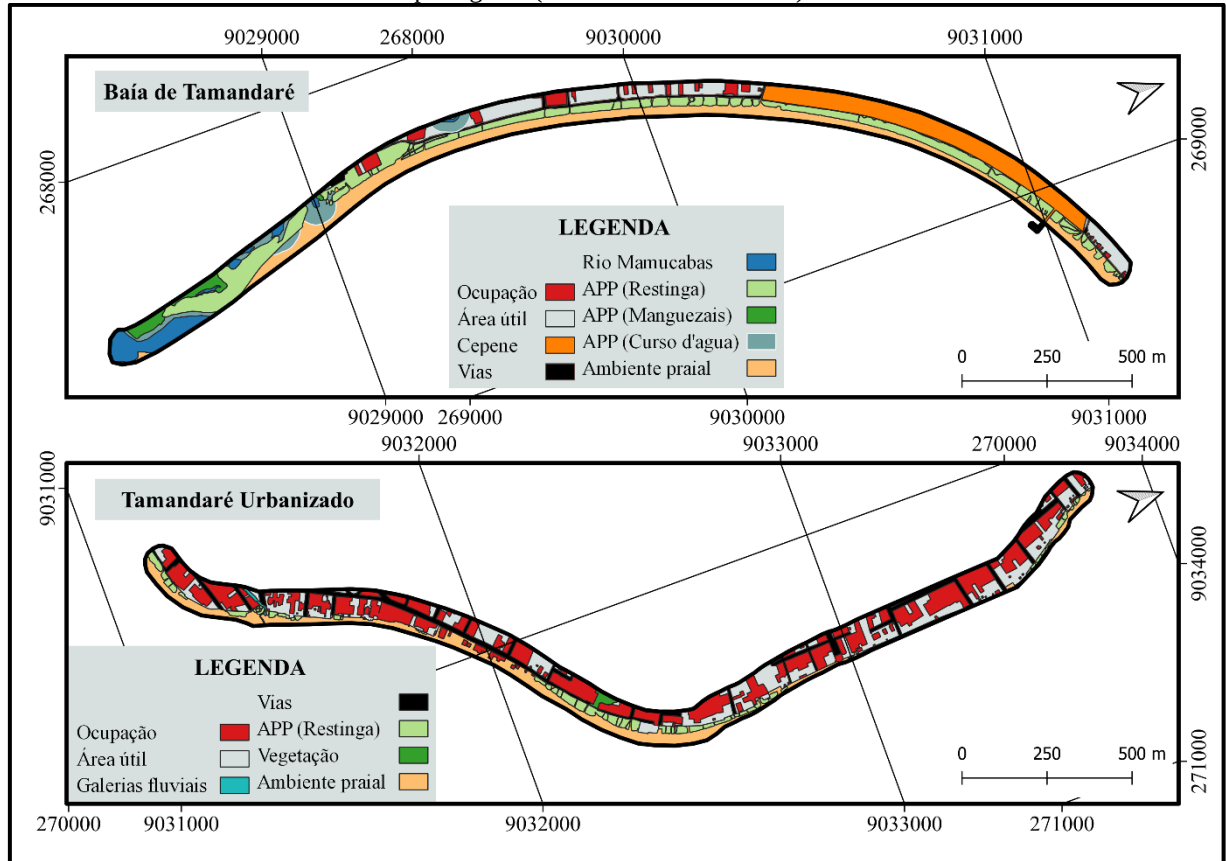
\*Classes referente às APPs de Cursos d'água e de manguezais, e ao ambiente praial.

\*\*Classe referente ao ambiente praial.

Quanto aos aspectos qualitativos, na região exposta, as ocupações estão localizadas a retaguarda da vegetação de restingas, de forma espaça. Essas, apresentam-se na forma de um cordão contínuo paralelo à linha de costa, com pequenas aberturas perpendiculares, sinalizando a presença de trilhas de acesso à praia. Ao sul estão bem preservadas, porém, à medida que se aproximam de ocupações se tornam parcialmente descaracterizadas, em especial, após o píer do CEPENE. As vias, por sua vez, são escassas, contabilizando apenas

uma com ramificações de acesso, construídas de material arenoso. Outros ETEP's, com exceção das APPs de restingas, estão exclusivamente localizadas ao sul (Figura 4).

Figura 4 - Distribuição de classes, em especial a ocupação e APPs, entre trechos expostos (Baía de Tamandaré) e protegidos (Tamandaré-Urbanizado).



Fonte: O Autor (2022).

No trecho protegido, de maneira geral, a ocupação está mais próxima da linha de costa e, por vezes, sobre esta. Mais ao norte, é possível perceber, todavia, que embora a ocupação esteja mais interiorizada, os limites dos loteamentos ainda estão sobre a linha de costa, porém, não necessariamente com a presença de estruturas rígidas. Tem-se, por exemplo, áreas de lazer, como os jardins. Além disso, após o setor central não é possível observar faixa de praia, uma vez que o limite adotado (linha de preamar estadual) está muito próximo das ocupações. Em relação às restingas, apresentam-se de forma espaça, sem larguras homogêneas, com dimensões reduzidas e, por vezes, no interior de propriedades privadas. Nessa situação, parte delas foram suprimidas e/ou substituídas. Ainda, foram mapeadas duas classes: uma referente a uma galeria pluvial próxima ao primeiro pontal e outra referente a uma classe de vegetação entre quarteirões urbanizados, que foi não foi possível a identificação (Figura 4).

### 3.4 DISCUSSÃO

Os resultados referentes à variação espaço-temporal da LC mostraram tendências de acreção/avanço e erosão/recuo de forma heterogênea ao longo do trecho analisado, em especial, dentro subtrecho protegido urbanizado. Abaixo, tendências serão discutidas de acordo com cada trecho e, quando possível, serão estabelecidas relações entre eles.

No trecho protegido correspondente a Foz do Rio Mamucabas foi observado apenas taxas erosivas, tendo a linha de vegetação como único indicador utilizado (Figura 3). As condições hidrodinâmicas do rio associadas às taxas de erosão indicam que o trecho é controlado pelos processos dinâmicos inerentes àquele. O fluxo de rios, ao desaguar no mar, são capazes de alterar a circulação lateral e influenciar na distribuição sedimentar próximo a desembocadura. Komar (1973) cita, como exemplo, a função de espigão hidráulico exercidos pelos rios, influenciando na deposição a barlar e erosão a sotamar. Adicionalmente, Moraes et al. (2008) abordam que bancos submersos existentes em fozes de rios podem criar barreiras físicas ao trânsito litorâneo de sedimentos e provocar erosão à imediatamente a jusante do fluxo. Em Camocim, no Ceará, por exemplo, foi constatada erosão em todas as desembocaduras analisadas a sotamar, isto é, na margem esquerda dos rios (FERRAPEIRA NETO e MORAIS, 2014).

Foram observados, ainda, a presença de indicadores de erosão, como raízes expostas de plantas e a erosão da vegetação de restingas (Figura 5-a e 5-b). Martins et al. (2016) definiram como principal geoindicador de erosão costeira no litoral sul de Pernambuco a presença de árvores na face de praia ou com raízes expostas, além de escarpas erosivas nas dunas frontais. Adicionalmente, ao estudar sobre vulnerabilidade costeira na região, Mallmann e Araújo (2010) classificaram o trecho com vulnerabilidade baixa, de acordo com dados coletados entre a década de 60 e 2006. A ausência de urbanização, somado aos ecossistemas relativamente bem preservados podem ter contribuído para essa classificação. Os resultados comparativos mostram, portanto, que o trecho apresenta alto grau de dinamismo e que suas condições de erosão/acreção podem variar em escalas decadais. No período analisado, por exemplo, foi perdido aproximadamente 25 metros de faixa de praia, indicando, portanto, a necessidade de não ocupações no local, sobretudo quando se tratam de ocupações próximas à LC.

Em seguida, a Baía de Tamandaré apresentou taxas de erosão ao sul e acreção ao norte, caracterizada, então, como uma baía instável, por indicar erosão em uma extremidade e acreção em outra (SILVA et al. 2015). Ao estudarem variações da LC em ilhas do Havaí,



Romine et al. (2016) concluíram, de maneira geral, taxas predominantes de acreção em baías (acreção ao sul e estabilidade ao norte) e erosão em pontais. Para a Baía de Tamandaré, o padrão foi observado parcialmente. Em termos de extensão, os trechos em acreção apresentaram mais que 2/3 do comprimento total, quando comparado com os de erosão. Todavia, a taxa média geral encontrada foi negativa, indicando que a magnitude dos valores de erosão dos transectos sob a influência do Rio Mamucabas são consideravelmente maiores que os de acreção. Dessa forma, valores positivos a jusante não foram suficientes para compensar a erosão concentrada mais ao sul da baía.

Além disso, condicionantes de âmbito local podem alterar padrões de erosão/acreção. Nesse sentido, fenômenos erosivos, como os que acontecem na Foz do Rio Mamucabas e adjacências, são capazes de disponibilizar sedimentos ao meio. Os sedimentos são, então, retrabalhados pela ação das ondas e carregados para setores à jusante por meio de correntes costeiras (CÂMARA et al. 2021). O fluxo preferencial S-N da corrente de deriva litorânea local, então, pode contribuir para a progradação de trechos a partir da centralidade da baía, em especial, ao norte. Adicionalmente, a atuação de processos hidrodinâmicos pontuais, como o píer do CEPENE, atua na diminuição hidrodinâmica, influenciando no processo de deposição sedimentar e, por conseguinte, na progradação da LC (Figura 3). A ausência de ocupação sobre o ambiente praiial, ainda, favorece processos sazonais de sedimentações e o aumento da vegetação de restinga no trecho.

O trecho protegido urbanizado, diferente dos demais, apresentou-se como o mais heterogêneo. A média geral encontrada remete a um cenário genérico de análise para o trecho, o que justifica a subdivisão nas classes anteriormente definidas. Os trechos em erosão e em recuo estão associados majoritariamente aos pontais presentes na região, especificamente aos dois mais ao norte, e à ocupação presente sobre eles (Figura 3 e Figura 4). Enquanto o rio é o principal agente que dita os processos referentes ao primeiro trecho protegido, a presença dos recifes e as atividades antrópicas (ex: ocupação irregular e supressão de restingas) são os agentes mais atuantes nesse trecho.

Sabe-se que os recifes atuam na dissipação das ondas (MUEHE, 2001; MALLMANN et al. 2014; COSTA et al. 2016; SIEGLE e COSTA, 2017; MANSO et al. 2018) e que, portanto, conferem uma maior proteção costeira relativa à retaguarda. Todavia, estudos mais recentes abordam que trechos protegidos estão com tendências mais erosivas quando comparados com trechos expostos (FLETCHER et al. 2012; ROMINE et al. 2016; SIGLE e COSTA, 2017; SUMMERS et al. 2018). Nessa perspectiva, encaixa-se o papel antrópico. Historicamente, optou-se por ocupações mais próximas à LC em trechos protegidos, devido à

busca por condições “mais brandas”, como águas mais calmas para o lazer e a prática de esportes náuticos. Além disso, Osorio-Cano et al. (2019) acrescentam que os serviços prestados pelos recifes ao redor do mundo foram responsáveis, inclusive, pelo incremento à indústria do turismo. Como consequência, no âmbito econômico, houve uma maior valorização desses espaços, a exemplo da elevação do preço médio do m<sup>2</sup>.

As taxas de ocupação em setores protegidos são maiores que nos expostos, um padrão, sem dúvidas, auxiliado pela falta de dados sobre mudanças históricas da LC (SUMMERS et al. 2018) e anuência do Poder Público. Este direcionou recursos para a melhoria da infraestrutura, como a pavimentação de vias e melhorias de acessos à praia (embora este último seja de forma parcial), sem controlar com eficácia o processo de evolução da ocupação, que aconteceu de forma rápida e desordenada para a região, em especial, sobre os pontais e em trechos de pós-praias e estirâncio.

O avanço das ocupações e parcelamentos em direção ao mar gera consequências: o impedimento de processos naturais quanto ao fluxo de sedimentos (ARAÚJO et al. 2007; MORAIS et al. 2008; MALLMANN e ARAÚJO, 2010; MENEZES et al. 2018), a supressão da vegetação de restingas, a artificialização da linha de costa (Figura 5-c) e a privatização de bens públicos (ex: terrenos de marinha e faixas de praia), além de originar e/ou acentuar os processos erosivos. Estes últimos ocasionam diretamente a destruição do patrimônio edificado público ou privado, a destruição de ecossistemas e acentua a decadência do turismo. Vale ressaltar que as restingas funcionam como retentora de sedimentos (MENEZES et al. 2018) e que, portanto, a sua remoção implica no desequilíbrio sedimentar. Mesmo protegida por leis, essa vegetação ainda é constantemente ameaçada por atividades humanas (PORTELLA et al. 2001). Menezes et al. (2018) destacam que a retirada de vegetação natural, a exemplo das restingas, foi um dos responsáveis por mudanças morfológicas no município de Goiana, no litoral norte de Pernambuco, que ocasionou a retração da linha de costa.

Para esse trecho foi observado que mais de um terço de seu comprimento está associado à vegetação de restingas, conferindo, mesmo que mínimos, valores progradantes (Figura 3). Todavia, percebeu-se uma redução temporal dessa vegetação no ambiente praial, à medida que as ocupações as substituíam, além de dar lugar a outros tipos de vegetação. Esse dado é discutido mediante resultado que indica que aproximadamente 1/3 do trecho está em avanço (de construções), isto é, ao longo do tempo parte da vegetação de restinga presente foi sendo incorporada ao patrimônio privado e, conseqüentemente, foi retirada da dinâmica sedimentar (Figura 5-c). Santos (2007) destaca que essa vegetação vem sendo descaracterizada para atender à demanda proveniente de uma ocupação que objetiva lucrar,

em desacordo com a legislação ambiental. Segundo Araújo et al. (2007) a maioria da ocupação no ambiente praial no litoral sul de Pernambuco se deu através da atividade de veraneio, especificamente para Tamandaré, a partir da década de 80, onde a atividade de fato começou a se desenvolver.

Figura 5 - (a) representa a exposição, no estirâncio, de raízes de plantas erodidas pela ação de ondas; (b) exhibe a atuação de processos erosivos na base da vegetação, danificando-as, ambas localizadas no trecho protegido sob influência do Rio Mamucabas e (c) mostra a artificialização da LC por obras rígidas, o parcelamento e supressão da vegetação de restingas, no segundo pontal, no trecho urbanizado.



Fonte: O Autor (2022).

Sobre a artificialização do litoral, essa atividade pode levar ao estreitamento da faixa do ambiente praial porque a linha d'água continua a recuar em direção a LC fixa, podendo ainda, afetar a disponibilidade de sedimentos (ROMINE e FLETCHER, 2013; FLETCHER et al. 2012). Áreas com maior influência antrópica, por exemplo, estão relacionadas com

maiores intensidades de erosão costeira (MARTINS et al. 2016). Nesse sentido, esse trecho foi classificado com grau de vulnerabilidade muito alto (MALLMANN e ARAÚJO, 2010), além de ser caracterizado como uma área crítica por Araújo et al. (2007) no que diz respeito às características referentes à ocupação.

