

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE – UFF
POLO UNIVERSITÁRIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SOCIEDADE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA DE CAMPOS

BEATRIZ FRAZÃO PANICÉ ALEIXO

**MORFODINÂMICA DE PRAIA NA RESTINGA DA PRAIA DO PECADO EM
MACAÉ, RJ**

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2022

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

BEATRIZ FRAZÃO PANICÉ ALEIXO

**MORFODINÂMICA DE PRAIA NA RESTINGA DA PRAIA DO PECADO EM
MACAÉ, RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal Fluminense como
requisito para a obtenção do grau Bacharel em
Geografia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Manuel Rosa Bulhões

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2022

BEATRIZ FRAZÃO PANICÉ ALEIXO

**MORFODINÂMICA DE PRAIA NA RESTINGA DA PRAIA DO PECADO EM
MACAÉ, RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional – UFF, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em ____ de _____ de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Manuel Rosa Bulhões (orientador)
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof.a. Dr.a. Sandra Fernandes de Andrade (avaliadora)
UFF – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Thiago Pinto da Silva (avaliador)
UFF – Universidade Federal Fluminense

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos meus familiares, em especial meus avós que sempre me deram suporte em todas as etapas da minha vida e que acreditam em mim com todos suas forças, sem eles nem metade disso seria possível, serei eternamente grata; e à minha mãe, que também sempre esteve comigo nas turbulências da vida e me apoiou de forma louvável tentando me despressurizar nessas últimas semanas de trabalho. Amo vocês!

Aos meus amigos próximos Letícia, Diego, Laura, que além de serem parceiros de longa data pra tudo, me acolheram por diversas vezes em suas casas em Campos dos Goytacazes. Também agradeço os amigos feitos na universidade e colegas de curso que passaram pela minha vida. Todos vocês ajudaram a tornar essa trajetória muito mais leve, divertida e gostosa de viver, o meu muito obrigado, vocês marcaram uma etapa e irei levá-los comigo sempre: aprendizados, momentos, viagens de campo (!!)..independente de futuros rumos e da distância geográfica.

Também sou grata ao meu namorado, que conheci em meio a esse turbilhão de acontecimentos que é a faculdade e fui reencontrá-lo apenas anos mais tarde, o acontecimento que salvou o meu 2020; além de tudo que ele acrescenta de bom pra minha vida não largou minha mão durante um segundo nesse processo, sempre me colocando pra cima (e ajudando nas traduções de bibliografia, rs).

Por último e não menos importante, é claro, quero agradecer ao meu orientador que aceitou me acolher em seu laboratório em um dos meus últimos semestres na universidade, não me deixou desistir nesse caminho tortuoso e ainda nunca deixou de dizer que acreditava na minha capacidade: muito obrigada, Eduardo!

*“Necesito del mar porque me enseña:
no sé si aprendo música o conciencia:
no sé si es ola sola o ser profundo
o sólo ronca voz o deslumbrante
suposición de peces y navios.
El hecho es que hasta cuando estoy
dormido
de algún modo magnético círculo
en la universidad del oleaje.
No son sólo las conchas trituradas
como si algún planeta tembloroso
participara paulatina muerte,
no, del fragmento reconstruyo el día,
de una racha de sal la estalactita
y de una cucharada el dios inmenso.*

*Lo que antes me enseñó lo guardo! Es
aire,
incesante viento, agua y arena.”*

Pablo Neruda

RESUMO

A morfodinâmica de praias trata de uma abordagem dentro dos estudos costeiros para compreender a gama de interações climatológicas, oceanográficas, geomorfológicas e geológicas que se dá de forma contínua no sistema praial. Sabendo da importância ambiental, social, cultural e econômica das orlas marítimas se cria a necessidade do entendimento acerca da dinâmica costeira a fim de discutir problemáticas como a ocupação desordenada do litoral, que pode acarretar na acentuação da erosão costeira. Por esse ser um problema que não é observado em praias que possuem sua vegetação preservada, realizaram-se monitoramentos dos perfis de praia perpendicularmente à restinga Praia do Pecado, no litoral sul de Macaé, com o intuito de caracterizar a dinâmica morfológica, determinar a variabilidade volumétrica de sedimentos e o padrão morfodinâmico existente no trecho. Foram feitos 11 levantamentos de campo em três pontos da restinga, posteriormente sobrepostos e analisados junto a automatização dos dados e amostras coletadas. Todos pontos de monitoramento apresentaram um padrão refletivo-intermediário, geralmente seguiram uma tendência de estabilidade volumétrica e recuperação após períodos de perturbação (tempestades), atestando a busca da linha de costa pelo equilíbrio, que nesse caso não é afetada pela rigidez de estruturas de origem antropogênica. Os resultados obtidos contribuem em termos quantitativos e também nos debates acerca do desejo local em desapropriar a restinga e instituir um Parque Natural de proteção integral.

Palavras-chave: Orla Marítima, Padrão morfodinâmico, Restinga, Dinâmica costeira, Monitoramento.

ABSTRACT

Beach morphodynamics is an approach within coastal studies to understand the range of climatological, oceanographic, geomorphological and geological interactions that occur continuously in the beach system. Knowing the environmental, social, cultural and economic importance of the coastlines, it is necessary to understand the coastal dynamics in order to discuss issues such as the disorderly occupation of the coast, which can lead to an increase in coastal erosion. As this is a problem that is not observed on beaches that have preserved vegetation, beach profiles were monitored perpendicularly to the Pecado's beach restinga, on the southern coast of Macaé, in order to characterize the morphological dynamics, determine the variability sediment volume and the morphodynamic state existing in the stretch. Eleven field surveys were carried out in three points of the restinga, later superimposed and analyzed together with the automation of the data and samples collected. All monitoring points showed a reflective-intermediate state, generally following a trend of volumetric stability and recovery after periods of disturbance (storms), attesting to the search of the coastline for equilibrium, which in this case is not affected by the stiffness of the human constructions. The results obtained contribute in quantitative terms and also in the debates about the local desire to expropriate the restinga and create a Natural Park of integral protection.

Keywords: Coastlines, Morphodynamic state, Restinga, Coastal dynamics, Monitoring.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Consequências da erosão costeira na orla marítima de Macaé.....	11
Figura 2 - Mapa de localização do município de Macaé.....	14
Figura 3 - Terminologias do sistema praial e suas formas correspondentes na Praia do Pecado, Macaé (RJ).....	20
Figura 4 - Características morfológicas relacionadas aos estados praias.....	23
Figura 5 - Mapa do detalhamento das posições de monitoramento.....	27
Figura 6 - Mosaico ilustrativo dos equipamentos empregados para o levantamento dos perfis de praia.....	28
Figura 7 - Mosaico ilustrativo do método de análise por peneiramento a seco.....	29
Figura 8 - Fluxograma: etapas do método utilizado para o desenvolvimento da pesquisa.....	30
Figura 9 - Sobreposição de perfis de praia referentes ao monitoramento do ponto 1 no arco praial da restinga da Praia do Pecado.....	31
Figura 10 - Sobreposição de perfis de praia referentes ao monitoramento do ponto 2 no arco praial da restinga da Praia do Pecado.....	31
Figura 11 - Sobreposição de perfis de praia referentes ao monitoramento do ponto 3 no arco praial da restinga da Praia do Pecado.....	31
Figura 12 - Variação do estoque sedimentar na porção emersa do P1 entre 2019 e 2021.....	32
Figura 13 - Variação do estoque sedimentar na porção emersa do P2 entre 2019 e 2021.....	33
Figura 14 - Variação do estoque sedimentar na porção emersa do P3 entre 2019 e 2021.....	33
Figura 15 - Imagens comparativas do ponto 1 antes e depois do evento de tempestade.....	34
Figura 16 - Ponto de monitoramento P3.....	35
Figura 17 - Mosaico ilustrativo dos três pontos de monitoramento no ápice de energia das ondas.....	36
Figura 18 - Características morfodinâmicas associadas ao estado dissipativo verificadas no perfil 1.....	38

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Caracterização morfodinâmica segundo Wright e Short (1984) e Muehe (1998) correspondente ao Perfil 1 do trecho da área de estudo.....	37
Quadro 2 - Caracterização morfodinâmica segundo Wright e Short (1984) e Muehe (1998) correspondente ao Perfil 2 do trecho da área de estudo.....	39
Quadro 3 - Caracterização morfodinâmica segundo Wright e Short (1984) e Muehe (1998) correspondente ao Perfil 3 do trecho da área de estudo.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
APP	Área de Proteção Permanente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSI	Coastal Studies Institute
E	Leste
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N	Norte
NE	Nordeste
NM	Nível Médio
NW	Noroeste
RJ	Rio de Janeiro
RTR	Relative Tide Range
S	Sul
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
UC	Unidade de Conservação
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos.....	12
1.2 Justificativa.....	12
2. ÁREA DE ESTUDO.....	13
3. BASES CONCEITUAIS.....	16
3.1 Ecossistemas Costeiros.....	16
3.2 Sistema Praia-Duna.....	18
3.3 Morfodinâmica de Praias.....	20
3.3.1 Parâmetros Adimensionais na Classificação Morfodinâmica.....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são marcados sobretudo por perturbações provenientes do comportamento meteorológico e oceanográfico. Essas interações são constantes em praias oceânicas arenosas e independem aos eventos de tempestade, ou seja, elas se modificam e comprovam sua dinamicidade através da contínua erosão, transporte e deposição dos sedimentos. Ao conjunto de processos, condições e formas atribuídas ao sistema praias emerge a abordagem morfodinâmica de Wright e Thom (1977), que emprega nos estudos costeiros uma perspectiva integrada de caracterização morfológicas e topográficas a tais processos hidro-morfodinâmicos.