Os recifes estão diretamente relacionados à dinâmica sedimentar (SANDERSON, 2000; MANSO et al. 2018), por exemplo, influenciando no acúmulo de sedimentos na zona de sombra (SIEGLE e COSTA, 2017) e, por conseguinte, na estabilidade do trecho (MARTINS et al. 2019). Costa et al. (2016) e Siegle e Costa (2017), abordam, todavia, que a eficiência na atenuação de ondas por recifes é altamente dependente do nível o mar e da saúde dos recifes, implicando que variações mínimas no aumento da profundidade sobre os recifes afetaria a altura das ondas. Ainda, processos como o branqueamento de corais em associação com a acidificação dos oceanos podem produzir impactos negativos significativos na capacidade dos recifes de corais em mitigar os efeitos de perigos costeiros (OSORIO-CANO et al. 2019).

Logo, uma combinação de déficit sedimentar, devido à presença de ocupações em trechos de praia no trecho protegido em Tamandaré e a contínua supressão da vegetação de restinga, associadas à degradação dos recifes e aumento da profundidade sobre eles pode resultar numa diminuição da capacidade de atenuação das ondas pelos recifes. Juntos, os processos citados podem contribuir para a geração e/ou intensificação de sérios problemas relacionados à erosão costeira no trecho; o que, de fato, já vem acontecendo (Figura 5). Nesse sentido, Siegle e Costa (2017) concluíram que ondas mais energéticas podem atingir zonas de sombra de forma gradual à medida que o nível do mar continua a subir. Nessa linha, a ausência de espaço de acomodação (Figura 4) aponta que o ambiente não possui limites adequados para se adaptar a possíveis alterações do meio, mesmo que mínimas.

Além disso, todas as explicações acima convergem para cenários de tendências de retilinização do litoral, conforme descrito por Siegle e Costa (2017). Os autores, em estudos na região de Abrolhos-BA, propuseram que regiões localizadas a retaguarda dos recifes são mais fortemente afetadas pelo aumento do nível do mar e maiores efeitos energéticos provenientes da ação de ondas, culminando em processos de transporte sedimentar, levando esses trechos a erosão. Em Tamandaré, esse processo é intensificado pelo avanço da ocupação sobre o ambiente praiial, massivamente presente nos pontais (Figura 4).

Na Baía de Tamandaré, por outro lado, o processo de ocupação é bastante distinto. As ocupações estão mais distantes da LC, sem infraestrutura solidificada e, por associação, problemas de erosão relacionadas a perda de patrimônio não foram identificados. Summers et

al. (2018) caracterizou um cenário similar para o Havaí, atribuindo a essa diferença, em especial, a construção de uma via mais próxima ao litoral na região protegida, facilitando e estimulando as ocupações neste trecho em detrimento de trechos expostos.

Embora acredita-se que esse padrão seja seguido ao longo de trechos similares na costa brasileira, em Tamandaré, temos algumas explicações de abrangência local e regional que merecem atenção. Na Baía, a ocupação se deu de forma relativamente tardia e concomitantemente a isso, legislações mais atuais vieram a disciplinar o uso do espaço costeiro, por exemplo as de âmbito municipal, como a Lei de Uso e Ocupação do Solo, o Plano Diretor e o Projeto Orla. Outras, em especial, vieram a instituir Áreas Protegidas.

Nesse sentido, a criação do PNMFTams, que abrange um trecho da região da baía (não abrange o trecho protegido), teve como um dos objetivos a ordenação do uso e a preservação dos ambientais naturais costeiros e marinhos da área pública inserido em seus limites (incisos I e II, art. 1, Decreto Municipal nº 013/03). Vale ressaltar que os Parques são de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites serão desapropriadas (§1º, art. 11, Lei Federal nº 9985/00). Além disso, as instituições das APAs, a dos Corais e a de Guadalupe, em especial a última que abrange uma maior porção territorial do município, tem como objetivos básicos disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (Art. 15, Lei nº 9985/00).

Adicionalmente, há a presença de outros trechos legalmente protegidos na baía, como APPs de manguezais, de cursos d'água e de restingas, disciplinados pelo Código Florestal e por algumas Resoluções Conama (e.g. 303/02, que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de APPs). A intervenção ou a supressão da vegetação nativa em APPs, por exemplo, somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental (Art. 8, Lei nº 12.651/12), e no caso de restingas somente por utilidade pública (§1º, art. 8, Lei nº 12.651/12), devendo a ocupação e exploração da ZC se dá apenas de modo ecologicamente sustentável (Art. 11, Lei nº 12.651/12). Nessa mesma linha, o Poder Público local, ainda adiciona proteção aos mangues e cursos d'água além da faixa de preservação definida pela legislação federal, em 15 metros, em zonas onde a ocupação urbana deve ser impedida e/ou desestimulada (Leis Municipais nº 188/02 e 336/11, respectivamente).

Percebe-se, então, que a presença de UCs e outros trechos legalmente protegidos desestimulam a presença de ocupações irregulares e práticas não sustentáveis. Câmara e Rodrigues (2021), nessa linha, concluíram que a presença de uma UC do tipo integral na região leste do estado cearense foi responsável pela proteção às feições naturais presentes

(dunas e falésias), além de dificultar o estabelecimento de ocupações em trechos proibidos, como em Áreas de Preservação Permanente.

Todavia, na contramão do exposto, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) revogou a resolução 303/02 citada anteriormente, o que acarretaria, dentre outras consequências, por exemplo, sérios danos às restingas, uma vez que seus limites de preservação estão regulamentados nesta resolução, a saber, nas alíneas a) e b), inciso IX, art. 3. Através de uma medida cautelar na Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental (ADPF) 748 sobre o tema, a decisão foi revogada e, posteriormente, o plenário da Suprema Corte a referendou. Visto a importância da temática, a Ministra Rosa Weber aborda, em sua decisão, que todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, assegurado pelo Art. 225 da Constituição Federal.

É importante ressaltar, por fim, o cuidado em analisar e classificar os resultados oriundos de variações de LC de um dado trecho. Luijendijk al. (2018), por meio de um trabalho de caráter global, estabeleceram 6 classes relacionadas as taxas de acreção, estabilidade ou erosão (e subtipos), apresentando, por exemplo, -0,5 e +0,5 m/a como um intervalo de estabilidade. Porém, ao confrontar com os dados previamente apresentados e discutidos neste trabalho, observou-se que por essa classificação aproximadamente 70% da área de estudo (4600 metros de LC) estariam com tendências de estabilidade, incluído grande parte do trecho protegido.

Resultados como esses, em praias protegidas por recifes, podem dar a falsa sensação de segurança. Para a região de Tamandaré, onde a artificialização no trecho protegido é grande, nos leva a concluir que quaisquer alterações de ordem natural podem contribuir para a geração de impactos, o que, de fato, já vem acontecendo. Embora gestores de recursos costeiros possam se beneficiar do conhecimento adquirido de mudanças históricas a LC (ROMINE e FLETCHER, 2013), os mal-intencionados podem utilizar do pretexto de “segurança” para criar e atualizar leis que abordem sobre limites e ocupação, de forma a regredir, indo de encontro, inclusive, ao Princípio do Não Retrocesso Ambiental. Nesse sentido, é de fundamental importância a criação de intervalos aceitáveis de classificação para praias protegidas por recifes.

### **3.4.1 Gerenciamento costeiro em praias protegidas por recifes**

Praias protegidas por recifes, como discutidas ao longo deste trabalho, estão presentes em grandes extensões do litoral nordestino (5° - 10° de latitude) (COSTA et al. 2016).

Tamanha é a importância dessas feições, que ainda no século passado, notou-se a necessidade de preservação dos recifes, sendo a APCC a primeira UC federal a protegê-los (FERREIRA e MAIDA, 2006). Nessa linha, legislações infraconstitucionais versaram também sobre o tema, como o Decreto 6514/08, em seus arts. 38 e 39, que estabelecem multas diferenciadas para a importação ou exportação de espécies aquáticas, bem como a introdução (...) em regiões que possam impactar corais e quanto a exploração destes, respectivamente. Além disso, a Lei nº 9605/98, estabelece a responsabilização penal para aqueles que por ventura fundeiem embarcações ou lancem detritos de qualquer natureza sobre corais, devidamente demarcados em carta náutica (Inciso III, art. 33).

De um modo genérico, dessa forma, temos o reconhecimento da importância ecológica dos recifes de coral em legislações. Porém, não é possível observar citações sobre seus efeitos na costa (retaguarda e adjacências) de forma direta, indicando que os achados científicos relativamente recentes ainda não foram incorporados no arcabouço jurídico que versam sobre o gerenciamento costeiro. A exceção do exposto acima é tratada na Lei nº 14.258/2010, em seu Art. 9, que inova ao abordar que não será permitido edificações em áreas de tombolos e saliências (...) que tenham resultado do crescimento natural da costa (...) com fins a manutenção do suprimento sedimentar da praia; e no Decreto 5.300/04, que regulamenta o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Lei nº 7.661/88), no inciso VI, §1º, Art. 23, que aborda sobre critérios ao estabelecer os limites da orla marítima, entre eles, a observação de áreas sujeitas à erosão, como pontais e áreas próximas a desembocaduras fluviais, por apresentarem alta instabilidade. Dessa forma, temos que ambas as legislações se referem apenas indiretamente sobre o papel dos recifes na costa, uma vez que esses são responsáveis pela formação de saliências na costa, por exemplo (COSTA et al. 2016).

Todavia, embora legislações a nível federal e estadual versem sobre o tema, mesmo que de forma indireta, a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Tamandaré (Lei Municipal Nº 188/02) não o faz. Na verdade, aborda no caput do Art. 151 que novos parcelamentos em áreas costeiras, serão consideradas não parceláveis e não edificantes em uma faixa de 75 (setenta e cinco) metros de largura em toda a extensão das praias, contada a partir da preamar máxima atual. Disso, conclui-se que a lei considera os processos costeiros atuantes como homogêneos, sem distinguir limites não parceláveis/ocupáveis para regiões protegidas (ex: pontais) e baías, sem, ainda, apontar os critérios adotados para a definição da metragem citada. Nesse sentido, foi construído o Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima de Tamandaré (Projeto Orla – Tamandaré) em 2004, consoante ao Art. 34 do Decreto Federal nº 5300/04. Embora tenha sido importante na identificação, na caracterização e na discussão

sobre as problemáticas presentes na região, também não veio a abordar de forma direta a relação citada nesse parágrafo.

Nesse sentido, é importante a definição de critérios para a fixação de limites de não-construções na costa (ARAÚJO et al. 2007), levando em consideração tendências erosivas ou progradacionais anuais, os efeitos da elevação do nível relativo do mar (MUEHE, 2001), além da presença de estruturas capazes de influenciar nos processos costeiros, como os recifes costeiros. Além disso, é indispensável incorporar os achados científicos recentes, que corroboram para tratar praias protegidas por recifes como ambientes merecedoras de uma devida atenção, sobretudo, porque esses trechos já se encontram com ocupações consolidadas e com tendências à erosão, em especial as saliências. Muehe (2001), por exemplo, destaca a necessidade de evitar a construção de imóveis em pontais com largura inferior a 150 metros, devido ao risco de erosão e transposição pelas ondas, já que esta largura é insuficiente para o estabelecimento de uma faixa de proteção capaz de observar os efeitos de uma elevação do nível do mar, bem como, aqueles decorrentes de efeitos negativos do balanço sedimentar.

Logo, é urgente a necessidade da atualização das legislações que versam sobre o gerenciamento costeiro municipal, através do estabelecimento de critérios científicos na escolha de recuos para a não construção e parcelamentos do solo, como os aqui discutidos; investimentos crescentes em fiscalizações que impeçam a privatização de bens públicos e, consequentemente os avanços das edificações sobre o sistema praial, consoante ao Art. 10 da Lei Federal nº 7.661/88. E, além disso, sugere-se a internalização de sujeições presentes em outros documentos normativos, como o Plano de Manejo da APACC, além da necessidade da elaboração dos Planos de Manejo da APAGua e do PNMFTams, uma vez que esses são indispensáveis para uma boa gestão territorial, como apontam Câmara e Rodrigues (2021).

Assim, é essencial garantir que as políticas de gestão sejam eficazes na preservação e proteção dos ambientes costeiros (SUMMERS et al. 2018). Por fim, o monitoramento da evolução da linha de costa é essencial na previsão de mudanças nas praias, em especial em um futuro dominado pela elevação do nível do mar (ROMINE et al. 2013; ROMINE et al. 2016) e devem ser estimulados, inclusive, em uma maior escala temporal para que padrões sejam observados antes da solidificação da ocupação em Tamandaré.



### 3.5 CONCLUSÕES

A presença dos recifes costeiros no litoral de Tamandaré resulta em uma linha de costa caracterizada por uma significativa variação espaço-temporal de erosão/recuo e acreção/avanço entre os trechos expostos e protegidos e dentro de cada um deles. A partir do estabelecimento de análises pontuais e utilização da metodologia DSAS, foi possível identificar os pontos críticos de erosão costeira, como a margem esquerda da Foz do Rio Mamucabas e a erosão/recuo em pontais na região protegida urbanizada, além daqueles em acreção, como na baía de Tamandaré, em especial após o CEPENE, e em trechos onde houveram avanços de ocupações, como no trecho protegido urbanizado. É preciso, todavia, salientar que trechos em acreção não são sinônimos para construções, muito pelo contrário, deve ser estimulada a não ocupação, bem como, a não supressão da vegetação contida.

O padrão de ocupação mostrou-se também heterogêneo. O trecho protegido contém maiores taxas de ocupação e estas mais próximas da LC, associado à presença espaço de restingas, enquanto o trecho exposto apresenta ocupações a retaguarda do cordão de restingas, o que influencia na preservação dessas feições. A presença de Áreas Protegidas (ex: UCs) e a característica tardia de ocupação na baía também influenciaram na baixa taxa de ocupação relativa do trecho exposto, somado a incipiência de infraestrutura pública.

A praia de Tamandaré possui, de maneira geral, um conjunto de leis e normas que fornecem subsídios para o gerenciamento costeiro, associado, por exemplo, à presença de áreas protegidas que conferem maior proteção sobre o uso direto (UC sustentável) e uso indireto (UC integral). Todavia, percebe-se que parte delas foram promulgadas depois de parcelamentos e ocupações já presentes e, além disso, por vezes, conferindo uma “proteção homogênea”, não considerando os efeitos dos recifes a retaguarda. A Baía de Tamandaré, nesse sentido, por possuir características distintas da região protegida no que diz respeito à ocupação, pode ser classificada como de melhor consonância com a legislação em vigência, diferentemente do setor protegido.

Os resultados aqui encontrados e discutidos podem servir como subsídios para os tomadores de decisões em diferentes âmbitos (municipal, estadual e federal), em conjunto ou individualizado, no que concerne à temática do gerenciamento costeiro. Ressalta-se, por fim, a necessidade da continuidade de trabalhos como esses, no intuito de manter a observação dos padrões que envolvem os processos costeiros associados às feições costeiras, como os recifes de coral, além de avaliar continuamente a efetividade das legislações ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. R. M.; ABREU NETO, J. C. Evolução da linha de costa da praia do Iguape, Aquiraz, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 044-053, 2013.
- ARAÚJO, M. C. B.; SOUZA, S. T.; CHAGAS, A. C. O.; BARBOSA, S. C. T.; COSTA, M. F. Análise da ocupação urbana das praias de Pernambuco, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 7, n. 2, p. 97-104, 2007.
- BARROS, E. L.; GUERRA, R. G. P.; FERNANDES, R. P. Variação da linha de costa no litoral leste do estado do Ceará: o caso da RESEX da Prainha do Canto Verde. **Arquivo de Ciências do Mar**, v. 53, n. esp, p. 25-33, 2020.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: A review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1998. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1998, que institui o Plano de Gerenciamento Costeiro. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Decreto nº 597, de 23 de outubro de 1997. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Costa dos Corais, nos Estados de Alagoas e Pernambuco. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para a apuração destas infrações. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- CÂMARA, I. F.; SILVA, R. R. Mapeamento e evolução da ocupação irregular em falésias do litoral leste cearense, Nordeste do Brasil. **Geociências**, v. 40, n. 4, p. 1033-1046, 2021.
- CÂMARA, I. F.; SILVA, R. R.; BARROS, E. L. Caracterização Sedimentológica da Praia de Morro Branco, Litoral Leste Cearense: Uma Análise Espaço-temporal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3788-3803, 2021.

CONAMA. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.

CONTI, L. A.; RODRIGUES, M. Variação da linha de costa na região da Ilha dos Guarás-PA, através de análise de série temporal de imagens de satélites. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 5, p. 922-937, 2011.

COSTA, M. B. S. F.; ARAÚJO, M.; ARAÚJO, T. C. M.; SIEGLE, E. Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology**, v. 253, p. 318-327, 2016.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A. E. G. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 208-215.

FERRAPEIRA NETO, C. A.; MORAIS, J. O. Evolução da linha de costa do município de Camocim, Ceará, Brasil. **Revista Casa da Geografia**, v. 16, n. 2, p. 101-114, 2014.

FERRARIO, F.; BECK, M. W.; STORLAZZI, C. D.; MICHELI, F.; SHEPARD, C. C.; AIROLDI, L. The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. **Nature Communications**, v. 5, n. 3794, p. 1-9, 2014.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil**. Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2006. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil Livro.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/Monitoramento%20dos%20Recifes%20de%20Coral%20do%20Brasil%20Livro.pdf)>. Acesso em: 02/11/2021.

FLETCHER, C. H.; ROMINE, B. M.; GENZ, A. S.; BARBEE, M. M.; DYER, M. D.; ANDERSON, T. R. LIM, S. C.; VITOUSEK, S.; BOCHICCHIO, C.; RICHMOND, B. M. **National Assesment of Shoreline Change: Historical Shoreline Change in the Hawaiian Islands**. 2012. Disponível em: < [https://pubs.usgs.gov/of/2011/1051/pdf/ofr2011-1051\\_report\\_508.pdf](https://pubs.usgs.gov/of/2011/1051/pdf/ofr2011-1051_report_508.pdf)>. Acesso em: 12/12/2021.

KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. 2º Ed. N. J, Prentice Hall, 1973. 544p.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

MALLMAAN, D.; PEREIRA, P.; SANTOS, F.; FAÇANHA, P. Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169-189, 2014.

MALLMANN, D. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Vulnerabilidade física do litoral sul de Pernambuco à erosão. **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 2, p. 130-152, 2010.

- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; PEDROSA, F. J.; MACEDO, R. J.; SILVA, A. C.; GOIS, L. A.; BARCELLOS, R. L.; ARRUDA, S. D. D.; SOARES JUNIOR, C. F. A.; MADRUGA FILHO, J. D. Pernambuco. In: MUEHE, D. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. 1º Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2018. p. 345-379.
- MARTINS, K. A.; PEREIRA, O. S.; ESTEVES, L. S.; WILLIAMS, J. The role of coral reefs in costal protection: Analysis of Beach Morphology. **Journal of Coastal Research**, v. esp, n. 92, p. 157-164, 2019.
- MARTINS, K. A.; PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; GONÇALVES, R. M. Determinação da erosão costeira no estado de Pernambuco através de geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, p. 533-546, 2016.
- MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. S.; GONÇAVES, R. M. Uso de geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira através de sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 1, p. 276-296, 2018.
- MORAES, M. V. A. R.; FREIRE, G. S. S.; MANSO, V. A. V.; COSTA, S. S. L.; PORTELA, J. P. Variações temporais da Linha de Costa do município de Acaraú-Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 981-989, 2015.
- MORAIS, J. O.; PINHEIRO, J. S.; CAVALCANTE, A. A.; PAULA, D. P.; SILVA, R. L. Erosão Costeira em praias adjacentes às desembocaduras fluviais: O caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 8, n. 2, p. 61-76, 2008.
- MOREIRA, T. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A.; PAULA, D. P.; ALVES, D. C. L.; BARROS, E. L.; BENDÔ, A. R. R.; CONCEIÇÃO, T. F. Estudo do comportamento da linha de costa na praia do Icarai (Caucaia, Ceará), a partir dos métodos digital shoreline analysis system e do polígono de mudança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3395-3411, 2020.
- MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da Orla Costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 35-44, 2001.
- NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 2, p. 151-177, 2010.
- OLIVEIRA, M. R. L.; NICOLODI, J. L. A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 1, p. 91-100, 2012.
- OSORIO-CANO, J. D.; ALCÉRRECA-HUERTA, J. C.; MARIÑO-TAPIA, I.; OSORIO, A. F.; ACEVEDO-RAMÍREZ, C.; COSTA, M.; PEREIRA, P.; MENDOZA, E.; ESCUDERO, M.; ASTORGA-MOAR, A.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J.; APPENDINI, C. M.; SILVA, R.; OUMERACI, H. Effects of roughness loss on reef hydrodynamics and costal protection: Approaches in Latin America. **Estuaries and Coasts**, v. 42, p. 1742-1760, 2019.

PEREIRA, S. P.; ARAÚJO, T. C. M.; MANSO, V. A. V. Tropical Sandy Beaches of Pernambuco State. In: SHORT, D. A.; KLEIN, A. H. F. **Brazilian Beach System**. 1º Ed. Switzerland: Coastal Research Library, 2016. p. 251-279.

PERNAMBUCO. Decreto nº 19.635, de 13 de março de 1997. Declara como Área de Proteção Ambiental a região situada nos municípios de Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré e Barreiros. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**.

PERNAMBUCO. Decreto nº 42.010, de 4 de agosto de 2015. Institui a linha de costa da zona costeira de Pernambuco. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**.

PERNAMBUCO. Lei nº 14.258, de 23 de dezembro de 2010. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**.

PORTELLA, D. B.; SANTOS, F. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Morphological and dynamical characterization of Tamandaré Bay, Pernambuco-Brazil. **Tropical Oceanography**, v. 29, n. 1, p. 79-86, 2001.

PORTZ, L.; ROCKETT, G. C.; FRANCHINI, R. A. L.; MANZOLLI, R. P.; GRUBER, N. L. S. Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (SIG) na implantação de planos de gestão no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 3, p. 517-534, 2014.

PRUDÊNCIO, M. C.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Análise da evolução costeira entre os anos de 1984 e 2014 de trecho do litoral oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)**, v. 42, n. 2, p. 189-205, 2019.

RIBEIRO, J. S.; SOUSA, P. H. G. O.; VIEIRA, D. R.; SIEGLE, E. Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia de Massaguaçu (SP), **Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 3, p. 253-265, 2013.

ROMINE, B. M.; FLETCHER, C. A summary of historical shoreline changes on beaches of Kauai, Oahu, and Maui, Hawaii. **Journal of Coastal Research**, v. 29, n. 3, p. 05-614, 2013.

ROMINE, B. M.; FLETCHER, C. H.; BARBEE, M. N.; ANDERSON, T. R.; FRAZER, L. N. Are beach erosion rates and sea-level rise related in Hawaii? **Global and Planetary Change**, v. 108, p. 149-157, 2013.

ROMINE, B. M.; FLETCHER, C. H.; FRAZER, N.; ANDERSON, T. F. Beach erosion under rising sea-level modulated by costal geomorphology and sediment availability on carbonate reef-fringed island coasts. **Sedimentology**, v. 63, n. 5, p. 1-12, 2016.

ROSA, C. N.; BREMER, U. F.; KAMER, G.; PEREIRA FILHO, W.; HILLEBRAND, F. L.; SOUZA, S. F. Linha de Preamar: uma revisão sobre seus conceitos e implicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, p. 849-858, 2018.

SANDERSON, P. G. A comparison of reef-protected environments in western Australia: The central west and Ningaloo coasts. **Earth Surface Process and Landform**, v. 25, n. 4, p. 397-419, 2000.

SANTOS, C. R. Proposta de critérios de ordenamento para a área de influência direta sobre a Área de Preservação Permanente (vegetação de restinga fixadora de dunas) do litoral catarinense: bases para uma gestão costeira integrada. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 7, n. 1, p. 17-32, 2007.

SIEGLE, E.; COSTA, M. B. Nearshore wave power increase of reef-shaped costal due to sea-level rise. **Earth's Future**, v. 5, n. 10, p. 1054-1065, 2017.

SILVA, E. R. M.; MALLMANN, D. L. B.; PEREIRA, P. S. Análise da estabilidade da Praia do Janga (Paulista, PE, Brasil) utilizando ferramenta computacional. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 15, n. 1, p. 109-120, 2015.

SOUZA, C. R. G. A erosão costeira e os desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.

SOUZA, C. R. G.; LUNA, G. C. Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob risco muito alto de erosão do município de Caraguatatuba (litoral norte de São Paulo, Brasil). **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 2, p. 179-199, 2010.

SUMMERS, A.; FLETCHER, C. H.; SPIRANDELLI, D. MCDONALD, K.; OVER, J.S; ANDERSON, T.; BARBEE, M.; ROMINE, B. M. Failure to protect beaches under slowly rising sea level. **Climatic Change**, v. 151, n. 1, p. 427-443, 2018.

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. **Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental nº 748**. 2020. Disponível em: < <https://stf.jusbrasil.com.br/>>. Acesso em: 14/12/2021.

TAMANDARÉ. Decreto nº 013, de 10 de setembro de 2003. Cria o Parque Natural Municipal do Forte de Tamandaré. **Acervo de leis, Portal da transparência de Tamandaré – PE**.

TAMANDARÉ. Lei nº 188, de 27 de dezembro de 2002. Dispõe sobre o Parcelamento, o Uso e a Ocupação do Solo Urbano e sobre as Zonas Áreas Especiais localizadas na área rural do Município de Tamandaré. **Acervo de leis, Portal da transparência de Tamandaré – PE**.

TAMANDARÉ. Lei nº 336, de 08 de julho de 2011. Dá nova redação ao inciso I do §1 do art. 56 a Lei nº. 188/2002, que instituiu o Parcelamento, o Uso e Ocupação do Solo. **Acervo de leis, Portal da transparência de Tamandaré – PE**.

TAMANDARÉ. Plano de intervenção na orla marítima de Tamandaré (Projeto Orla). **Ministério do Meio Ambiente**. 2004. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/945.html?Itemid=887>> Acesso em: 14/12/21.

VEREKEY, V.; SANTOS, P. J. P.; GENEVOIS-FONSÊSCA, V. G. The influence of tidal and rainfall cycles on intertidal nematodes: A case study in a tropical sand beach. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 2, p. 247-256, 2014.

## 4 ARTIGO 2 – VARIAÇÃO ESPACIAL DA MORFOLOGIA EM PRAIAS PROTEGIDAS POR RECIFES

### RESUMO

Os recifes costeiros influenciam na configuração morfológica de praias controladas por eles. Diante disso, este artigo tem como objetivo avaliar as variações espaciais da morfologia praial no litoral sul de Pernambuco, a partir da utilização da técnica conjunta RPAS-GNSS associada ao uso de análises estatísticas. Os MDTs extraídos obtiveram precisão total menor que 20 cm, sendo possível, então, suas utilizações para as extrações de perfis topográficos (17 da área exposta e 15 da área protegida). Os da área exposta normalmente apresentaram maiores elevações no trecho superior (6,20 m - 3,11 m) em detrimento daqueles do trecho protegido (5,6 m – 1,5 m), sendo que, ainda, eram normalmente mais inclinados, curtos e associados à presença de cúspides e restingas, enquanto os do trecho protegido eram mais aplainados, longos e sem feições morfológicas associadas, com exceção de bermas. Além disso, eles foram agrupados em 4 grupos a partir da dissimilaridade entre eles: o G1, composto majoritariamente por perfis do trecho exposto, o G4, composto exclusivamente por perfis do grupo protegido, e o G2 e G3, compostos por perfis de ambos os trechos. Dessa forma, pode-se observar que as seções protegidas e expostas dos recifes são importantes para definir a morfologia das praias nas costas com frentes de recifes.

**Palavras-chave:** Perfis topográficos, RPAS, GNSS, Análises estatísticas e Feições costeiras.

### ABSTRACT

Coastal reefs influence the morphological configuration of reef-fronted beaches. This paper aims to evaluate the spatial variations of beach morphology on the south coast of Pernambuco, using the RPAS-GNSS technique associated with the use of statistical analysis. Topographic profiles (17 from the exposed section and 15 from the reef-protected section) were extracted from MDTs with a total accuracy of less than 20 cm. The exposed section generally showed higher elevations in the upper (6.20 m - 3.11 m) steeper and short beach section, associated with the presence of cusps and “restingas” vegetation. In opposite, the reef-protected section showed lower elevations (5.6 m - 1.5 m), with flattened and long beach sections, without associated morphological features, with the exception of berms. In addition, they were grouped into 4 groups based on the dissimilarity between them: G1, composed mostly of profiles from the exposed section, G4, is composed exclusively of profiles from the reef-protected group, and G2 and G3, are composed of profiles from both section. Thus, it can be seen that reef-protected and exposed sections is important define the beach morphology on reef-fronted coasts.

**Keywords:** Topographic profiles, RPAS, GNSS, Statistical analysis and Coastal features.



## 4.1 INTRODUÇÃO

Os recifes apresentam-se em uma grande variedade de formas sendo considerados um dos sistemas mais complexos entre os marinhos (MOBERG e FOLK, 1999). Eles são responsáveis por inúmeros serviços ecossistêmicos e são essenciais para o bem-estar humano (ELLIFF e SILVA, 2017), como os relacionados às interações biológicas e biogeoquímicas entre ecossistemas interconectados (MOBERG e FOLKE, 1999).

Do ponto de vista da proteção costeira, os recifes são importantes na dissipação de ondas causadas pela fricção destas com o fundo (YOUNG, 1989; KENCH e BRANDER, 2006; SHORT, 2006; FERRARIO et al. 2014; ELLIFF e SILVA, 2017; MARTINS et al. 2019; OSORIO-CANO et al. 2019; ROELVINK et al. 2021) e na redução de riscos referentes a eventos energéticos extremos (SANDERSON e ELIOT, 1996; FERRARIO et al. 2014). A interação entre ondas, nível do mar e a morfologia dos recifes de coral levam a processos hidrodinâmicos específicos (QUATAERT et al. 2015), em que até 97% (FERRARIO et al. 2014) e 99,7% (KENCH e BRANDER, 2006) da energia das ondas pode ser dissipada, enquanto suas alturas podem sofrer uma redução na ordem de 84% (FERRARIO et al. 2014).

Praias protegidas por recifes, nesse sentido, apresentam condições energéticas mais baixas (SHORT, 2006), sendo assim, propícias para o acúmulo de sedimentos (MOBERG e FOLK, 1999; PEREIRA et al. 2016; SIEGLE e COSTA, 2017; MARTINS et al. 2019), para a estabilidade da praia no trecho protegido (MARTINS et al. 2019), para a formação de saliências a sotavento da feição submersa (COSTA et al. 2016) e, além disso, ditam a composição sedimentar praial (KENCH e BRANDER, 2006). De forma contrária, as praias expostas adjacentes são formadas majoritariamente por processos de refração e difração das ondas nas bordas dos recifes que originam as baías (PEREIRA et al. 2016; MANSO et al. 2018), influenciando assim, na configuração da topografia praial, na composição sedimentar e nos processos costeiros atuantes.