A linha de costa é parte constituinte desse mesmo sistema, erroneamente considerada como estável. Assim, torna-se cada vez mais perceptível a sujeição desses ambientes aos processos de urbanização refletidos pelas construções próximas ao perfil ativo da praia. Em Macaé (RJ) e localidades adjacentes, o crescimento urbano recente se despressuriza empurrando a urbanização em direção às áreas litorâneas, onde se observa a construção de todo um sistema que demanda rigidez bem próximo à linha de costa. O resultado disso (Figura 1) é o constante risco de desabamento e destruição frente a eventos de alta energia, como o ocorrido em março de 2011, o qual levou abaixo parte da orla da praia dos Cavaleiros.

Figura 1: Erosão da orla dos Cavaleiros em consequência do evento de tempestade, 2011.



Fonte: Noel Júnior, 2011.

É nessa perspectiva que se dão os monitoramentos de perfis de praia, que são realizados através de levantamentos topográficos com a finalidade de avaliação do comportamento morfodinâmico do litoral. O conhecimento acerca da dinâmica praial abre portas para diagnósticos de problemas que acometem o ambiente em questão.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho possui como objetivo geral a caracterização da dinâmica morfológica de um trecho do ecossistema costeiro localizado na praia do Pecado, dentro do município de Macaé (RJ), através de monitoramento morfodinâmico. Possui como objetivos específicos:

- a) determinar a variabilidade volumétrica do perfil emerso da praia por meio do monitoramento periódico;
- b) determinar o padrão morfodinâmico existente;
- c) contribuir com dados quantitativos à análise do meio físico;

1.2 JUSTIFICATIVA

As formas de uso e ocupação do solo próximas à linha de costa causam perturbações no sistema costeiro, e isso traz diversas implicações que podem gerar vulnerabilidades. Com relação à Macaé, a instalação das unidades da Petrobrás no final da década de 70 promove profundas transformações no município nos âmbitos econômico, estrutural, cultural, territorial e ambiental. O processo de urbanização que esse período compreende impulsiona a modificações na economia, antes voltada à agroindústria açucareira, para se inserir na cadeia produtiva do petróleo (JERONYMO *et al.*, 2017). Essas mudanças trouxeram, ainda consoante a Jeronymo *et al.* (2017), modificação também no uso e cobertura da terra da cidade, provocando um processo de ocupação desordenada em áreas de risco, ecossistemas frágeis, áreas protegidas e degradadas, sem devida infraestrutura urbana ou políticas públicas de gestão do território. Em contrapartida também pontuam que o movimento de adensamento urbano não se deu apenas pela instalação de assentamentos humanos de baixo poder aquisitivo, mas também por empreendimentos industriais e moradias de alto poder monetário, como no caso da ocupação das restingas das praias Campista, Cavaleiros e Pecado, onde se

regularizaram bairros residenciais mesmo sendo Áreas de Proteção Permanente, e onde hoje se fazem remanescentes apenas fragmentos de restinga.

Diante desses acontecimentos se mostra imprescindível o conhecimento acerca da dinâmica costeira local, uma vez que as orlas marítimas representam áreas de interesse social, cultural e econômico, conseqüentemente se tornando, também, um espaço atravessado por tensões socioambientais frente ao avanço do pensamento mercantil acerca da natureza, dominação do território e uso dos recursos naturais. Mesmo com a difusão dos estudos costeiros, ainda é passível de se observar a falta de planejamento territorial e diretrizes no que diz respeito a essa problemática junto a ocupação desenfreada do litoral, que acentua a erosão costeira. Vale ressaltar que esse processo de erosão é natural e está associado a diversos fatores físicos, porém vem sendo agravado mediante ações antropogênicas, agentes modeladores da zona costeira.

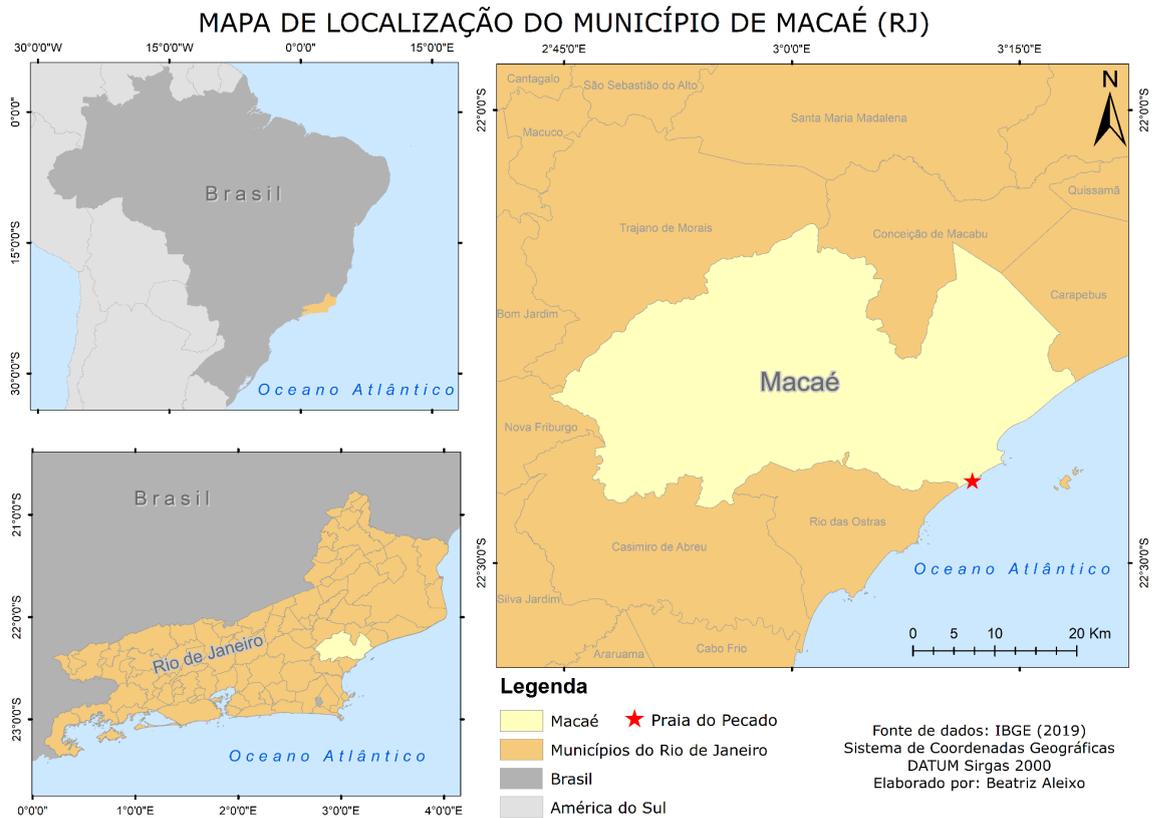
2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo enfocada por esse trabalho se localiza na porção de praia que abrange a restinga da praia do Pecado, ao sul do município de Macaé, conforme ilustrado pela Figura 2. Como aponta Muehe (2018), essa área está contida no litoral oriental do Rio de Janeiro, macrocompartimento da Bacia de Campos, dentro do subcompartimento que se inicia na desembocadura do rio Macaé e se estende até o cabo Búzios. A orientação dessa porção do continente em relação ao oceano se dá de forma que o expõe diretamente a eventos de tempestades vindas de Sudeste e Su-Sudeste. No mesmo arco praial da restinga da praia do Pecado há evidências de erosão pontual e eventual destruição da orla por efeito de tempestades (MUEHE, 2018).

Guimarães *et al.* (2008) concluíram em seus estudos que essa parte do litoral é caracterizada por praias encaixadas entre pequenos promontórios rochosos do embasamento cristalino as quais predominam praias de alta energia, sendo essas Campista, Cavaleiros e Pecado; estando submetidas a alternâncias entre ondas de tempo bom e de tempestade, que estão diretamente relacionadas ao padrão bimodal dos ventos e ondas da região. Pela influência direta do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul durante o ano inteiro na região Sudeste do Brasil, o clima de ondas no litoral do Rio de Janeiro se daria pela interação desses

sistemas de maior escala (Alta Pressão-Baixa Pressão) com os ventos locais, sofrendo processos de dissipação de energia (difração e refração) à medida que chegam à costa.

Figura 2: Mapa de localização do município de Macaé. (Elaborado pela autora)



Tratando especificamente da área de estudo, de acordo com Pinho (2003) *apud* Guimarães *et al.* (2008), os ventos dominantes referem-se ao quadrante N, NE, E com predomínio do quadrante NE pela influência do sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul. Já os ventos de S, SE estariam relacionados à passagens periódicas de frentes frias, que costumam atingir a região no outono e inverno, com ventos rodando para N e NW (pré frontais) e SW, S e SE (pós-frontais). Para classificar o sistema hidrometeorológico dominante na região, os autores citados ainda analisam e elencam quatro condições de mar, que englobam situação de bom tempo, situação de bom tempo com marulhos de sul, situação de tempestade de SW e situação de tempestade de SE. No que diz respeito às condições oceanográficas, caracteriza as marés da região como semidiurna com desigualdades diurnas, com duas preamar e duas baixas mar diárias.

Nesse mesmo estudo, os autores atribuem a essa área um padrão intermediário com tendência a refletivo caracterizado a partir do modelo morfodinâmico de Short, onde o

Indicativo de direção vetorial (de transporte de sedimentos) verificado entre o Pecado e Cavaleiros provavelmente reflete que estes trechos do litoral são mais sensíveis aos efeitos de ondas de tempestade, que tem origem no quadrante sul, e impulsionariam os sedimentos mais finos na direção nordeste, que seriam incorporados à praia direcionando estas para características com tendências mais intermediárias (GUIMARÃES *et al.*, 2008, p. 11).

A restinga da Praia do Pecado compõe um complexo de restingas do delta do Rio Paraíba do Sul (Restinga de Jurubatiba) e possui uma área equivalente a 163.000 metros quadrados dentro de um espaço urbano totalmente adensado, sendo considerado um dos bairros mais nobres da malha urbana em Macaé. Esse fragmento tem sido objeto de tensões no que diz respeito a sua manutenção e preservação a partir da criação de uma UC, a qual Castro *et al.* (2019) sustentam a hipótese de implementação através de argumentos legais e científicos. É no seio dessa problemática que surgem movimentos ambientais pela cidade, oferecendo resistência às consequências do desenvolvimento e impactos do extrativismo do petróleo. As tensões giram em torno da preservação da Praia do Pecado, onde há um breve trecho isento de construções e comércios, abrigando uma faixa de restinga que ainda resiste às forças urbanizantes (SILVA, 2019). Dos enfrentamentos com o poder público surgem grupos como o Movimento S.O.S Praia do Pecado, que reúne surfistas e ambientalistas em prol da manutenção do território natural da restinga em contraponto aos interesses do capital privado desde a década de 90 (CASTRO *et al.* 2020).

Castro *et al.* (2019) mostram compreender a necessidade da preservação da área (e, consequentemente, das espécies), além de sustentarem argumentos científicos na luta pela criação de uma Unidade de Conservação na localidade. No ano de 2014 se observaram resultados dessas pressões populares com a assinatura do Decreto Municipal nº 054/2014, que previa a desapropriação da área a fim da conservação de suas características naturais e uso sustentável. Entretanto, denota-se o enfraquecimento dessa pauta e a persistência dos conflitos.

Em seus dois trabalhos, Castro e colaboradores (2019; 2020) contribuem com questões legais e ambientais no que diz respeito à flora e fauna para fundamentar a criação do Parque Natural da Restinga da Praia do Pecado. Sob essa ótica, o que será analisado no presente

trabalho, pelo ponto de vista geomorfológico, resgata a importância da preservação dos ambientes costeiros. Uma vez que, além de cooperar com a manutenção da biodiversidade, a vegetação e a zona costeira possuem papel significativo na prevenção de inundações, erosão costeira e intrusão salina, e também na proteção contra tempestades (BRASIL, 2010). Em outras palavras, exerce grande importância na relativa “estabilização” do aporte sedimentar dentro de uma área que compreende constante intercâmbio e transporte de sedimentos. Os levantamentos regulares na zona costeira fornecem dados úteis para fins de monitoramento, logo, permitem o reconhecimento da variação e dinâmica morfológica dentro de uma determinada temporalidade. Com isso, o trabalho pretende contribuir no debate acerca da criação de bases teóricas e proporcionar auxílio na institucionalização da UC da Restinga da Praia do Pecado.

3. BASES CONCEITUAIS

3.1 Ecossistemas Costeiros

Os ambientes costeiros se estendem pelos cerca de 10.800 quilômetros da costa brasileira e “essa abrangência latitudinal, com ampla variedade climática e geomorfológica, é um dos fatores principais a explicar a diversidade de espécies e de ecossistemas existentes ao longo do litoral brasileiro” (BRASIL, 2010).

A concentração de nutrientes e outras condições ambientais, como os gradientes térmicos e a salinidade variável, somadas à oferta de excepcionais condições de abrigo e de suporte à reprodução e à alimentação nas fases iniciais da maioria das espécies que habitam os oceanos, conferem aos ambientes costeiros o estatuto de um dos principais objetivos de conservação ambiental visando a manutenção da biodiversidade. (BRASIL, 2010, p. 15)

São ambientes extremamente dinâmicos, palco de processos terrestres, oceânicos e atmosféricos que resultam em constante transformação local dentro de escalas temporais muito curtas, também considerando as variáveis regionais (ANGULO, 2004). Bem como se faz importante compreender os longos processos que originaram a configuração costeira atual a fim de traçar previsões acerca do comportamento futuro da zona costeira, Angulo (2004) salienta que também é imprescindível estar ciente aos processos oceanográficos de curto período, como as características das ondas e marés, velocidade, intensidade e direção das correntes marinhas, balanço sedimentar, modificações e recuperação após eventos de

tempestade, a fim de analisar a dinâmica costeira e compatibilizá-la com a ocupação costeira. É, além disso, considerada uma região de papel vital em termos ecológicos no que diz respeito ao desenvolvimento e reprodução de espécies, uma vez que seria uma área de transição ecológica, “um complexo de ecossistemas contíguos - ou ecótonos - formadores de ambientes de alta complexidade ecológica e de extrema relevância para a sustentação da vida no mar” (MMA, 2010, p. 14).

A restinga, elemento constitutivo do ambiente costeiro, é definida pelo IBGE (2004) como a vegetação que se estende pelas planícies litorâneas, distribuídas de forma descontínua e adaptadas às condições às quais estão submetidas: de salinidade, clima, temperatura, solos arenosos e pouco desenvolvidos. De acordo com Lamego (1946), a presença de vegetação à linha de maré alta possui um papel muito importante na estabilização do substrato frente à ação de agentes erosivos, principalmente da ação dos ventos, de modo a manter a topografia “intocada”.

Do ponto de vista geomorfológico, o sentido de restinga engloba o conjunto dos depósitos arenosos costeiros. A gênese dos substratos arenosos que constituem os cordões arenosos teve como influência os ventos, deriva litorânea e os períodos de transgressões e regressões marinhas que datam do Pleistoceno. Quanto ao sentido biótico, abriga o conjunto das comunidades que existem sobre esses mesmos depósitos, que é variado em termos de vegetação e fauna; e variável no que diz respeito à diferenciação geográfica, ecológica e histórica (CERQUEIRA, 2000).

Visto isso, se faz de extrema necessidade a proteção desses ecossistemas, definidos como Áreas de Proteção Permanente (APP) pela Lei Federal 12.651/12, estabelecendo em seu Art. 4o: “*Art. 4o Consideram-se de preservação permanente, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: (...) VI - Nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues*” (Brasil, 2012). Complementar à Lei em questão, Borges *et al.* (2009) pontuam a ação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), principal órgão consultivo do MMA, frente à disponibilização dos critérios técnicos e regulamentares para identificação e proteção de áreas como APP. Ainda de acordo com os autores, o arcabouço jurídico associado às mesmas leva ao entendimento que essas áreas não devem sofrer intervenções.

Entretanto, há uma quebra na evolução desses aspectos no ano de 2020, quando, sob a presidência do ministro Ricardo Salles, o CONAMA revoga quatro resoluções e flexibiliza regras de proteção ambiental¹, sendo duas (Resoluções 302/02 e 303/02) que asseguravam restrição ao desmatamento e ocupação de APPs e vegetação natural, como restingas e manguezais. As implicações disso para os ecossistemas costeiros abrem portas para a expansão e especulação imobiliária, fomentando a ocupação na orla marítima e, por consequência, gerando problemas como erosão, inundação, contaminação e poluição das águas, degradação e destruição dos ecossistemas e recursos costeiros (ANGULO, 2004), que acabam por contribuir para a transfiguração dessas áreas de maneira até mesmo irreversível.

3.2 Sistema Praia-Duna

As praias arenosas compõem um sistema morfológico altamente variável, considerando sua caracterização extremamente dinâmica em resposta aos fatores condicionantes do deslocamento de sedimentos. Dentro dessa temática é importante mencionar a preocupação com as formas e as diferentes tipologias que são atribuídas a cada elemento a fim de proporcionar um ponto de partida para o entendimento e análise dos processos que envolvem o sistema praial.

A morfologia da zona costeira é resultante da troca de sedimentos entre a mesma e a plataforma continental, e da atuação dos aspectos oceanográficos (ondas, vento, maré) sob os depósitos de areia em escalas de tempo geológico até eventos que estão a acontecer continuamente. É essa troca que vai ser determinante na forma e na mobilidade da praia (SHORT e HESP, 1982), ou seja, do seu movimento normal à linha de costa. Essa, por sua vez, se apresenta como o palco principal dessas interações e sofre transformações de acordo com a magnitude e a frequência da energia das ondas, que movimentam sedimentos entre antepraia e praia e em direção à *offshore* em condições de tempestade (AAGAARD, GREENWOOD, HUGHES, 2013). É esse movimento, junto às formas morfológicas

¹ Em outubro de 2020 (enquanto o trabalho ainda estava sendo escrito) a Resolução foi suspensa pelo Supremo Tribunal Federal (STF) em decisão liminar, devolvendo, assim, a proteção às áreas de restinga, manguezais e reservatórios.

derivadas (e, conseqüentemente, o perfil de praia), que contribuirá para definir o caráter morfodinâmico do sistema praial.