Nesse cenário, para entender e quantificar os processos de cunho antrópico e natural que levam à configuração da morfologia praial, é necessário adquirir um conjunto de dados topográficos de boa resolução capaz de suprir essa demanda. Dentre as técnicas disponíveis, destaca-se a utilização combinada do *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) e do *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Ela tem sido recorrentemente utilizada em estudos de variação espacial e temporal da morfologia praial (GONÇALVES e HENRIQUES, 2015; SIMÕES et al. 2019; CASELLA et al. 2020; ARAÚJO et al. 2021; GONÇALVES et al. 2022). Essa técnica apresenta vantagens, como um melhor custo-benefício, precisões na

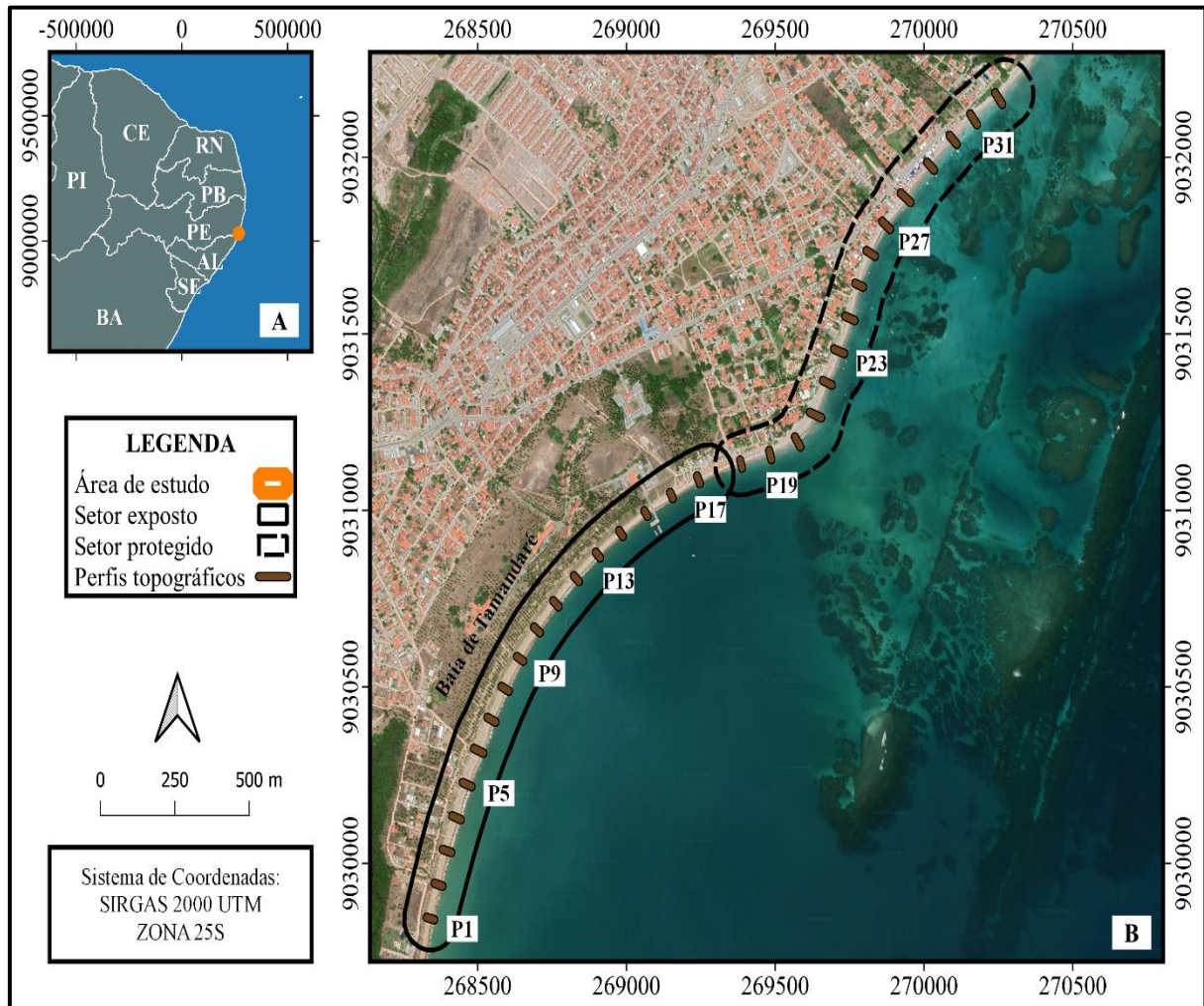
ordem de centímetros de aerolevantamentos e de medições topográficas, além de uma maior praticidade e autonomia (TURNER et al. 2016; CASELLA et al. 2020; ARAÚJO et al. 2021; GONÇALVES et al. 2022).

Sabe-se que estudos que abordam a transformação e a dissipação de ondas pelos recifes de coral, bem como seu respectivo papel na proteção da linha de costa, tem sido objeto de estudos ao redor do globo (KENCH e BRANDER, 2006; FERRARIO et al. 2014; QUATAERT et al. 2015; COSTA et al. 2016; ELLIFF e SILVA, 2017; OSORIO-CANO et al. 2019), mas poucos deles abordam as dinâmicas morfológicas associadas. Dessa forma, esse estudo tem como objetivo avaliar as variações espaciais na morfologia praial em decorrência da presença de recifes costeiros e comparar trechos de costas expostas adjacentes, a partir da técnica conjunta RPAS-GNSS associada ao uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Ainda, os objetivos específicos incluem (i) a construção de Modelos Digitais de Terreno (MDTs) e perfis topográficos, além de (ii) identificar de feições morfológicas costeiras (ex: bermas, cúspides e restingas).

#### **4.1.1 Área de estudo**

A área de estudo está localizada no município de Tamandaré, sul do litoral de Pernambucano, compreendendo 3,2 km de extensão, estendendo-se desde a região central da Baía de Tamandaré (trecho exposto com 1,7 km) até a região mais ao norte (trecho protegido com 1,5 km) (Figura 1). Os critérios para a classificação de trechos expostos e protegidos estão descritos no tópico 3.2.3 (*Digital Shoreline Analysis System – DSAS* e Taxas de erosão). Os demais aspectos pertinentes à área de estudo estão descritos no tópico 2 (Caracterização da área de estudo).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. A figura (a) representa a localização da área de estudo em relação ao nordeste brasileiro, enquanto a figura (b) exibe os setores exposto e protegido, bem como, os perfis topográficos perpendiculares à praia distribuídos ao longo dos trechos. Ainda, é possível notar a presença dos recifes costeiros ao norte e a Baía de Tamandaré ao sul.



## 4.2 METODOLOGIA

### 4.2.1 RPAS

Foi realizado um levantamento aerofotogramétrico com RPAS em abril de 2021 durante a baixamar da maré de sizígia (0-0,3 metros) de acordo com a Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, tendo como referência o Porto de Suape, que está localizado a aproximadamente 60 km de distância da área de estudo. O RPAS utilizado neste trabalho foi o Mavic 2 Zoom desenvolvido pela DJI, cujas características compreendem: (i) tempo máximo de voo de até 31 minutos; (ii) distância máxima de voo de até 18 km; (iii) alcance de precisão de voo de até  $\pm 0,1$  metros e  $\pm 0,3$  metros na vertical e horizontal, respectivamente; (iv) câmera com sensor CMOS e lentes com FOV de aproximadamente  $83^\circ$  (24 mm) (DJI, 2018).

Ainda, foram utilizados os seguintes materiais (i) um smartphone para visualização do plano de voo; (ii) o aplicativo *Drone Deploy* para o planejamento de voo autônomo e para a visualização do plano de voo; (iii) Pontos de Controle (PCs) pré-sinalizados de dimensões 40x40cm e (iv) *Leica Geo Office* para o processamento dos PCs.

As fotos aéreas coletadas com o RPAS foram processadas usando o software *Agisoft PhotoScan* versão 1.4.5, resultando em ortomosaicos e MDS (SIMÕES et al. 2019). Posteriormente a isso, os MDS foram transformados em MDTs, a partir do procedimento de classificação disponível no *software* supracitado. Em seguida, o *QGIS* foi utilizado para recortar os MDTs para a área compreendida entre a parte superior do *swash* e a parte inicial da duna, o que permitiu evitar as inconformidades na construção dos MDTs devido à oscilação das ondas na área de estudo (CASELLA et al. 2020), além de padronizar o levantamento.

### 4.2.2 GNSS

Concomitantemente ao levantamento aerofotogramétrico, foi realizado uma campanha de coleta de informações tridimensionais dos PCs previamente distribuídos pelo ambiente praiar com um GNSS modelo GS 15 de dupla frequência. O método adotado foi o relativo estático-rápido, no qual o receptor (rover) e a estação de referência (base) permanecem estacionários durante o levantamento com um tempo de rastreamento inferior a 20 minutos do rover (IBGE, 2008) e mais de 4 horas da base. O procedimento detalhado foi realizado de

acordo com Gonçalves et al. (2022) que destacam o intervalo de aproximadamente 2 minutos, considerando uma taxa de registro de 1s para cada PC realizado com o rover. Ainda, os autores abordam a utilização do método PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) do IBGE-PPP para o pós-processamento dos dados adquiridos pelo GNSS.

Os dados coletados, por fim, foram processados usando o *Trimble Business Center Software*, sendo referenciando nas seguintes coordenadas: SIRGAS 2000 (Datum oficial do Brasil) e UTM 25, que compreende a região costeira do Estado de Pernambuco.

#### 4.2.2.1 Pontos de controle

Foram distribuídos 17 PCs de forma alternada entre a parte superior e o trecho inferior do ambiente praial, com aproximadamente 180 metros de distância entre eles, sendo 9 no trecho exposto e 8 no trecho protegido.

### 4.2.3 Processamento dos dados

#### 4.2.3.1 MDTs e Perfis de praia

Depois de coletado os dados em campo, foram utilizados *softwares* para o processamento dos dados: o *Agisoft PhotoScan* versão 1. 4. 5, *ArcGis* versão 10. 6. 1 e o *QGIS* versão 13.16.

Inicialmente, as imagens (em .jpeg) obtidas foram inseridas no *Agisoft PhotoScan* para a geração de produtos, como os MDS/MDTs e as Ortofotos. Posteriormente a isso, foram extraídos 32 perfis topográficos (17 da área exposta e 15 da área protegida), espaçados 100 metros entre si. Por meio da ferramenta “*interpolate shape*” do *ArcGis*, foi possível atribuir a um shape de linha às informações altimétricas dos MDTs (HOLANDA et al. 2020).

#### 4.2.3.2 Feições costeiras

Para a identificação de feições costeiras (ex: bermas, cúspides e restingas) foi extraído linhas de contorno por meio da ferramenta “extrair linhas de contorno” do *QGIS*, no qual foi estabelecido linhas a cada metro, a partir dos MDTs gerados anteriormente. Nesse sentido, as linhas de contorno, os MDTs e a ortofoto foram utilizados em conjunto na interpretação dos resultados.

#### 4.2.4 Análises estatísticas

A partir dos 32 perfis topográficos (amostras) previamente construídos e devidamente padronizados nos valores de distância horizontal pelo menor perfil (aproximadamente 18 metros), foram realizados o seguinte procedimento estatístico: Análise de agrupamento Cluster e Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA) por meio de matrizes construídas por distância euclidiana (CLARK e GORLEY, 2015), a fim de comparar os padrões morfológicos entre perfis e entre as características nos trechos expostos e protegidos. O procedimento foi realizado no software PRIMER 6 + PERMANOVA, no qual foi considerado o nível de significância de 5%.

### 4.3 RESULTADOS

#### 4.3.1 Levantamento aerofotogramétrico

Os dois MDTs (protegido e exposto) obtiveram uma resolução de aproximadamente 17 cm/pix e uma densidade de pontos aproximada de 31 pontos/m<sup>2</sup>. Em relação aos erros intrínsecos a essa metodologia, a Tabela 1 exibe o Erro Quadrático Médio (MSE, em inglês) do levantamento, subdivido no trecho exposto e protegido. O erro total do levantamento de cada trecho permaneceu menor que 20 cm, sendo que o erro no eixo Z foi inferior a 2 cm em ambos, em X foram menores que 10 cm e em Y menores que 15 cm (Tabela 1).

Tabela 1 - Erro Quadrático médio (Mean Squared Error, em inglês) dos Pontos de Controle utilizados para o aerolevantamento.

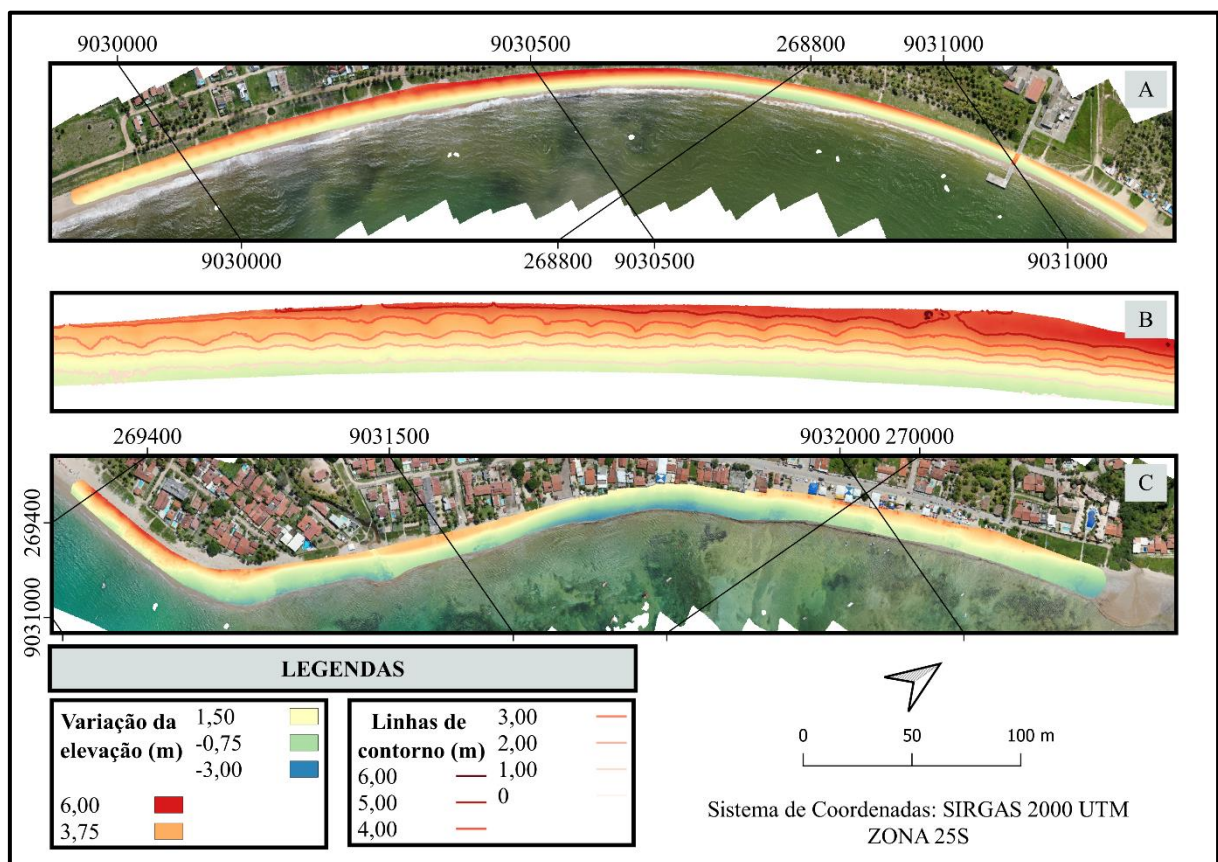
| Erro Quadrático médio (MSE) dos Pontos de Controle (PCs) |           |        |       |        |            |
|----------------------------------------------------------|-----------|--------|-------|--------|------------|
| PCs (total)                                              | Erro (cm) |        |       | XY     | Total (cm) |
|                                                          | X         | Y      | Z     |        |            |
| Setor exposto                                            |           |        |       |        |            |
| 9                                                        | 9.579     | 6.714  | 1.616 | 11.7   | 11.809     |
| Setor protegido                                          |           |        |       |        |            |
| 8                                                        | 8.880     | 14.565 | 0.964 | 17.059 | 17.086     |

Fonte: O Autor (2022).

### 4.3.2 Caracterização da morfologia praial

A topografia praial, assim como as feições morfológicas presentes, diferem entre o trecho exposto e protegido, no que diz respeito à frequência, à dimensão e à posição espacial (Figura 2).

Figura 2 – (a) e (c) representam os MDTs do trecho exposto (Baía de Tamandaré) e do trecho protegido, respectivamente. A figura (b) representa o trecho à esquerda da centralidade da baía, tomando como referência a imagem (a), em que é possível visualizar a presença de cúspides ao longo de todo o trecho com dimensões variadas.



Fonte: O Autor (2022).

#### 4.3.2.1 Feições morfológicas costeiras

No trecho exposto foram identificadas cúspides com dimensões variadas, normalmente entre 20 e 40 metros de comprimento, desde o início do mapeamento (a partir dos 120 metros) e estendendo-se por cerca de 550 metros até a região mais central, antes do píer do CEPENE. Depois dessa referência espacial, elas só aparecem no início do trecho protegido. Cúspides mais desenvolvidas estão presentes na região mais centralizada da baía, onde seus valores de



altimetria são relativamente maiores. Os valores de 4, 3 e 2 metros (com menos frequência) de elevação estão associados a elas.

A Figura 2 (b) exhibe, ainda, as linhas de contorno e seus respectivos valores. A partir dela é possível concluir que a altimetria correspondente aos valores de 6 e 5 metros estão associados ao cordão de restinga paralelo, contínuo e bem preservado presente na região, que se estende por toda a baía até após o píer do CEPENE, embora nesse trecho as altimetrias sejam relativamente menores. Além disso, é possível visualizar também o rebaixamento ocasionado pelas trilhas de acesso, essencialmente nas cotas de 6 e 5 metros em todo o trecho que antecede o píer do CEPENE.

No trecho protegido, por sua vez, há a presença de cúspides no pontal com altimetrias similares à do trecho exposto, de 5 metros. A vegetação de restingas também está presente em alguns pontos, mas com altimetrias reduzidas, de aproximadamente 3 e 2 metros, geralmente localizadas defronte às edificações. Na região mais central desse trecho, a ocorrência de construções sobre o perfil ativo da praia coincide com os valores mais baixos e negativos de toda a área, associado ainda, à ausência da vegetação de restingas (Figura 2).

É comum, ademais, a presença de escarpas erosivas no início do trecho que à medida que avança em direção à norte, estas vão dando lugar a um perfil praial sem pós-praia ou com pós-praia incipientes, com uma pequena porção para o acúmulo de sedimentos. Os valores associados também diminuem nessa relação, cada vez mais baixos, à medida que as ocupações passam a ocupar trechos mais próximos da linha costeira.

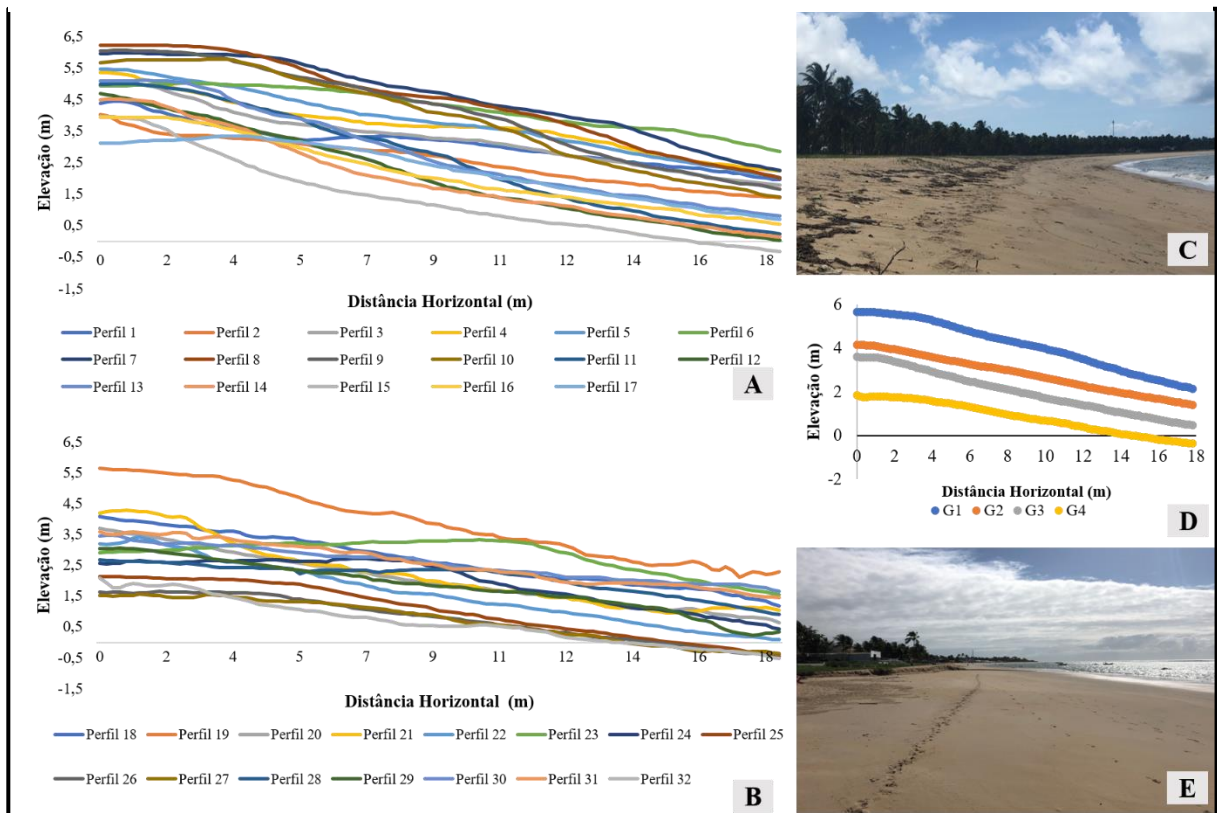
#### 4.3.2.2 *Perfis topográficos*

Os perfis topográficos da região exposta obtiveram elevações máximas no trecho superior que variaram entre 6,20 m (perfil 8) e 3,11 m (perfil 17) e no trecho inferior entre 2,85 m (perfil 6) e -0,32 m (perfil 15) (Figura 3). Os da região protegida, por sua vez, apresentaram valores que variaram entre 5,6 m (perfil 19) e 1,5 m (perfil 27) no trecho superior e entre 2,30m (perfil 19) e -0,5m (perfil 32) (Figura 3).

De um modo geral, percebeu-se que os perfis topográficos pertencentes à região exposta apresentam uma inclinação mais acentuada em relação aos presentes no trecho protegido, sendo estes últimos são mais aplainados e rebaixados. Ainda, por meio dos perfis médios de cada grupo estatisticamente construído, é possível observar essa tendência (Figura 3).



Figura 3 – (a) e (b) representam os perfis topográficos plotados no setor exposto e no setor protegido, respectivamente; (c) exibe a Baía de Tamandaré, um trecho com perfil relativamente inclinado e (e) exibe o trecho protegido por recifes, um trecho com perfil relativamente aplainado. A figura (d), por fim, exibe os perfis médios de cada grupo originado na análise cluster.



Fonte: O Autor (2022).

Por meio da análise da Permanova não-pareada foi possível observar que existiram diferenças significativas dos perfis topográficos analisados entre si ( $< 0,05$ ). Foi possível inferir também, por meio da análise da Permanova pareada, que os perfis pertencentes à região protegida apresentam menor valor de dissimilaridade entre si (11,576), seguidos pelos perfis da região exposta (13,131) e, por fim, pelos perfis que compõem as duas regiões (16,145) (Tabela 2).

Tabela 2 - Sumário dos resultados da PERMANOVA referente às características morfológicas dos perfis topográficos e dos agrupamentos cluster.

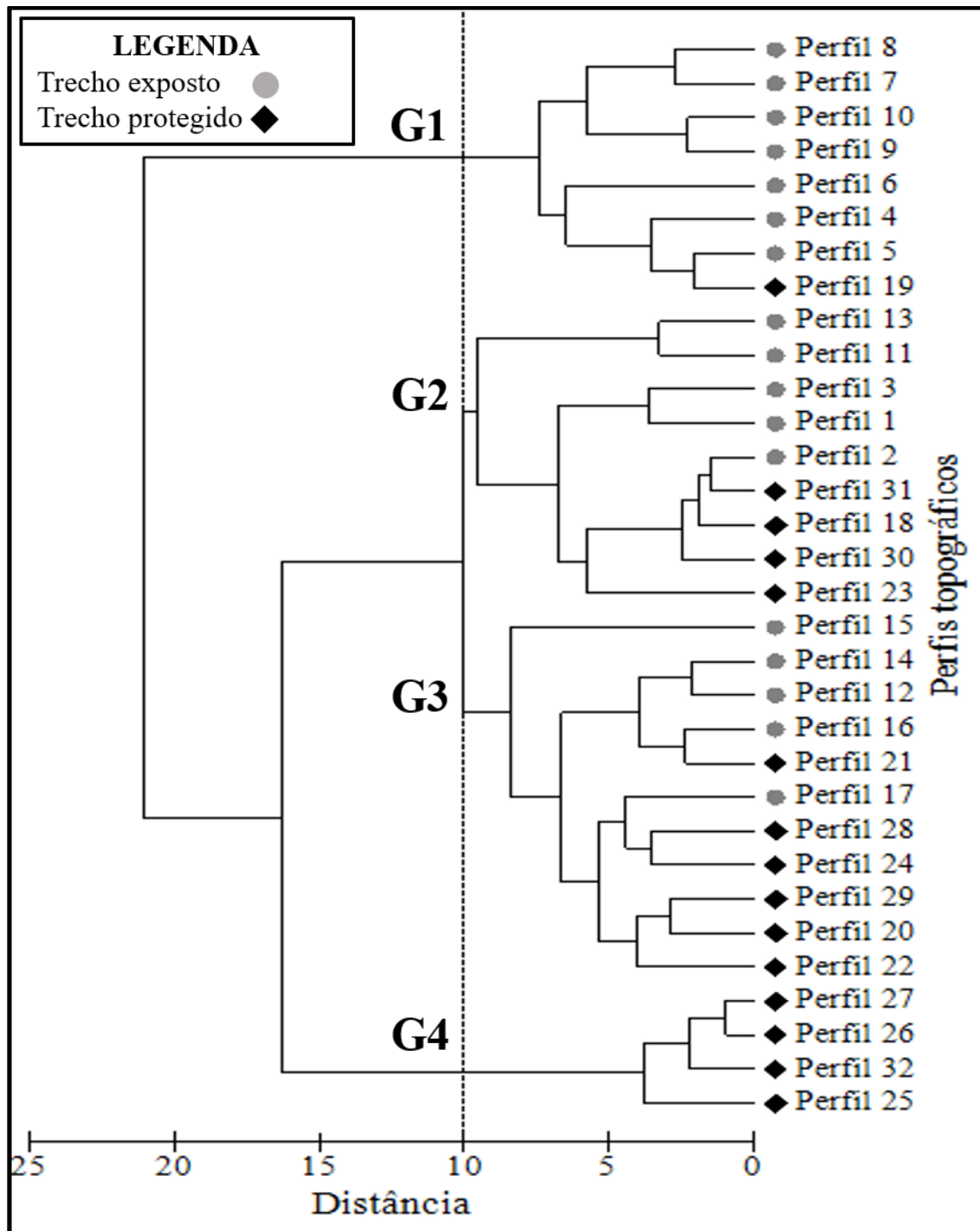
| <b>Perfis de zonas expostas e protegidas</b> |                 |                 |                 |          |                      |                    |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Fonte de variação                            | GL <sup>1</sup> | SQ <sup>2</sup> | QM <sup>3</sup> | Pseudo-F | p(perm) <sup>4</sup> | Permutações únicas |
| Perfis                                       | 1               | 1224            | 1224,4          | 12,10    | < 0,05               | 999                |
| Erro                                         | 30              | 3036            | 101,21          |          |                      |                    |
| <b>Testes de pares <sup>5</sup></b>          |                 |                 |                 |          |                      |                    |
|                                              |                 | Exposta         | Protegida       |          |                      |                    |
| Exposta                                      |                 | 13,13           |                 |          |                      |                    |
| Protegida                                    |                 | 16,15*          | 11,58           |          |                      |                    |
| <b>Grupos</b>                                |                 |                 |                 |          |                      |                    |
| Fonte de variação                            | GL <sup>1</sup> | SQ <sup>2</sup> | QM <sup>3</sup> | Pseudo-F | p(perm) <sup>4</sup> | Permutações únicas |
| Grupos                                       | 3               | 3661            | 1220,4          | 57,01    | < 0,05               | 999                |
| Erro                                         | 28              | 599,4           | 21,41           |          |                      |                    |
| <b>Testes de pares <sup>5</sup></b>          |                 |                 |                 |          |                      |                    |
|                                              |                 | G1              | G2              | G3       | G4                   |                    |
| G1                                           |                 | 6,24            |                 |          |                      |                    |
| G2                                           |                 | 14,46*          | 6,77            |          |                      |                    |
| G3                                           |                 | 21,93*          | 10,06*          | 6,09     |                      |                    |
| G4                                           |                 | 33,61*          | 20,61*          | 12,81*   | 2,81                 |                    |

Fonte: O Autor (2022).

<sup>1</sup> GL: Grau de Liberdade. <sup>2</sup> SQ: Soma dos quadrados. <sup>3</sup> QM: Quadrado médio. <sup>4</sup> p(perm): p valor após a permutação de Monte Carlo; <sup>5</sup>Distância média dentro e entre grupos (Distância Euclidiana). \*: p < 0.05.

Além disso, por meio da análise de agrupamento (Cluster) foi observado a formação de 4 grupos, em que foi fixada a linha de corte a 10% de dissimilaridade. O grupo 1 (G1) apresenta perfis topográficos típicos de região exposta, com exceção do perfil 19. O grupo 4 (G4) apresenta perfis topográficos típicos de região protegida, sem exceção, enquanto os grupos 2 e 3 (G2 e G3, respectivamente) apresentam uma mistura entre perfis dos trechos protegidos e expostos (Tabela 2 e Figura 4).

Figura 4 - Análise Cluster dos perfis topográficos. Os grupos 1 e 4 (G1 e G4) correspondem aos trechos expostos e protegidos, respectivamente. Os demais grupos (G2 e G3) compreendem uma mistura entre os perfis de ambas as regiões.



Fonte: O Autor (2022).