Pujol e Orfila (2020) afirmam que em um perfil transversal de praia são compreendidas características como altura, largura, declividade e volume de sedimentos, que estão abrangidas desde o limite marítimo onde os sedimentos são transportados pelas ondas em direção à costa (zona de arrebentação e zona de surfe) até o limite superior do espraiamento, a praia e a retropraia, na qual geralmente começa a aparecer a vegetação. Ainda no que se trata das terminologias, Muehe (2019a) atesta a adequação das denominações empregadas à geomorfologia costeira na língua portuguesa. Um perfil típico se estende da praia (na base da duna frontal) em direção à plataforma continental interna, ou seja, de forma a compreender todas as feições emersas e submersas. A retropraia (Figura 3) configura o limite superior do perfil, que termina na base de dunas frontais ou escarpas erosivas; indo em direção ao mar, em zona limítrofe com a retropraia, geralmente se apresentam superfícies horizontais ou sub-horizontais denominadas bermas, de tempestade, vegetadas ou não. Ainda na parte emersa da praia, a linha de costa se torna referência para o que está a sua retaguarda ou a sua frente, sendo o caso da face da praia, uma zona de espraiamento e refluxo de ondas.

A antepraia, parte submersa do perfil, se subdivide em antepraia inferior e superior, onde estão contidas as zonas de surfe e arrebentação. É na zona de surfe em que a profundidade do leito é reduzida, aumentando, por consequência, a esbeltez das ondas que chegam à costa até levá-las à ruptura e ao espraiamento na face praial. Assim, durante esse processo, podem ser desenvolvidos bancos de areia ou outras formas que vão definir o estado morfodinâmico da praia. A profundidade do perfil tende a aumentar gradativamente de forma que atinja a profundidade de fechamento, área que marca o limite da zona de arrebentação e onde há redução na capacidade de mobilização de sedimentos do fundo pela ação das ondas, posteriormente o perfil se torna mais retilíneo até se juntar à plataforma continental interna (MUEHE, 2020).

Figura 3: Na foto são representadas terminologias do sistema praial e suas formas correspondentes na Praia do Pecado, Macaé (RJ) (Elaborado por Eduardo Bulhões).



3.3 Morfodinâmica de praias

A morfodinâmica de praias se refere à forma de compreender as interações decorrentes do processo de arrebentação de ondas frente à costa em uma determinada escala espacial e temporal, ou seja, na interrelação contínua entre a resposta do leito aos processos contínuos que envolvem a zona costeira. Essa abordagem para entender os sistemas costeiros e principalmente praias arenosas envolve todo o espectro da morfologia costeira numa escala temporal que vai dos processos milenares até o momento instantâneo, a fim de propiciar o reconhecimento da gama de interações que ocorrem em todo o sistema praial e que se dá de forma contínua nesse espaço-tempo, como a relação das marés, dos ventos, da morfologia e geologia, das características sedimentares e biota; A mesma também explica a transição nos processos e forma em todo o espectro de praias de alta energia até baixa energia (SHORT e JACKSON, 2013).

Essa abordagem, datada dos anos 60 e desenvolvida por cientistas do *Coastal Studies Institute* (CSI) da Universidade de Louisiana, possui foco no estudo da interação entre forma e processo dentro do sistema costeiro. Entretanto, o termo morfodinâmica é introduzido na literatura costeira apenas a partir de 1977 por Wright e Thom, que a definiram envolvendo as

análises acerca do caráter e a variabilidade espaço-temporal das condições ambientais costeiras; dos processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos de interação e transformação que operam dentro do sistema costeiro e produzem padrões morfológicos e mudanças morfológicas; e das sequências evolutivas de curto e longo prazo que produzem morfologias e estratigrafias preservadas, e que alteram progressivamente o ambiente dinâmico e as combinações de processos. A interação entre todos os processos hidro-morfodinâmicos leva a mudanças que tendem a manter um equilíbrio dinâmico em todo o sistema de praia (SHORT e JACKSON, 2013).

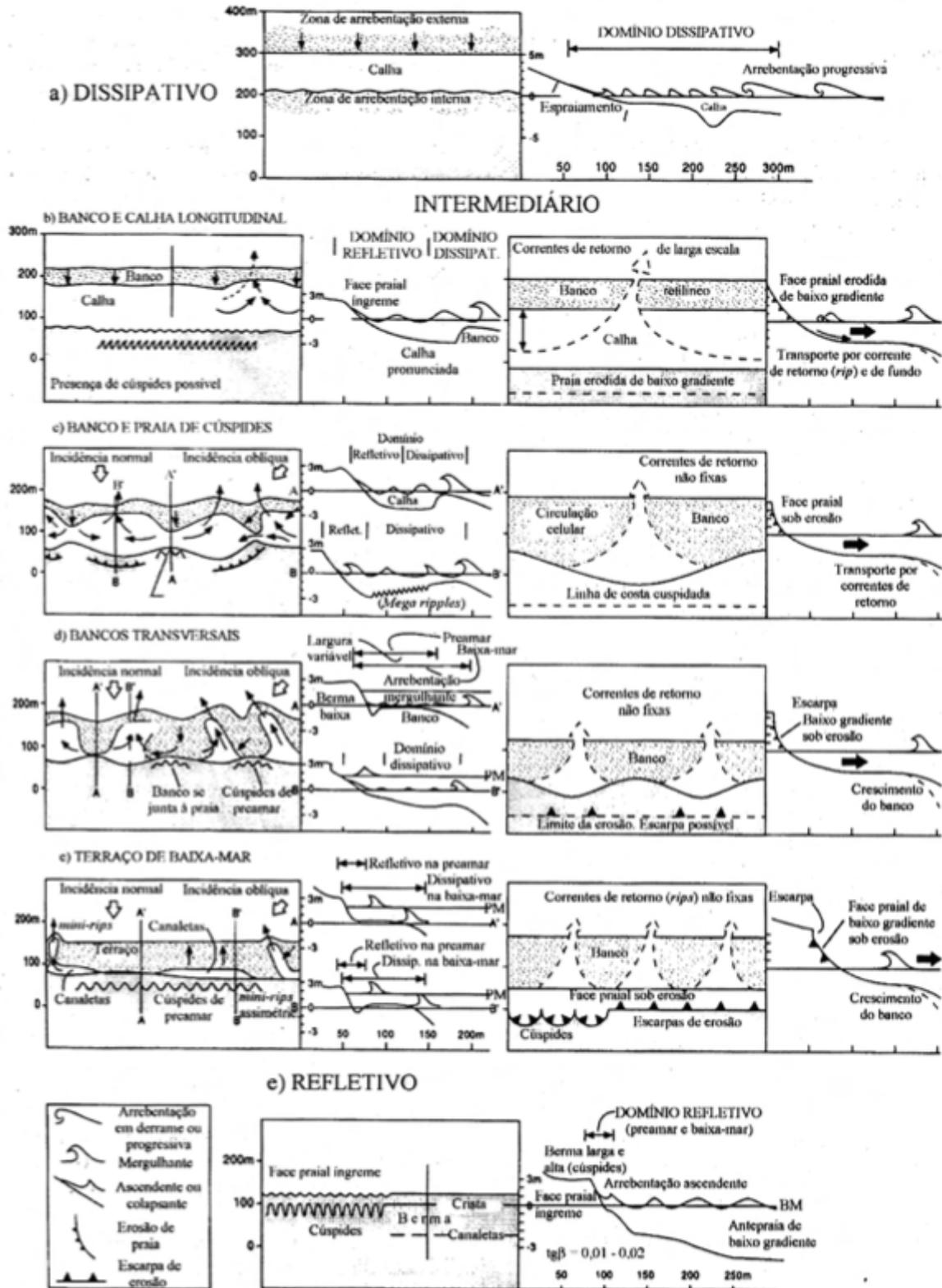
Os esforços em pesquisas a respeito da hidrodinâmica e morfologia ao longo da costa australiana resultaram na elaboração de modelos conceituais que buscam caracterizar os estados de praia e sua evolução a curto prazo, dos quais o modelo de classificação de Wright e Short (1984) possui destaque em termos de utilização. Isso foi possível através da adoção de termos quantitativos ou parâmetros adimensionais, que estão relacionados às características que influem na velocidade de queda adimensional e descrevem variação de volume e hidrodinâmica de praia e processos de transporte de sedimentos, sendo estes: parâmetro de escala de surfe (ϵ), parâmetro de similaridade de surfe (ξ), parâmetro ômega (Ω), parâmetro de amplitude relativa da maré (RTR) e parâmetro delta (Δ), todos posteriormente descritos no subitem 3.3.1 deste capítulo.

Os seis diferentes estados morfodinâmicos resultantes são classificados de acordo com a natureza das transformações que ocorrem em águas rasas, em virtude da energia das ondas que chegam à costa. Isso levou à caracterização de estados refletivos, quando a energia é refletida na face da praia, ou dissipativos, quando ela é dissipada a partir da zona de arrebentação. Os outros quatro estados restantes foram distinguidos dentro de um padrão intermediário que se apresenta quando as praias possuem tanto elementos refletivos quanto dissipativos, sendo: Banco e Calha Longitudinal e Banco e Praia rítmicos ou de Cúspides, que podem se desenvolver numa sequência acrescional a partir de um perfil dissipativo, Bancos Transversais e Terraço de Baixa Mar, o qual dentre esses possui menor nível de energia. Cada um desses estados reflete morfologias únicas e bem definidas na costa, uma vez que as diferentes formas do perfil de praia e os padrões resultantes da interação com as ondas criam diferentes padrões espaciais de transporte de sedimentos (AAGAARD *et al.*, 2013).

De uma forma geral, os sedimentos da face da praia são mobilizados à medida em que as turbulências provenientes das ondulações se aproximam da costa e se deparam com a diminuição da profundidade, os disponibilizando na coluna d'água. Depois, eles são transportados pelas correntes provenientes das ondas e marés e depositados de acordo com sua granulometria: os mais finos permanecem em suspensão por um maior período de tempo e depositados em condições de baixa energia, enquanto os mais grossos podem ser depositar em condições de energia mais alta (AAGAARD *et al.*, 2013). Dessa forma a areia será organizada de modo a compor um tipo de praia. Variáveis como a altura de onda na arrebentação (H_b), período de onda (T), densidade, tamanho e o formato dos sedimentos, declividade da face da praia, amplitude de maré, tempo e distância de espraiamento, e velocidade da queda do grão, segundo Wright e Short (1984), serão determinantes na definição do estado da praia, uma vez que praias refletivas estão relacionadas a uma menor altura e maior período de ondas e sedimentos maiores, grossos, e densos; enquanto as condições que favorecem praias dissipativas se contrapõem a essas, demonstrando maior altura e menor período das ondas, com sedimentos menores e finos.

O estado modal da praia é, então, dependente do clima local das ondas e dos parâmetros que os sedimentos apresentam (PUJOL e ORFILA, 2020), sendo descrito, ainda pelos mesmos autores, num espectro contínuo que se manifesta em ciclos de erosão e acreção de areias, sucessivamente de acordo com a sensibilidade do sistema frente às mudanças de altura e período de ondas. As praias dissipativas configuram o extremo energético do continuum de praia, sendo caracterizadas por zonas de surfe largas e suavemente inclinadas e tendendo a apresentar uma morfologia estável. Por esses motivos as ondas incidentes chegam à praia dissipando-se, e a caracterização dos sedimentos (compactos/finos) em meio aos fluxos de retorno favorece um transporte direcionado para o mar. Dessa forma, a resposta morfodinâmica se configura em uma migração de barra em direção ao mar (Figura 4), acentuando, portanto, a diminuição da inclinação da praia que aumenta mais ainda a dissipação das ondas (PUJOL e ORFILA, 2020). Quanto ao padrão reflexivo, diz respeito às praias que apresentam uma praia e zona de swash estreita, com uma certa inclinação na face da praia que tende a ser acentuada pela quebra de ondas frente à costa; se dá, assim, início a sequência erosiva.

Figura 4: Características relacionadas aos estados praias desde a sequência do extremo energético do continuum de praia (a), passando pelos estados intermediários (b, c, d, e) até o estado refletivo (f). Adaptado de SHORT, 1999 e reproduzido de CALLIARI *et al.*, 2003.



3.3.1 Parâmetros adimensionais na classificação morfodinâmica

Conforme descrito em nota técnica (OLIVEIRA e FERNANDEZ, 2021) o primeiro parâmetro adimensional se trata do parâmetro de Escala de Surfe (ε) (GUZA e INMAN, 1975). O mesmo apresenta a relação do movimento periódico das ondas (ondas de borda ou *edge waves*) com o desenvolvimento de células de circulação (cúspides de praia), assim estabelecendo os valores de referência (WRIGHT e SHORT, 1984) dos estados modais mais extremos, sendo o $\varepsilon < 2,5$ refletivo e $\varepsilon > 20$ dissipativo (menor e maior energia, respectivamente) e intermediários a partir dessa dominância de ondas de borda em zonas de surfe dissipativas em comparação com zonas de surfe refletivas, expressas pela equação:

$$\varepsilon = a_b \omega_i^2 / g \cdot \tan^2 \beta$$

Onde a_b é a amplitude da onda na arrebentação, ω_i^2 a frequência angular da onda incidente, g é igual a aceleração da gravidade e β a declividade do perfil da praia.

O parâmetro de Similaridade de Surfe (ξ) (WRIGHT e SHORT, 1984) também permitiu a caracterização dos estados modais ao determinar aspectos relacionados a zonas de surfe dissipativas e refletivas como a ocorrência e o tipo de quebra da onda (ascendente, progressiva ou mergulhante), a distância alcançada pelo espraiamento, a forma de dissipação da energia das ondas. É descrito (BATTJES, 1974) pela equação:

$$\xi = \tan \beta / (H_b / L_0)^{0,5}$$

Na qual estão expressas tangente do ângulo de declividade da praia ($\tan \beta$), altura da onda na quebra (H_b), e comprimento de onda em águas profundas (L_0). Os valores de referência (WRIGHT e SHORT, 1984) de classificação morfodinâmica estabelecidos pelo parâmetro em questão possuem valores $\xi > 1,25$ para praias refletivas, $\xi < 0,3$ para dissipativas e intermediárias $0,3 < \xi < 1,25$.

O parâmetro ômega (Ω), outrora utilizado na identificação da direção do transporte transversal de sedimentos (*onshore/offshore*), é utilizado por Wright e Short (1984) para classificação morfodinâmica em seis estados modais, porém definindo uma distinção entre

apenas os três estados principais, sendo praias refletivas ($\Omega < 1$), intermediárias ($1 < \Omega < 6$) ou dissipativas ($\Omega > 6$) e obtido pela equação:

$$\Omega = H_b / W_s T$$

Onde H_b representa a altura da onda na zona de arrebentação, W_s a velocidade de decantação do grão e T o período de ondas. As tentativas de relacionar tal parâmetro às mudanças entre os mesmos seis estados modais deram origem ao parâmetro ômega de equilíbrio (Ω_e) (WRIGHT, SHORT, GREEN, 1985), os relacionando também às condições de equilíbrio e identificando estados Terraço de Baixa-Mar, Banco Transversal, Banco e Praia de Cúspides e Banco e Calha Longitudinal.

O parâmetro *Relative Tide Range* (RTR) deriva de esforços para a adequação da classificação morfodinâmica às diferentes praias com todo tipo de amplitude de maré, principalmente de meso e macromarés, tendo em vista que o parâmetro ômega (Ω) se restringia apenas às praias expostas e em regime de micromaré. Dessa forma, o parâmetro RTR apresenta relação entre a amplitude média de variação das marés de sizígia (a diferença entre a altimetria máxima da preamar e a altimetria mínima da baixa-mar) e a altura das ondas na arrebentação, expressas em:

$$RTR = AM / H_b$$

Por fim, o parâmetro delta (Δ) é elaborado por Muehe (1998) diante da baixa correlação entre o parâmetro ômega (Ω) e o estado modal observado em campo e da dificuldade na obtenção de dados diários para determinação de valores do parâmetro ômega de equilíbrio (Ω_e), que relaciona os estados morfodinâmicos às condições de equilíbrio (intermediário). Assim, é proposta uma classificação em cinco estados distintos entre si, semelhantes aos de Wright, Short e Green (1985), porém com exceção do “banco e praia de cúspides” por não ter sido observado em campo durante a elaboração do parâmetro delta. O mesmo será definido por:

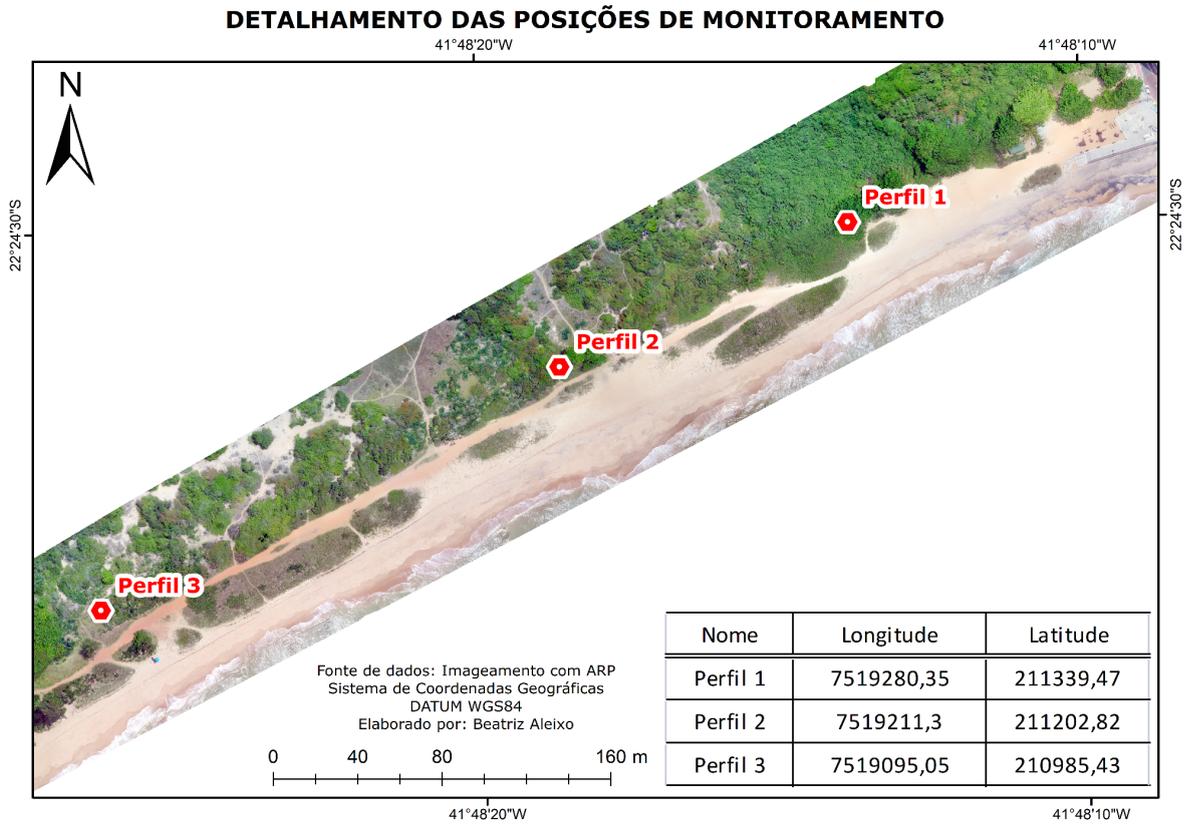
$$\Delta = (\text{sen}\beta \cdot D_{\text{esp}}) / H_b / T_{\text{esp}} / T,$$