Os perfis topográficos presentes no G4 apresentam menor dissimilaridade entre si (2,81), seguidos dos presentes no G1 (6,24). Ambos os grupos, quando comparados, apresentam o maior valor de dissimilaridade entre os grupos das amostras (33,61). É possível

inferir, também, que os grupos de mistura estão estatisticamente mais próximos do G4 do que do G1, o que indica que o G1 foi o primeiro grupo a ser formado na análise supracitada e, posteriormente, as amostras foram agrupadas nos respectivos grupos de mistura (G2 e G3) e no G4 (Tabela 2 e Figura 4).

#### 4.4 DISCUSSÃO

O uso de RPAS representa um grande avanço no estudo e monitoramento de alterações morfológicas induzidas pelos processos costeiros (GONÇALVES e HENRIQUES, 2015; SIMÕES et al. 2019; ARAÚJO et al. 2021) e nos estudos em geral que envolvam a altimetria e cálculos de volumes, após o devido georreferenciamento com os PCs (SIMÕES et al. 2019), além daqueles que envolvam visualizações de feições, como escarpas, cúspides, restingas e dunas frontais. Ainda, ele dispensa condições de nebulosidade e pode ser eficiente para monitoramentos de curto prazo, em detrimento do sensoriamento remoto (ARAÚJO et al. 2021).

Segundo Araújo et al. (2021) a precisão dos produtos (ex: ortofotos e MDTs) depende de vários fatores, a exemplo da distribuição adequada dos PCs. A regra geral é ter pelo menos 9 PCs com distribuição uniforme (GONÇALVES e HENRIQUES, 2015). Gonçalves et al. (2022) destaca a utilização de 20 PCs para uma área aproximada de 2 km.

Em relação aos erros intrínsecos à metodologia, Gonçalves e Henriques (2015), por exemplo, abordam que uma precisão vertical de aproximadamente 20 cm é apropriada para detectar mudanças relativamente pequenas de forma e volume nas praias; Simões et al. (2019) por sua vez, concluíram que 12 cm de erro foram suficientes para o estudo de altimetrias relacionadas às dunas frontais; Gonçalves et al. (2022) encontraram valores próximos de 5 cm para MDTs, o que confirmou que a geração de MDTs a partir de RPAS possibilitou o monitoramento do ambiente costeiro com alta resolução temporal e espacial.

Como dito anteriormente, depois da etapa prévia de seleção adequada apenas dos PCs com uma precisão aceitável, foram utilizados 17 PCs em 3,2 km de área. Todavia, notou-se que os erros associados à metodologia foram adequados para os objetivos do trabalho. Dessa forma, percebe-se que os valores dos erros totais aproximados de 20 cm foram suficientes para a proposta de estudar feições costeiras e análises espaciais detalhadamente.

A morfologia de praias expostas e protegidas diferem entre si, primordialmente devido às condições impostas pelos recifes costeiros presentes, além de fatores oceanográficos,

meteorológicos e antrópicos a serem discutidos em seguida. Ademais, a morfologia praial é um parâmetro que pode ser utilizado para o agrupamento estatístico de perfis topográficos.

Os perfis da região protegida são estatisticamente mais similares entre si, pois trechos protegidos apresentam processos costeiros similares atuantes que, obviamente, são ditados pela presença/ausência de fraturas nos recifes e/ou rebaixamentos. No caso das baías, os processos de refração e difração, embora contínuos, não são de mesma proporção em toda a sua dimensão. Assim, por exemplo, os processos atuantes na região central diferem à medida que se caminha para as bordas da feição. A mesma lógica se aplica ao fato de que os perfis que compõe o G4 são estatisticamente mais próximos entre si do daqueles que compõe o G1.

Cúspides bem desenvolvidas estão presentes em baías, geralmente associadas a perfis íngremes (KLEIN e MENEZES, 2001), como ocorre na Baía de Tamandaré. Dito isso, o G1 provavelmente foi formado devido às características comuns existentes entre os perfis, como as feições morfológicas associadas à vegetação de restinga no trecho superior e à presença de cúspides em menores elevações relativas, além de inclinações significativas. Perfis topográficos realizados no centro da Baía de Tamandaré para o mês de março, em 1999, mostraram a tendência de inclinação do perfil, bem como a presença de cúspides, enquanto no trecho mais ao norte, já sob a proteção dos recifes, os perfis tiveram uma tendência mais suavizada (PORTELLA et al. 2001). Outros autores abordam as características de praia estreita e declividade acentuada no trecho, em detrimento de menor suavidade ao norte (REBOUÇAS, 1965; MOURA e PASSAVANTE, 1993).

Os perfis estão localizados numa região central da baía de Tamandaré, o que também pode indicar que estão suscetíveis a dinamismos de mesma ordem de magnitude e intensidade, como os processos de refração e difração que, segundo Razak et al. (2014), são uns dos responsáveis pela configuração morfológica de uma baía. Ainda, o transporte de sedimentos perpendicular também é responsável pelo desenvolvimento de alguns perfis íngremes na face de praia (MASCAGNI et al. 2018), somado a um padrão complexo de circulações que levam a um comportamento dinâmico da morfologia (RAZAK et al. 2014), que incluem os processos de deriva litorânea e correntes de retorno, comuns de praias desse tipo (KLEIN e MENEZES, 2001; MASCAGNI et al. 2018).

Macedo et al. (2012) ao estudarem a morfologia praial numa enseada ao norte da área de estudo (Praia de Maracaípe/PE), concluíram que os perfis topográficos mais centrais são mais íngremes, enquanto aqueles localizados mais nas bordas apresentam uma inclinação mais suavizada. Abordam, ainda, que parte dessa explicação pode estar relacionada ao fato de que a região central está exposta ao mar aberto e, por conseguinte, às ondas atuam

diretamente sobre o ambiente praial. Na região, a baía tem sua concavidade voltada para leste, de onde vem a maior parte das ondas.

Uma exceção desse grupo foi a presença do perfil 19, pertencente ao trecho protegido, que teve uma relação mais similar ao perfil 5 (Figura 4). Isso ocorreu porque o perfil 19 está localizado no pontal, que engloba a transição entre o trecho exposto e protegido que, a depender do padrão de direção das ondas, estas podem atingir com uma significativa energia o trecho, sobretudo as que tem origem de sudeste. Além disso, os pontais (saliências) são caracterizados por serem uma feição de sedimentação, inclusive no trecho superior do perfil, o que pode ter contribuído para a similaridade desse perfil com os demais do trecho exposto.

O G4 foi formado devido às condições similares da topografia praial, sobretudo no que se refere ao aplainamento dos perfis que o compõe. Com exceção do perfil 31, os demais possuem como característica primordial o seu início em um trecho de predomínio de ocupações sobre a pós praia e parte do estirâncio superior (Figura 2). Sabe-se que os recifes costeiros protegem a costa da ação direta das ondas por meio dos processos de atenuação e dissipação (MANSO, 2003; SHORT, 2006; FERRARIO et al. 2014; MALLMANN et al. 2014; COSTA et al. 2016; SIEGLE e COSTA, 2017) e são importantes na modificação e na configuração da morfologia praial (MANSO et al. 2018), sobretudo associado à dinâmica sedimentar (SANDERSON, 2000).

Soma-se a isso, o fato de que as intervenções humanas, nas quais se inclui, por exemplo, as urbanizações, também são capazes de alterar a topografia praial (ARIFFIN et al. 2016; BIO et al. 2020; ARAÚJO et al. 2021), o que contribui para o aplainamento do perfil praial e seu respectivo rebaixamento da cota altimétrica (Figura 3). Ainda, com o incremento das urbanizações em direção ao mar, o perfil praia torna-se mais retilíneo e sem bermas na face da praia (TABAJA et al. 2013), além de ser responsável pela redução da resiliência da praia (GOMES e SILVA, 2014). Os perfis topográficos localizados em “zonas de sombra” geralmente possuem uma rampa plana e são relativamente estáveis, uma vez que, estão protegidos contra a ação direta da onda sobre a face praial (DALBOSCO et al. 2019; MARTINS et al. 2019). Em Tamandaré, por sua vez, não foi possível chegar uma conclusão sobre a estabilidade do perfil praial, uma vez que foi utilizado apenas um único conjunto de dados.

Segundo Araújo et al. (2007), de fato, o litoral pernambucano é caracterizado pela frequente ocupação no perfil ativo praial, o que pode gerar consequências, a exemplo dos impactos no transporte sedimentar transversal entre os perfis de praia e entre os sub-ambientes

de um mesmo perfil (MONTEIRO et al. 2009; CASTRO et al. 2011; RANIERI e EL-ROBRINI, 2016; MENEZES et al 2018).

Nesse diapasão, Dalbosco et al. (2019) observaram uma praia em formato de enseada no litoral catarinense (Praia da Armação) e concluíram que a topografia local é predominantemente baixa e plana em todo o trecho devido a supressão de dunas frontais pela urbanização, corroborando com Mazzer e Dilleburg (2009), em que estes relacionaram a ocupação humana sobre as dunas frontais na região como um dos problemas que convergem para o agravamento da erosão costeira. Ademais, foi identificado que a evolução de construções desordenadas sobre o perfil praia esteve diretamente relacionado à degradação de dunas costeiras, à alteração da vegetação de restingas e a modificações na topografia natural, resultando em um decréscimo da altura em uma praia do sul brasileiro (KUCK et al. 2015).

Os G2 e G3, como dito anteriormente, são compostos por perfis do trecho exposto e predominantemente do protegido. O G2 engloba os perfis 1, 2 e 3 (sul da Baía de Tamandaré) e os perfis 11, 13 e 18 (norte da Baía de Tamandaré), tendo como referência espacial os perfis do G1. Ao sul da área, provavelmente os perfis ainda recebem uma influência significativa do dinamismo do rio Mamucabas, cuja foz está cerca de 1,5 km de distância, enquanto ao norte a presença do píer do CEPENE pode ser responsável por alterações hidrodinâmicas e, conseqüentemente, morfológicas, o que pode ter contribuído para o agrupamento dos perfis citados. Nesse sentido, por exemplo, a presença de um píer na região de Itamaracá (litoral norte de Pernambuco) influenciou no saldo negativo sedimentar a jusante de sua localização (ARAÚJO et al. 2021). Ainda nesse espectro, os perfis 23, 30 e 31 estão localizados numa região protegida na qual há a presença de vegetação de restingas e ausência de ocupações e, por conseguinte, com características mais íngremes, o que pode ter contribuído para o agrupamento.

O G3 também possui perfis ao norte da Baía de Tamandaré (perfis 12, 14, 15, 16 e 17) e engloba os demais perfis do trecho protegido (Figura 4). É importante considerar, no geral, que os processos de refração e difração não são homogêneos, a presença/ausência de fraturas nos recifes e/ou rebaixamentos, além da presença/ausência de ocupações, somados aos processos costeiros, como ondas e marés, podem influenciar de forma heterogênea cada perfil anteriormente descrito, o que torna relativamente difícil a associação da morfologia, sobretudo quando se trabalha com apenas com um único conjunto de dados.

A extração de perfis topográficos de MDTs construídos a partir da técnica conjunta de RPAS e GNSS é eficiente para o tratamento com base estatística. A resolução na ordem de centímetros no levantamento influencia na quantidade de pontos extraídos ao longo de cada

perfil, em média, com 100 pontos, o que fornece informações mais detalhadas sobre a morfologia. Em contrapartida, o método convencional de coletas de coordenadas de perfis topográficos, a partir do uso individual de estações totais ou GNSS, dificulta a utilização da estatística, uma vez que seria necessário a coleta de muitos pontos em cada perfil, o que elevaria o esforço humano e muito possivelmente seria inviável devido ao tempo de maré baixa, em especial quando se trata de áreas relativamente extensas, como a área de estudo deste trabalho.

#### 4.4.1 Limitações

A metodologia utilizada possui algumas limitações, entre elas:

- i. Não foi possível estabelecer uma relação entre os tamanhos transversais dos perfis em virtude da metodologia adotada, que limita o alcance transversal dos perfis;
- ii. Por vezes, o perfil topográfico a ser traçado pode coincidir ou não com algumas feições, como as cúspides, o que pode ter sido um dos fatores para o não agrupamento de alguns perfis, sobretudo aqueles presentes na região exposta (Baía de Tamandaré);
- iii. A presença de artefatos na faixa praial, como barracas de praia semipermanentes e guarda-sóis, além de construção próximas, interferem na geração de MDTs. Por isso, os perfis extraídos foram espacialmente bem selecionados;
- iv. Diferentemente do GNSS, a utilização de RPAS para o mapeamento da topografia limita-se na porção superior do espraiamento da onda. Segundo Simões et al. (2019), a reflectância da água dificulta o *software* de encontrar pontos homólogos, devido ao movimento das ondas, o que impede a aplicação da técnica (GONÇALVES e HENRIQUES, 2015). Gonçalves et al. (2022) acrescentam a necessidade da utilização de serviços adicionais para o mapeamento topográfico nesses trechos. Ainda, foi detectado que no setor protegido da região, devido ao grande trecho de espraiamento da onda e a coloração escura dos sedimentos, houveram dificuldades na captação exata de dados no eixo Z;
- v. O alto fluxo de turistas também pode influenciar no mapeamento, sobretudo em trechos relativamente grandes, pois qualquer alteração da posição espacial de um dado PC pode influenciar significativamente nos resultados. Além disso, durante o procedimento de campo foi comum a retirada desse material, o que levou a uma perda da precisão do levantamento. Nesse sentido, Gonçalves et al. (2022)



ressaltam que praias turísticas representam um obstáculo ao mapeamento e a classificação.

#### 4.5 CONCLUSÕES

A utilização concomitante da técnica RPAS-GNSS mostrou-se eficaz para estudos referentes à variação espacial da morfologia em praias protegidas por recifes e adjacências. A técnica, associada ao tratamento estatístico adequado, possibilitou a extração de perfis topográficos a partir de MDTs e a utilização da morfologia praial e feições morfológicas costeiras como critérios de agrupamento baseado na dissimilaridade entre os perfis (amostras).

A partir da formação de grupos tipicamente de trechos expostos e protegidos foi possível estabelecer as diferenças morfológicas entre eles e, ainda, discutir sobre as principais variáveis ambientais e antrópicas que estão associadas à configuração morfológica praial nos dois trechos. Na região exposta os perfis são mais íngremes, enquanto na região protegida eles são mais aplainados e com cotas altimétricas mais reduzidas.

Além disso, por meio da técnica de análise conjunta de MDTs, linhas de contorno e ortofotos, descreveu-se com êxito feições costeiras presentes em cada trecho. Na região exposta, há a presença de cúspides, sendo bem desenvolvidas na região central, enquanto na região protegida elas estão presentes apenas no pontal. Cordões de restingas foram notados em todo o trecho exposto e em trechos isolados na região protegida, sendo, nesse último compartimento, associado à indevida ocupação sobre o ambiente praial. Por fim, as escarpas erosivas também foram presentes na região do trecho protegido.