onde a altura alcançada pelo espraiamento na face de praia ($\text{sen}\beta \cdot \text{Desp}$) e a altura de onda na arrebatção (H_b) será dividida pela razão entre o tempo de espraiamento e o período de tempo de passagem de uma onda.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo do estudo em questão se deram a partir do estabelecimento de três pontos de monitoramento ao longo da extensão da restinga da Praia do Pecado (Figura 5), onde foram realizados perfis topográficos transversais à costa que, inicialmente, seriam coletados em períodos mensais tendo como início o mês de outubro de 2019. Porém tiveram de ser interrompidos no mês de março de 2020 em decorrência da pandemia de COVID-19, sendo retomados apenas em agosto de 2020. A partir daí, os monitoramentos começaram a se dar em intervalos de tempo mais curtos, não seguindo necessariamente uma proporcionalidade temporal. Quanto ao estabelecimento da posição dos perfis transversais e pontos de monitoramento, respectivamente: se iniciam na base das dunas frontais em direção à plataforma continental interna a fim de conter todas as feições e características dessa superfície no relevo, e se obedeceu um ordenamento entre duas porções mais distais, localizados nas extremidades dos aproximadamente 600 metros do arco praial compreendido pela área de estudo, atravessados por um ponto intermediário.

Figura 5: Mapa com detalhamento das posições de monitoramento.

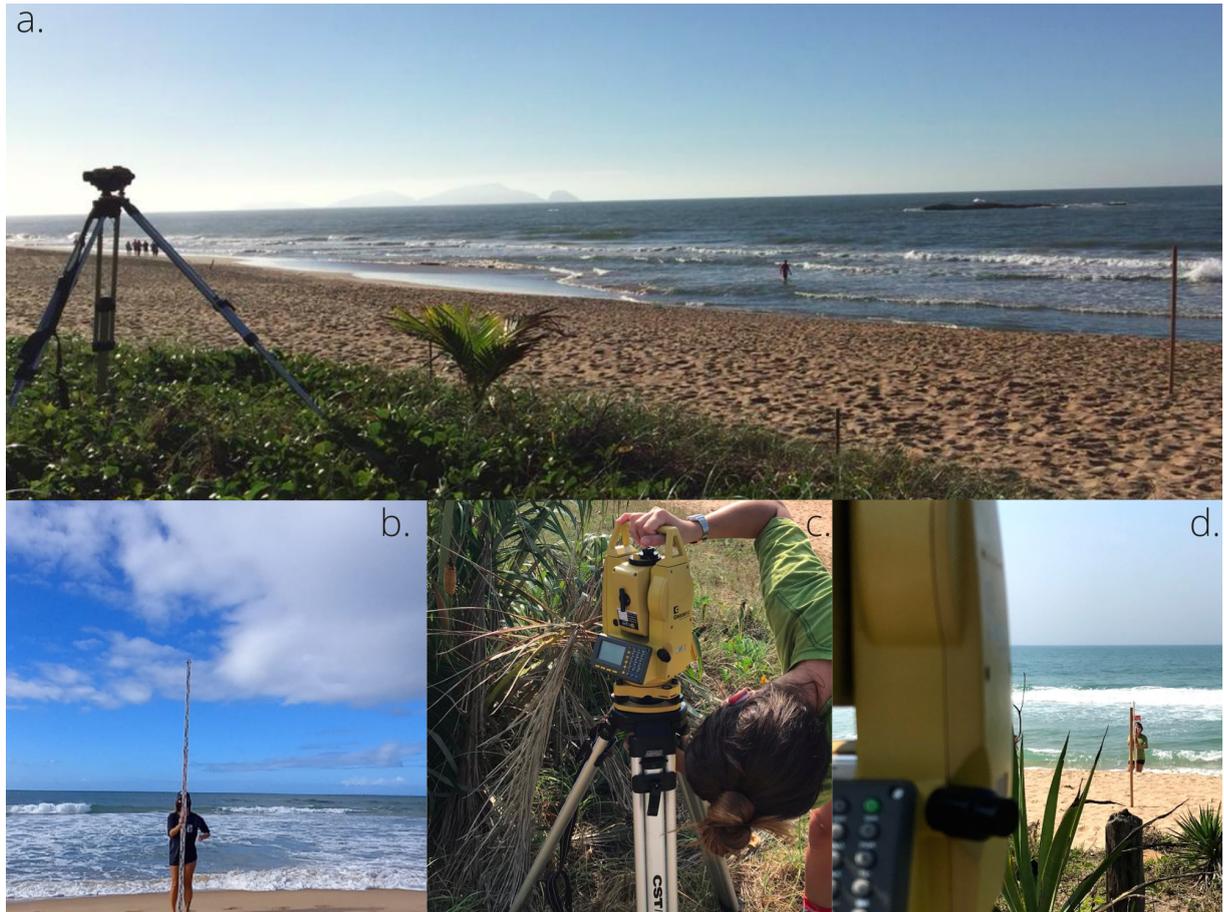


Os levantamentos topográficos em cada perfil foram realizados com a utilização do nível óptico, régua graduada e trena associados ao uso da Estação Total e do prisma de reflexão (Figura 6) e à coleta de sedimentos da berma e da face de praia ao longo dos três pontos de monitoramento. Muehe *et al.* (2019b) verificaram não haver diferenças significativas na precisão dos métodos utilizados para o levantamento de perfis de praia. A partir de um referencial de nível instalado em cada posição de monitoramento foram levantados 11 perfis sucessivos para cada posição entre os anos de 2019 e 2021. A frequência dos levantamentos de campo foi fortemente prejudicada pela pandemia de COVID-19.

No que diz respeito à altimetria, houve um ajuste ao nível médio do mar realizado através do método expedito proposto por Muehe *et al.* (2003) a partir da detecção da altura relativa do ponto de refluxo (reco) máximo da onda na face da praia, no momento do levantamento, e seu ajuste ao nível médio local (NM), utilizando a previsão da tábua de marés do porto mais próximo, neste caso o Terminal Portuário de Imbetiba, localizado 4,5 km ao norte da área de estudo. Tal procedimento tem sido utilizado de forma eficiente na realização de centenas de levantamentos topográficos pelas equipes de geomorfologia costeira da UFRJ,

da UFF, dentre outras. Os resultados foram calculados utilizando planilhas eletrônicas onde também foi produzida a representação gráfica.

Figura 6: Mosaico ilustrativo dos equipamentos topográficos empregados para o levantamento dos perfis de praia: a. e b. mostram, respectivamente, nível óptico e régua graduada posicionados no perfil (dia 12/08/2020), c. e d. mostram Estação Total e prisma de reflexão ao fundo.



Para cada levantamento de perfil de praia foram registradas informações através de métodos observacionais como o período de ondas, altura de ondas na arrebentação, tempo de espraiamento/refluxo, cotas do alcance máximo e do recuo máximo da onda na face da praia e direção estimada do transporte longitudinal, conforme os métodos descritos em Bulhões (2011). Foram também coletadas amostras de sedimentos da berma e da face da praia.

A análise das amostras de areias foi feita no Laboratório de Geologia e Análise de Sedimentos da UFF Campos, utilizando o método do peneiramento a seco (Figura 7). O primeiro passo foi a retirada do conteúdo de sais dissolvidos através de sucessivas lavagens com 800ml de água destilada. Em seguida, as amostras foram levadas à estufa a 100°C para a

secagem por evaporação. O tempo dependeu da quantidade de água remanescente, mas normalmente em 24 horas as amostras foram retiradas da estufa.

Figura 7: O mosaico ilustrativo mostra a análise por peneiramento a seco, onde se tem na figura a. as amostras após secagem na estufa; na figura b. as areias sendo inseridas no quarteador de Jones, onde se realiza a randomização das amostras; em c., o agitador eletromagnético em funcionamento com o jogo de peneiras; e d., por fim, a etapa de pesagem da fração de areia retida em cada uma das peneiras. (Fonte: Autoria própria)

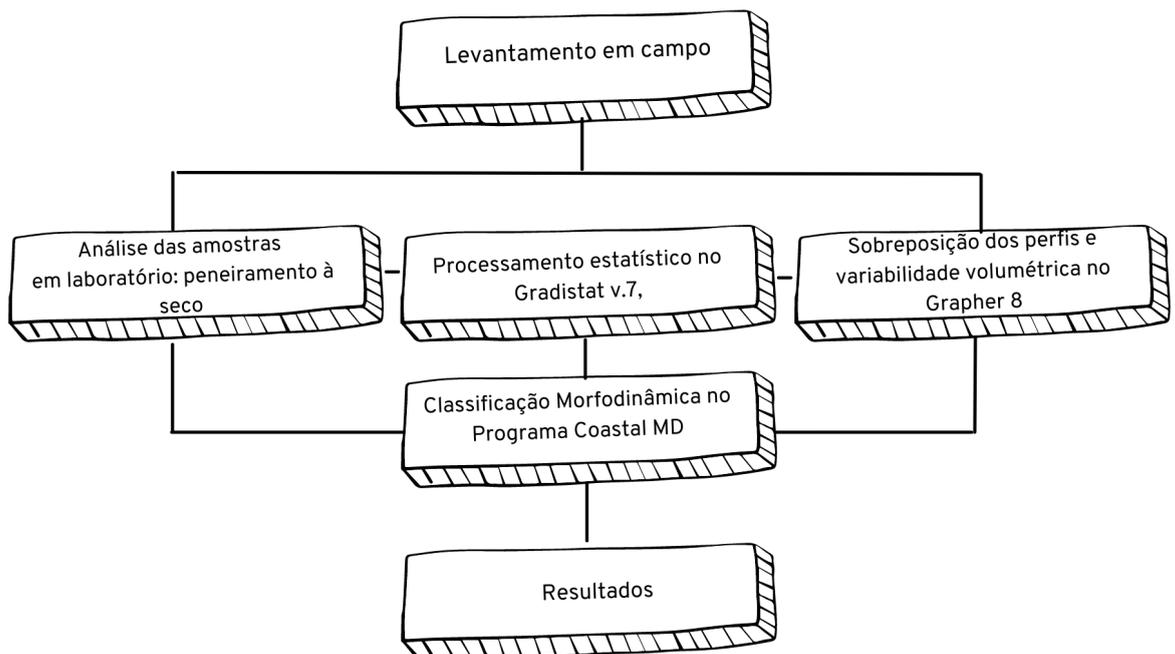


Após a secagem foi feito o quarteamento utilizando um quarteador do tipo Jones e determinado o peso inicial da amostra. Em seguida, montou-se o jogo de peneiras em intervalos de 0,5 em 0,5 Φ e intervalos finais representados por peneiras de 0,25 em 0,25 Φ para refinamento da “cauda” da curva de assimetria positiva (BULHÕES e ESTRADA, 2011). As amostras, então, foram submetidas a agitadores mecânicos durante 5 minutos, com uma velocidade de vibração constante. Após a agitação das peneiras, foi pesada a fração retida em cada uma delas, o que então foi processado estatisticamente utilizando o programa *Gradistat* v.7 (BLOTT e PYE, 2001). Tal conjunto de dados junto com os perfis e parâmetros

observacionais permitem o cálculo dos parâmetros de classificação da morfodinâmica de praias.

A partir da utilização do *Grapher 8* foram realizadas as sobreposições dos perfis de praia em cada ponto de monitoramento e determinada a variabilidade do estoque sedimentar. Para a classificação morfodinâmica da Praia do Pecado a partir dos dados levantados em campo foi utilizado o programa Coastal MD produzido por Oliveira Filho e Fernandez (2021) que calcula e permite extrair de forma automatizada os valores para os parâmetros de similaridade de surfe (ξ), o parâmetro de escala de surfe (ϵ), o parâmetro ômega (Ω), o parâmetro de amplitude relativa da maré (RTR) e o parâmetro delta (Δ), conforme já descritos no item 2.3 deste trabalho. Um resumo dessas etapas pode ser observado na Figura 8.

Figura 8: Fluxograma das etapas do método utilizado para o desenvolvimento da pesquisa. (Elaborado pela autora)



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos permitiram elaborar três gráficos (Figuras 9, 10 e 11) de perfis transversais referentes, respectivamente, às posições de monitoramento P1, P2 e P3 conforme já destacado na Figura 5. A sobreposição dos perfis permite observar a variabilidade na

morfologia entre os levantamentos ao longo do período de tempo abrangido pelos levantamentos de campo. De forma geral apresentaram transição suave entre o pós praia e a face da praia, apenas com exceção do que foi verificado no terceiro ponto de monitoramento, onde a tendência era um maior escarpamento na base da berma.

Figura 9: Sobreposição de perfis de praia referentes ao monitoramento do ponto 1 no arco praial da restinga da Praia do Pecado.

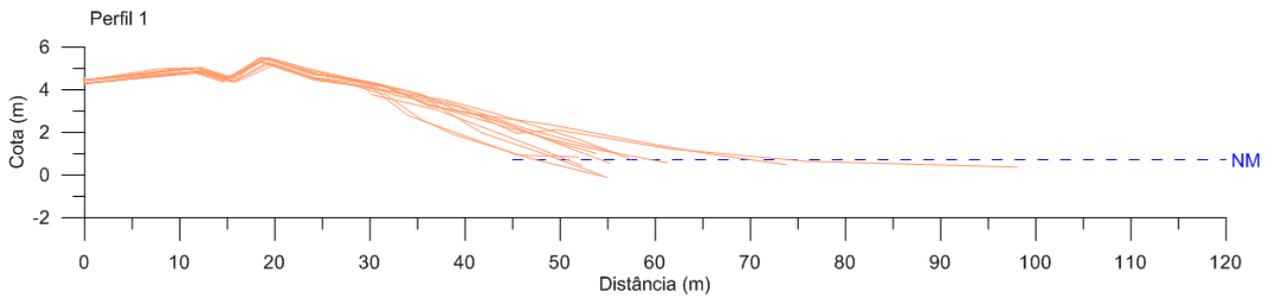


Figura 10: Sobreposição de perfis de praia referentes ao monitoramento do ponto 2 no arco praial da restinga da Praia do Pecado.

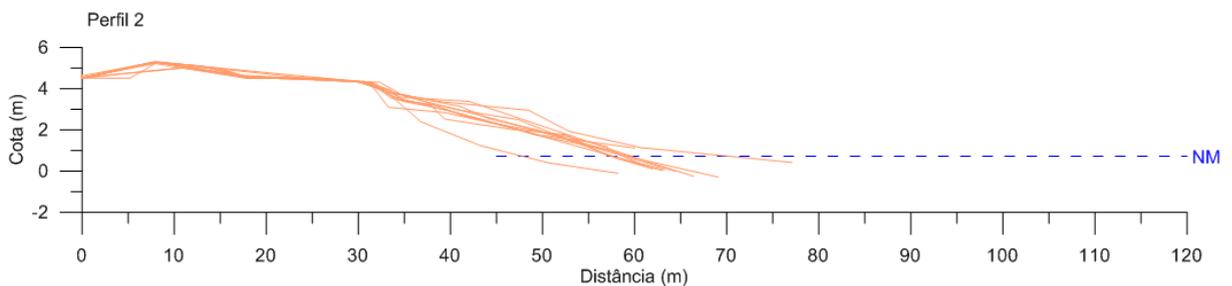
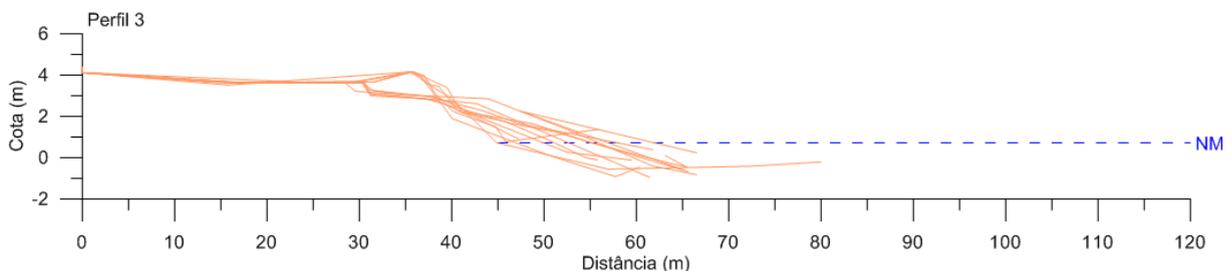


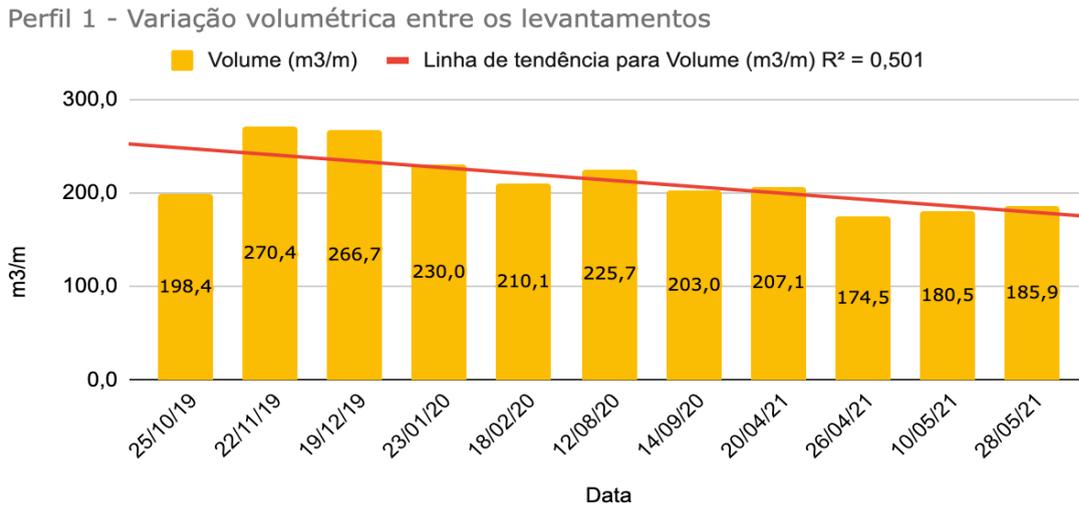
Figura 11: Sobreposição de perfis de praia referentes ao monitoramento do ponto 3 no arco praial da restinga da Praia do Pecado.



As variações volumétricas entre os levantamentos foram calculadas também com o auxílio do programa *Grapher 8* e estão demonstradas nos gráficos das figuras 12, 13 e 14, a seguir. Nota-se uma leve tendência de redução nos volumes do Perfil 1 enquanto a variabilidade dos Perfis 2 e 3 apontam uma tendência de estabilidade. Quanto à morfologia

dos perfis é possível observar que, de forma geral, costumam apresentar transição suave entre o pós praia e a face da praia, com exceção do Perfil 3 onde a tendência é de maior escarpamento da base.