A pesquisa realizada representou um grande avanço na literatura no que concerne o entendimento da morfologia em praias protegidas por recifes, temática ainda sub-explorada. Dessa forma, destaca-se a necessidade da elaboração de um estudo mais detalhado que englobe a utilização de dados espaciais e temporais, climas de ondas e a batimetria da região, a fim de discutir sobre as implicações dos recifes costeiros na morfologia em trechos defrontes aos recifes e adjacentes numa escala temporal e espacial maior, no âmbito dos processos costeiros e da morfodinâmica praial.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. C. B.; SOUZA, S. T.; CHAGAS, A. C. O.; BARBOSA, S. C. T.; COSTA, M. F. Análise da ocupação urbana das praias de Pernambuco, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 7, n. 2, p. 97-104, 2007.
- ARAÚJO, R. V.; PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; ARAÚJO, T. M.; GONÇALVES, R. M. Morphodynamic study of Sandy beaches in a tropical tidal inlet using RPAS. **Marine Geology**, v. 438, n. 1, p. 1-15, 2021.
- ARIFFIN, E. H.; SEDRATI, M.; AKHIR, M. F.; YAACOB, R.; HUSAIM, M. L. Open Sandy beach morphology and morphodynamic as response to seasonal monsoon in Kuala Terengganu, Malaysia. **Journal of Coastal Research**, v. 70, n. esp, p. 1032-1036, 2016.
- BIO, A.; GONÇALVES, J. A.; PINHO, J.; VIEIRA, L.; VIEIRA, J.; SMIRNOV, G.; BASTOS, L. Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: um estudo de caso no Norte de Portugal. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 20, n. 3, p. 197-209, 2020.
- CASELLA, E.; DRECHEL, J.; WINTER, C.; BENNINGHOFF, M.; ROVERE, A. Accuracy of sand topography syervying by drones and photogrammetry. **Geo-Marine Letters**, v. 40, n. 1, p. 255-268, 2020.
- CASTRO, J. W.; FERNANDES, D.; DIAS, F. F. Monitoramento do processo de erosão costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras – estado do Rio de Janeiro/Brasil: aplicação de metodologia quantitativa. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 3, p. 255-368, 2011.
- CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. **PRIMER**, v7: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth. 2015.
- COSTA, M. B. S. F.; ARAÚJO, M.; ARAÚJO, T. C. M.; SIEGLE, E. Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology**, v. 253, p. 318-327, 2016.
- DALBOSCO, A. L. P.; BARLETTA, R. C.; FRANCO, D. Relação entre as variações da linha de costa e as características morfodinâmicas da Praia da Armação, Ilha de Santa Catarina. **Geociências**, v. 38, n. 1, p. 241-256, 2019.
- DJI. **Manual do usuário Mavic 2 PRO/ZOOM**. 1. ed. 2018.
- ELLIFF, C. I.; SILVA, I. R. Coral reefs as the first line of defense: Shoreline protection in face of climate change. **Marine Environmental Research**, v. 127, p. 148-154, 2017.
- FERRARIO, F.; BECK, M. W.; STORLAZZI, C. D.; MICHELI, F.; SHEPARD, C. C.; AIROLDI, L. The effectiveness of coral reefs for costal hazard risk reduction and adaptation. **Nature Communications**, v. 5, n. 3794, p. 1-9, 2014.
- GOMES, G.; SILVA, A. C. Coastal erosion case at Candeias beach (NE-Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 71, n. esp, p. 30-40, 2014.
- GONÇALVES, J. A.; HENRIQUES, R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal áreas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 104, p. 101-111, 2015.

- GONÇALVES, R. M.; HOLANDA, T. F.; QUEIROZ, H. A. A.; SOUSA, P. H. G. O.; PEREIRA, P. S. Exploring RPAS potentiality using a RGB câmera to understand short term variation on Sandy beaches. **Catena**, v. 210, n. 3, p. 1-14, 2022.
- HOLANDA, T. F.; GONÇALVES, R. M.; LINO, A. P.; PEREIRA, P. S.; SOUSA, P. H. G. O. Classificação das variações morfodinâmicas e processos costeiros, Praia do Paiva, PE, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, p. 235-251, 2020.
- IBGE. Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS. Disponível em: < [https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/recom\\_gps\\_internet.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf)>. Acesso em: 12/04/2022. 2006.
- KENCH, P. S.; BRANDER, R. Wave process on coral reef flats: Implications for reef geomorphology using australian case studies. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 209-223, 2006.
- KLEIN, A. H. F.; MENEZES, J. T. Beach morphodynamics and profile sequence for headland bay coast. **Journal of Coastal Research**, v. 12, n. 4, p. 812-835, 2001.
- KUCK, G. I.; PORTZ, L.; GRUBER, N. L. S. Ocupação da orla e os impactos socioambientais no município de Cidreira, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1028-1040, 2015.
- MACEDO, R. J. A.; MANSO, V. A. V.; PEREIRA, N. S.; FRANÇA, L. G. Transporte de sedimentos da linha de costa em curto prazo na Praia de Maracaípe (PE), Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 3, p. 343-355, 2012.
- MALLMAAN, D.; PEREIRA, P.; SANTOS, F.; FAÇANHA, P. Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169-189, 2014.
- MANSO, V. A. V. Definição dos pontos de contorno da linha de preamar máxima atual do litoral do município de Ipojuca-PE. **Relatório Técnico**, 2003.
- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; PEDROSA, F. J.; MACEDO, R. J.; SILVA, A. C.; GOIS, L. A.; BARCELLOS, R. L.; ARRUDA, S. D. D.; SOARES JUNIOR, C. F. A.; MADRUGA FILHO, J. D. Pernambuco. In: MUEHE, D. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. 1º Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2018. p. 345-379.
- MARTINS, K. A.; PEREIRA, O. S.; ESTEVES, L. S.; WILLIAMS, J. The role of coral reefs in costal protection: Analysis of Beach Morphology. **Journal of Coastal Research**, v. esp, n. 92, p. 157-164, 2019.
- MASCAGNI, M. L.; SIEGLE, E.; TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Morphodynamics of a wave embayed beach on an irregular rocky coastline. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 2, p. 172-188, 2018.
- MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 31, n. 1, p. 117-135, 2009.
- MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. S.; GONÇALVES, R. M. Uso de geoi ndicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira através de sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 1, p. 276-296, 2018.

MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystem. **Ecological Economics**, v. 29, n. 2, p. 215-233, 1999.

MONTEIRO, M. C. PEREIRA, L. C. C.; GUIMARÃES, D. O.; COSTA, R. M. Ocupação territorial e variações morfológicas em uma praia de macromaré do litoral amazônico, Ajuruteua-PA, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 91-99, 2009.

MOURA, R. T.; PASSAVANTE, J. O. Taxa de assimilação do fitoplâncton da Baía de Tamandaré – Rio Formoso, PE, Brasil. **Boletim Técnico Científico**, v. 1, n. 1, 1993. Disponível em:

<https://www.icmbio.gov.br/cepene/images/stories/publicacoes/btc/vol01/art01vol1.pdf>.

Acesso em: 12/04/2022.

OSORIO-CANO, J. D.; ALCÉRRECA-HUERTA, J. C.; MARIÑO-TAPIA, I.; OSORIO, A. F.; ACEVEDO-RAMÍREZ, C.; COSTA, M.; PEREIRA, P.; MENDOZA, E.; ESCUDERO, M.; ASTORGA-MOAR, A.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J.; APPENDINI, C. M.; SILVA, R.; OUMERACI, H. Effects of roughness loss on reef hydrodynamics and costal protection: Approaches in Latin America. **Estuaries and Coasts**, v. 42, p. 1742-1760, 2019.

PEREIRA, S. P.; ARAÚJO, T. C. M.; MANSO, V. A. V. Tropical Sandy Beaches of Pernambuco State. In: SHORT, D. A.; KLEIN, A. H. F. **Brazilian Beach System**. 1º Ed. Switzerland: Coastal Research Library, 2016. p. 251-279.

PORTELLA, D. B.; SANTOS, F. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Morphological and dynamical characterization of Tamandaré bay, Pernambuco – Brazil. **Tropical Oceanography**, v. 29, n. 1, p. 79-86, 2001.

QUATAERT, E.; STORLAZZI, C.; ROOIJEN, A. V.; CHERITON, O.; DONGEREN, A. V. The influence of coral reefs and climate change on wave-driven flooding of tropical coastlines. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 15, p. 6407-6415, 2015.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI. Quantificação de sedimentos transportados por correntes nas praias oceânicas de Salinópolis, nordeste do Pará, Brasil. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 457-471, 2016.

RAZAK, M. S. A.; DASTGHEIB, A.; SURYADI, F. X.; ROELVINK, D. Headland structural impacts of surf zone current circulations. **Journal of Coastal Research**, v. 70, n. esp, p. 65-71, 2014.

REBOUÇAS, A. C. Sedimentos da Baía de Tamandaré, Pernambuco. **Tropical Oceanography**, v. 7, n. 1, 1965.

Roelvink, F. E.; Storlazzi, C. D.; Dongeren, A. R.; Pearson, S. G. Coral Reef Restorations Can Be Optimized to Reduce Coastal Flooding Hazards. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. 1-11, 2021.

SANDERSON, P. G. A comparison of reef-protected environments in western Australia: The central west and Ningaloo coasts. **Earth Surface Process and Landform**, v. 25, n. 4, p. 397-419, 2000.

SANDERSON, P. G.; ELIOT, I. Shoreline salientes, cusped forelands and tombolos on the coast of western Australia. **Journal of Coastal Research**, v. 12, n. 3, p. 761-773, 1996.

SHORT, A. D. Australian beach systems – Nature and distribution. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 11-27, 2006.

SIEGLE, E.; COSTA, M. B. Nearshore wave power increase of reef-shaped costal due to sea-level rise. **Earth's Future**, v. 5, n. 10, p. 1054-1065, 2017.

SIMÕES, R. S.; OLIVEIRA, U. R.; ESPINOZA, J. A.; ALBUQUERQUE, M. G.; ALVES, D. C. L. Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 622-640, 2019.

TABAJARA, L. L. C. A.; OLIVEIRA, J. F.; LEITE, P. T.; OLIVEIRA, R. M.; FRANCHINI, R. A. L.; CRITIANO, S. S.; CLAUSSEN, M. R. S. Critérios para a classificação e manejo de costa arenosa dominada por ondas e com intensa ocupação urbana: o caso de Imbé, RS, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 4, p. 409-431, 2013.

TURNER, I. L.; HARLEY, M. D.; DRUMMOND, C. D. UAVs for coastal suerveying. **Coastal Engineering**, v. 114, p. 19-24, 2016.

YOUNG, L. R. Wave transformation over coral reefs. **Journal of Geophysical Research**, v. 94, n. 7, p. 9779-9789, 1989.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ambos os capítulos abordam temáticas bastante relevantes e estudadas ao redor do mundo. Todavia, praias protegidas por recifes e adjacências apresentam peculiaridades, como exibidas ao longo do trabalho (ex: as relacionadas ao padrão dos processos costeiros, à ocupação e à morfologia). Nesse sentido, essa dissertação contribui nos ramos da dinâmica morfológica de praias e do gerenciamento costeiro de praias controladas por recifes, auxiliando o entendimento mais detalhado desses processos nessas regiões.

Nesse diapasão, o primeiro artigo trouxe uma discussão em torno da variação de taxa espaciais e temporais de erosão/acreção e avanço/recuo na região, relacionando-as com a legislação ambiental vigente, o padrão de ocupação e os processos costeiros atuantes na região. O segundo artigo, por sua vez, atentou-se para a diferenciação da morfologia praial em ambos os trechos, a fim de caracterizar a praia de modo perpendicular e transversal (inclinação, presença e ausência de feições costeiras), tendo como suporte a utilização eficaz de técnicas modernas de monitoramento.

Depreende-se, portanto, que estudos como esses são importantes para a compressão de praias arenosas controladas por recifes, as quais estão presentes em grande parte do litoral do nordestino e estão suscetíveis à conflitos que envolvem a preservação desses espaços e à intervenção antrópica, sobretudo no que está relacionada à ocupação desordenada, inclusive, em áreas protegidas, como áreas de preservação permanente, unidades de conservação e terrenos de marinha.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. R. M.; ABREU NETO, J. C. Evolução da linha de costa da praia do Iguape, Aquiraz, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 044-053, 2013.
- ARAÚJO, M. C. B.; SOUZA, S. T.; CHAGAS, A. C. O.; BARBOSA, S. C. T.; COSTA, M. F. Análise da ocupação urbana das praias de Pernambuco, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 7, n. 2, p. 97-104, 2007.
- ARAÚJO, R. V.; PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; ARAÚJO, T. M.; GONÇALVES, R. M. Morphodynamic study of Sandy beaches in a tropical tidal inlet using RPAS. **Marine Geology**, v. 438, n. 1, p. 1-15, 2021.
- ARIFFIN, E. H.; SEDRATI, M.; AKHIR, M. F.; YAACOB, R.; HUSAIM, M. L. Open Sandy beach morphology and morphodynamic as response to seasonal monsoon in Kuala Terengganu, Malaysia. **Journal of Coastal Research**, v. 70, n. esp, p. 1032-1036, 2016.
- BARROS, E. L.; GUERRA, R. G. P.; FERNANDES, R. P. Variação da linha de costa no litoral leste do estado do Ceará: o caso da RESEX da Prainha do Canto Verde. **Arquivo de Ciências do Mar**, v. 53, n. esp, p. 25-33, 2020.
- BIO, A.; GONÇALVES, J. A.; PINHO, J.; VIEIRA, L.; VIEIRA, J.; SMIRNOV, G.; BASTOS, L. Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: um estudo de caso no Norte de Portugal. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 20, n. 3, p. 197-209, 2020.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: A review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1998. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1998, que institui o Plano de Gerenciamento Costeiro. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Decreto nº 597, de 23 de outubro de 1997. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Costa dos Corais, nos Estados de Alagoas e Pernambuco. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para a apuração destas infrações. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.

CÂMARA, I. F.; SILVA, R. R. Mapeamento e evolução da ocupação irregular em falésias do litoral leste cearense, Nordeste do Brasil. **Geociências**, v. 40, n. 4, p. 1033-1046, 2021.

CÂMARA, I. F.; SILVA, R. R.; BARROS, E. L. Caracterização Sedimentológica da Praia de Morro Branco, Litoral Leste Cearense: Uma Análise Espaço-temporal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3788-3803, 2021.

CASELLA, E.; DRECHEL, J.; WINTER, C.; BENNINGHOFF, M.; ROVERE, A. Accuracy of sand topography surveying by drones and photogrammetry. **Geo-Marine Letters**, v. 40, n. 1, p. 255-268, 2020.

CASTRO, J. W.; FERNANDES, D.; DIAS, F. F. Monitoramento do processo de erosão costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras – estado do Rio de Janeiro/Brasil: aplicação de metodologia quantitativa. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 3, p. 255-368, 2011.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. **PRIMER**, v7: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth. 2015.

CONAMA. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.

CONTI, L. A.; RODRIGUES, M. Variação da linha de costa na região da Ilha dos Guarás-PA, através de análise de série temporal de imagens de satélites. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 5, p. 922-937, 2011.

COSTA, M. B. S. F.; ARAÚJO, M.; ARAÚJO, T. C. M.; SIEGLE, E. Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology**, v. 253, p. 318-327, 2016.

DALBOSCO, A. L. P.; BARLETTA, R. C.; FRANCO, D. Relação entre as variações da linha de costa e as características morfodinâmicas da Praia da Armação, Ilha de Santa Catarina. **Geociências**, v. 38, n. 1, p. 241-256, 2019.

DJI. **Manual do usuário Mavic 2 PRO/ZOOM**. 1. ed. 2018.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; LEÃO, Z. M. A. N.; AZEVEDO, A. E. G. Geologia do quaternário costeiro do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 208-215.

ELLIFF, C. I.; SILVA, I. R. Coral reefs as the first line of defense: Shoreline protection in face of climate change. **Marine Environmental Research**, v. 127, p. 148-154, 2017.

FERRAPEIRA NETO, C. A.; MORAIS, J. O. Evolução da linha de costa do município de Camocim, Ceará, Brasil. **Revista Casa da Geografia**, v. 16, n. 2, p. 101-114, 2014.



FERRARIO, F.; BECK, M. W.; STORLAZZI, C. D.; MICHELI, F.; SHEPARD, C. C.; AIROLDI, L. The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. **Nature Communications**, v. 5, n. 3794, p. 1-9, 2014.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos recifes de coral do Brasil**. Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2006. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/Monitoramento\\_dos\\_Recifes\\_de\\_Coral\\_do\\_Brasil\\_Livro.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/Monitoramento_dos_Recifes_de_Coral_do_Brasil_Livro.pdf)>. Acesso em: 02/11/2021.

FLETCHER, C. H.; ROMINE, B. M.; GENZ, A. S.; BARBEE, M. M.; DYER, M. D.; ANDERSON, T. R. LIM, S. C.; VITOUSEK, S.; BOCHICCHIO, C.; RICHMOND, B. M. **National Assessment of Shoreline Change: Historical Shoreline Change in the Hawaiian Islands**. 2012. Disponível em: <[https://pubs.usgs.gov/of/2011/1051/pdf/ofr2011-1051\\_report\\_508.pdf](https://pubs.usgs.gov/of/2011/1051/pdf/ofr2011-1051_report_508.pdf)>. Acesso em: 12/12/2021.

GOMES, G.; SILVA, A. C. Coastal erosion case at Candeias beach (NE-Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 71, n. esp, p. 30-40, 2014.

GONÇALVES, J. A.; HENRIQUES, R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal áreas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 104, p. 101-111, 2015.

GONÇALVES, R. M.; HOLANDA, T. F.; QUEIROZ, H. A. A.; SOUSA, P. H. G. O.; PEREIRA, P. S. Exploring RPAS potentiality using a RGB câmera to understand short term variation on Sandy beaches. **Catena**, v. 210, n. 3, p. 1-14, 2022.

HOLANDA, T. F.; GONÇALVES, R. M.; LINO, A. P.; PEREIRA, P. S.; SOUSA, P. H. G. O. Classificação das variações morfodinâmicas e processos costeiros, Praia do Paiva, PE, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, p. 235-251, 2020.

IBGE. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/metodos\\_e\\_outros\\_documentos\\_de\\_referencia/normas/recom\\_gps\\_internet.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf)>. Acesso em: 12/04/2022. 2006.

KENCH, P. S.; BRANDER, R. Wave process on coral reef flats: Implications for reef geomorphology using australian case studies. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 209-223, 2006.

KLEIN, A. H. F.; MENEZES, J. T. Beach morphodynamics and profile sequence for headland bay coast. **Journal of Coastal Research**, v. 12, n. 4, p. 812-835, 2001.

KOMAR, P. D. **Beach Processes and Sedimentation**. 2º Ed. N. J, Prentice Hall, 1973. 544p. KUCK, G. I.; PORTZ, L.; GRUBER, N. L. S. Ocupação da orla e os impactos socioambientais no município de Cidreira, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1028-1040, 2015.

LINS-SILVA, N.; MARCOLIN, C. T.; KESSLER, F.; SCHWARMBORN, R. A fresh look at microplastics and particles in the tropical coastal ecosystems of Tamandaré, Brazil. **Marine Environmental Research**, v. 169, p. 1-10, 2021.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

MACEDO, R. J. A.; MANSO, V. A. V.; PEREIRA, N. S.; FRANÇA, L. G. Transporte de sedimentos da linha de costa em curto prazo na Praia de Maracaípe (PE), Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 3, p. 343-355, 2012.

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. Coral reefs of Brazil: an overview. **Proc. 8th Int. Coral Reef Symp.** v.1, p. 263-274, 1997.

MALLMAAN, D.; PEREIRA, P.; SANTOS, F.; FAÇANHA, P. Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de satélite pancromáticas. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169-189, 2014.

MALLMANN, D. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Vulnerabilidade física do litoral sul de Pernambuco à erosão. **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 2, p. 130-152, 2010.

MANSO, V. A. V. Definição dos pontos de contorno da linha de preamar máxima atual do litoral do município de Ipojuca-PE. **Relatório Técnico**, 2003.

MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; PEDROSA, F. J.; MACEDO, R. J.; SILVA, A. C.; GOIS, L. A.; BARCELLOS, R. L.; ARRUDA, S. D. D.; SOARES JUNIOR, C. F. A.; MADRUGA FILHO, J. D. Pernambuco. In: MUEHE, D. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. 1º Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2018. p. 345-379.

MARTINS, K. A.; PEREIRA, O. S.; ESTEVES, L. S.; WILLIAMS, J. The role of coral reefs in costal protection: Analysis of Beach Morphology. **Journal of Coastal Research**, v. esp, n. 92, p. 157-164, 2019.

MARTINS, K. A.; PEREIRA, P. S.; LINO, A. P.; GONÇALVES, R. M. Determinação da erosão costeira no estado de Pernambuco através de geoindicadores. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, p. 533-546, 2016.

MASCAGNI, M. L.; SIEGLE, E.; TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Morphodynamics of a wave embayed beach on an irregular rocky coastline. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 2, p. 172-188, 2018.

MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 31, n. 1, p. 117-135, 2009.

MENEZES, A. F.; PEREIRA, P. S.; GONÇALVES, R. M. Uso de geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira através de sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 1, p. 276-296, 2018.

MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystem. **Ecological Economics**, v. 29, n. 2, p. 215-233, 1999.

MONTEIRO, M. C. PEREIRA, L. C. C.; GUIMARÃES, D. O.; COSTA, R. M. Ocupação territorial e variações morfológicas em uma praia de macromaré do litoral amazônico, Ajuruteua-PA, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, p. 91-99, 2009.

MORAES, M. V. A. R.; FREIRE, G. S. S.; MANSO, V. A. V.; COSTA, S. S. L.; PORTELA, J. P. Variações temporais da Linha de Costa do município de Acaraú-Ceará-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 981-989, 2015.

MORAIS, J. O.; PINHEIRO, J. S.; CAVALCANTE, A. A.; PAULA, D. P.; SILVA, R. L. Erosão Costeira em praias adjacentes às desembocaduras fluviais: O caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 8, n. 2, p. 61-76, 2008.

MOREIRA, T. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J. M. A.; PAULA, D. P.; ALVES, D. C. L.; BARROS, E. L.; BENDÔ, A. R. R.; CONCEIÇÃO, T. F. Estudo do comportamento da linha de costa na praia do Icarai (Caucaia, Ceará), a partir dos métodos digital shoreline analysis system e do polígono de mudança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 7, p. 3395-3411, 2020.

MOURA, R. T.; PASSAVANTE, J. O. Taxa de assimilação do fitoplâncton da Baía de Tamandaré – Rio Formoso, PE, Brasil. **Boletim Técnico Científico**, v. 1, n. 1, 1993. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepene/images/stories/publicacoes/btc/vol01/art01vol1.pdf>. Acesso em: 12/04/2022.

MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da Orla Costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 35-44, 2001.

NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. Mudanças climáticas e a vulnerabilidade da zona costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 2, p. 151-177, 2010.

OLIVEIRA, M. R. L.; NICOLODI, J. L. A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 1, p. 91-100, 2012.

OSORIO-CANO, J. D.; ALCÉRRECA-HUERTA, J. C.; MARIÑO-TAPIA, I.; OSORIO, A. F.; ACEVEDO-RAMÍREZ, C.; COSTA, M.; PEREIRA, P.; MENDOZA, E.; ESCUDERO, M.; ASTORGA-MOAR, A.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J.; APPENDINI, C. M.; SILVA, R.; OUMERACI, H. Effects of roughness loss on reef hydrodynamics and costal protection: Approaches in Latin America. **Estuaries and Coasts**, v. 42, p. 1742-1760, 2019.

PEREIRA, S. P.; ARAÚJO, T. C. M.; MANSO, V. A. V. Tropical Sandy Beaches of Pernambuco State. In: SHORT, D. A.; KLEIN, A. H. F. **Brazilian Beach System**. 1º Ed. Switzerland: Coastal Research Library, 2016. p. 251-279.

PERNAMBUCO. Decreto nº 19.635, de 13 de março de 1997. Declara como Área de Proteção Ambiental a região situada nos municípios de Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré e Barreiros. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**.

PERNAMBUCO. Decreto nº 42.010, de 4 de agosto de 2015. Institui a linha de costa da zona costeira de Pernambuco. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**.

PERNAMBUCO. Lei nº 14.258, de 23 de dezembro de 2010. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**.

PORTELLA, D. B.; SANTOS, F. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Morphological and dynamical characterization of Tamandaré Bay, Pernambuco-Brazil. **Tropical Oceanography**, v. 29, n. 1, p. 79-86, 2001.

PORTELLA, D. B.; SANTOS, F. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Morphological and dynamical characterization of Tamandaré bay, Pernambuco – Brazil. **Tropical Oceanography**, v. 29, n. 1, p. 79-86, 2001.

PORTZ, L.; ROCKETT, G. C.; FRANCHINI, R. A. L.; MANZOLLI, R. P.; GRUBER, N. L. S. Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (SIG) na implantação de planos de gestão no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 14, n. 3, p. 517-534, 2014.

PRUDÊNCIO, M. C.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Análise da evolução costeira entre os anos de 1984 e 2014 de trecho do litoral oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)**, v. 42, n. 2, p. 189-205, 2019.

QUATAERT, E.; STORLAZZI, C.; ROOIJEN, A. V.; CHERITON, O.; DONGEREN, A. V. The influence of coral reefs and climate change on wave-driven flooding of tropical coastlines. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 15, p. 6407-6415, 2015.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI. Quantificação de sedimentos transportados por correntes nas praias oceânicas de Salinópolis, nordeste do Pará, Brasil. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 457-471, 2016.

RAZAK, M. S. A.; DASTGHEIB, A.; SURYADI, F. X.; ROELVINK, D. Headland structural impacts of surf zone current circulations. **Journal of Coastal Research**, v. 70, n. esp, p. 65-71, 2014.

REBOUÇAS, A. C. Sedimentos da Baía de Tamandaré, Pernambuco. **Tropical Oceanography**, v. 7, n. 1, 1965.

RIBEIRO, J. S.; SOUSA, P. H. G. O.; VIEIRA, D. R.; SIEGLE, E. Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia de Massaguaçu (SP), Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 3, p. 253-265, 2013.

Roelvink, F. E.; Storlazzi, C. D.; Dongeren, A. R.; Pearson, S. G. Coral Reef Restorations Can Be Optimized to Reduce Coastal Flooding Hazards. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, p. 1-11, 2021.

ROMINE, B. M.; FLETCHER, C. A summary of historical shoreline changes on beaches of Kauai, Oahu, and Maui, Hawaii. **Journal of Coastal Research**, v. 29, n. 3, p. 05-614, 2013.

ROMINE, B. M.; FLETCHER, C. H.; BARBEE, M. N.; ANDERSON, T. R.; FRAZER, L. N. Are beach erosion rates and sea-level rise related in Hawaii? **Global and Planetary Change**, v. 108, p. 149-157, 2013.

ROMINE, B. M.; FLETCHER, C. H.; FRAZER, N.; ANDERSON, T. F. Beach erosion under rising sea-level modulated by costal geomorphology and sediment availability on carbonate reef-fringed island coasts. **Sedimentology**, v. 63, n. 5, p. 1-12, 2016.

ROSA, C. N.; BREMER, U. F.; KAMER, G.; PEREIRA FILHO, W.; HILLEBRAND, F. L.; SOUZA, S. F. Linha de Preamar: uma revisão sobre seus conceitos e implicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, p. 849-858, 2018.

SANDERSON, P. G. A comparison of reef-protected environments in western Australia: The central west and Ningaloo coasts. **Earth Surface Process and Landform**, v. 25, n. 4, p. 397-419, 2000.

SANDERSON, P. G.; ELIOT, I. Shoreline salientes, cusped forelands and tombolos on the coast of western Australia. **Journal of Coastal Research**, v. 12, n. 3, p. 761-773, 1996.

SANTOS, C. R. Proposta de critérios de ordenamento para a área de influência direta sobre a Área de Preservação Permanente (vegetação de restinga fixadora de dunas) do litoral catarinense: bases para uma gestão costeira integrada. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 7, n. 1, p. 17-32, 2007.

SHORT, A. D. Australian beach systems – Nature and distribution. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 1, p. 11-27, 2006.

SIEGLE, E.; COSTA, M. B. Nearshore wave power increase of reef-shaped costal due to sea-level rise. **Earth's Future**, v. 5, n. 10, p. 1054-1065, 2017.

SILVA, E. R. M.; MALLMANN, D. L. B.; PEREIRA, P. S. Análise da estabilidade da Praia do Janga (Paulista, PE, Brasil) utilizando ferramenta computacional. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 15, n. 1, p. 109-120, 2015.

SIMÕES, R. S.; OLIVEIRA, U. R.; ESPINOZA, J. A.; ALBUQUERQUE, M. G.; ALVES, D. C. L. Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 622-640, 2019.

SOUZA, C. R. G. A erosão costeira e os desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p. 17-37, 2009.

SOUZA, C. R. G.; LUNA, G. C. Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob risco muito alto de erosão do município de Caraguatatuba (litoral norte de São Paulo, Brasil). **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 2, p. 179-199, 2010.

SUMMERS, A.; FLETCHER, C. H.; SPIRANDELLI, D. MCDONALD, K.; OVER, J.S; ANDERSON, T.; BARBEE, M.; ROMINE, B. M. Failure to protect beaches under slowly rising sea level. **Climatic Change**, v. 151, n. 1, p. 427-443, 2018.

SUPREMO TRIBUNAL FEDERAL. **Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental nº 748**. 2020. Disponível em: < <https://stf.jusbrasil.com.br/>>. Acesso em: 14/12/2021.

TABAJARA, L. L. C. A.; OLIVEIRA, J. F.; LEITE, P. T.; OLIVEIRA, R. M.; FRANCHINI, R. A. L.; CRITIANO, S. S.; CLAUSSEN, M. R. S. Critérios para a classificação e manejo de costa arenosa dominada por ondas e com intensa ocupação urbana: o caso de Imbé, RS, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 4, p. 409-431, 2013.

TAMANDARÉ. Decreto nº 013, de 10 de setembro de 2003. Cria o Parque Natural Municipal do Forte de Tamandaré. **Acervo de leis, Portal da transparência de Tamandaré – PE**.

TAMANDARÉ. Lei nº 188, de 27 de dezembro de 2002. Dispõe sobre o Parcelamento, o Uso e a Ocupação do Solo Urbano e sobre as Zonas Áreas Especiais localizadas na área rural do Município de Tamandaré. **Acervo de leis, Portal da transparência de Tamandaré – PE**.

TAMANDARÉ. Lei nº 336, de 08 de julho de 2011. Dá nova redação ao inciso I do §1 do art. 56 a Lei nº. 188/2002, que instituiu o Parcelamento, o Uso e Ocupação do Solo. **Acervo de leis, Portal da transparência de Tamandaré – PE**.

TAMANDARÉ. Plano de intervenção na orla marítima de Tamandaré (Projeto Orla). **Ministério do Meio Ambiente**. 2004. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/945.html?Itemid=887>> Acesso em: 14/12/21

TURNER, I. L.; HARLEY, M. D.; DRUMMOND, C. D. UAVs for coastal surveying. **Coastal Engineering**, v. 114, p. 19-24, 2016.

VEENEKEY, V.; SANTOS, P. J. P.; GENEVOIS-FONSÊSCA, V. G. The influence of tidal and rainfall cycles on intertidal nematodes: A case study in a tropical sand beach. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 2, p. 247-256, 2014.

YOUNG, L. R. Wave transformation over coral reefs. **Journal of Geophysical Research**, v. 94, n. 7, p. 9779-9789, 1989.