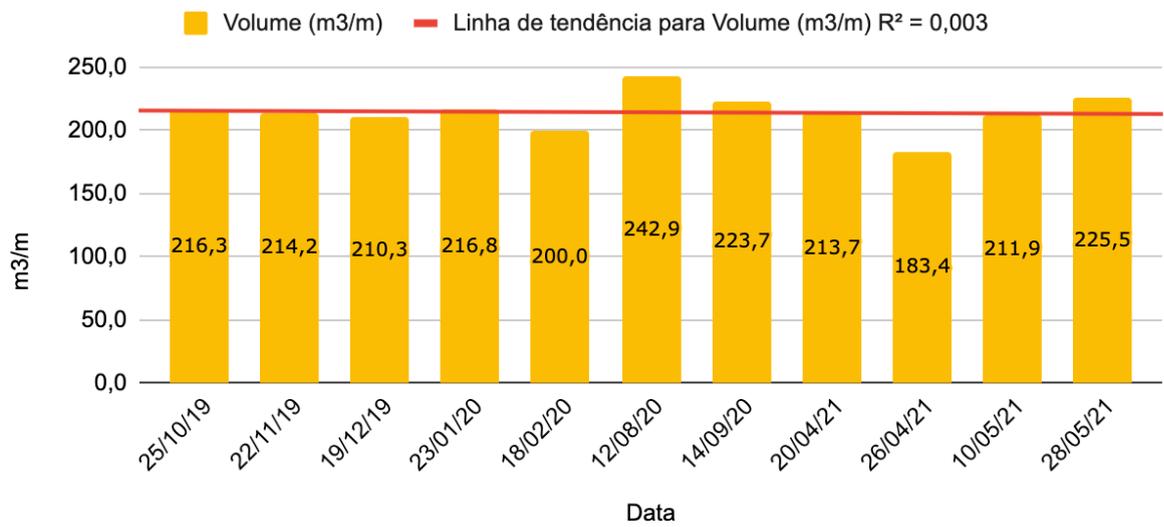
Figura 12: Variação do estoque sedimentar na porção emersa do perfil 1 entre 2019 e 2021.



É possível observar no gráfico da Figura 12 uma maior sedimentação e variabilidade entre os levantamentos correspondentes ao primeiro ponto (P1), o qual já entre as primeiras duas medições apresenta uma variação com percentual de 36,27%, passando de um total de 198,4 m³/m para 270,4 m³/m. Essa foi a maior leitura e variação positiva considerando todos os trechos analisados. Nos próximos dois meses seguintes o P1 sofreu uma perda de aproximadamente 15% do volume que possuía em novembro de 2019, seguindo uma tendência erosiva que não voltou a ser recuperada ao final dos levantamentos. Nota-se, também, a ocorrência de uma expressiva erosão em abril de 2021 entre o período de seis dias (Figura 15) da ordem de 32,64 m³/m, proveniente da ressaca pela passagem de uma tempestade subtropical no litoral da região na semana em questão.

Figura 13: Variação do estoque sedimentar na porção emersa do perfil 2 entre 2019 e 2021.

Perfil 2 - Variação volumétrica entre os levantamentos



Os levantamentos no segundo ponto (P2) demonstram maior estabilidade e pouca variação de largura da praia. Apresentou valores em termos de variação volumétrica bem próximos nos períodos de acreção e erosão de sedimentos. Destacam-se como exceções a essa tendência o mês de agosto de 2020, quando houve um aporte sedimentar de 42,88 m³/m em relação ao levantamento anterior, e o mês de abril de 2021, em que obteve uma perda de 14,18% do seu tamanho num intervalo de 6 dias devido a condições de tempestade. No entanto, demonstra resiliência pois há recuperação total do volume sedimentar.

Figura 14: Variação do estoque sedimentar na porção emersa do perfil 3 entre 2019 e 2021.

Perfil 3 - Variação volumétrica entre os levantamentos

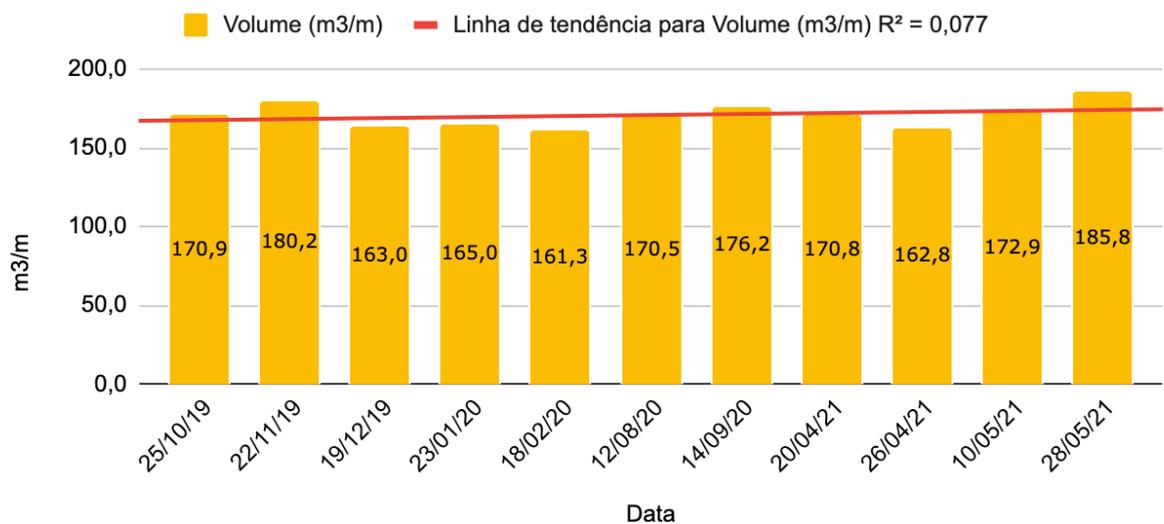


Figura 15: Imagens comparativas do mesmo ponto (P1), onde se tem o registro dos dias 20 de abril de 2021 (a) e 26 de abril de 2021 (b). Nota-se um acentuamento da escarpa erosiva após o evento de tempestade. (Fonte: Autoria própria)



De forma geral, a morfologia do trecho na Praia do Pecado se apresenta de forma suave, salvo em relação ao P3 onde vale ressaltar a existência de características em sua superfície que o diferencia dos outros dois perfis, como uma menor distância entre a berma vegetada e a face da praia, essa possuindo maior declividade (Figura 16). Assim, já se parte

do pressuposto que o perfil dispõe de menor volume de sedimentos, onde ainda é constatado não haver variações significativas em termos volumétricos e sim uma tendência de estabilização, sem sofrer grandes perdas ou acréscimos no período abrangido pelos levantamentos. É possível observar que o mesmo evento de tempestade, em abril de 2021, que implicou na redução da largura da praia no P1 e P2 em 15,76% e 14,18% (na ordem de 30 ~ 33 m³/m) surtiu uma diminuição em apenas 7,96 m³/m no perfil 3, apresentando um total de 162,8 m³/m (Figura 17). A mesma também não foi a menor baixa verificada no ponto, sendo esta no mês de fevereiro de 2020, com um total de 161,3 m³/m. Essa tendência à estabilidade encontrada nos perfis 2 e 3, em contraponto a perda de volumes no perfil 1, poderia ser explicada por características morfológicas e sedimentares, tais como diâmetro médio (tamanho) e densidade do grão, bem como a presença e posição da vegetação de restinga nos perfis.

Figura 16: A imagem acima retrata o P3 no dia 26 de abril de 2021.



Figura 17: O mosaico ilustra os três pontos de monitoramento durante o ápice de energia das ondas em decorrência da passagem da tempestade subtropical Potira, em 22 de abril de 2021. Sendo a. P1; b. P2, e c. P3. (Fonte: Eduardo Bulhões)



A granulometria, principal dado de entrada no Coastal MD, foi analisada com o intuito de executar o cálculo dos parâmetros adimensionais. As estatísticas das amostras processadas pela planilha *Gradistat v.7* indicaram o diâmetro mediano dos sedimentos da face da praia dos três perfis, que apresentaram de 246 até 463,5 micrômetros. Indicaram, também, tamanho, grau de seleção e assimetria dos grãos, apresentando areias médias, moderadamente bem selecionadas a bem selecionadas e de forma simétrica. Os parâmetros observacionais e resultados granulométricos levantados corroboram com a classificação morfodinâmica que se deu nos três pontos de monitoramento.

A automatização dos dados observados em campo junto aos adquiridos após a análise laboratorial na planilha do Coastal MD possibilitou a obtenção valores conhecidos para cada parâmetro adimensional e também para as variáveis determinantes na classificação morfodinâmica, expressos nos quadros 1, 2 e 3. Os valores encontrados para os parâmetros ômega (Ω) e delta (Δ) novamente reiteram uma preponderância do estado refletivo/intermediário no trecho estudado e vão ao encontro das características morfodinâmicas verificadas por Guimarães *et al.* (2008) nessa mesma porção do litoral

macaense, já que $\Omega < 1$ indica praias refletivas, $1 < \Omega < 6$ praias intermediárias e as dissipativas quando $\Omega > 6$; e Δ indica diferenciação razoável entre os estados intermediários, sendo:

Dissipativo, quando $\Delta < 0,5$

Banco e Calha Longitudinal, quando $0,5 < \Delta < 0,8$

Bancos Transversais, $0,8 < \Delta < 1,0$

Terraço de Baixa Mar, $1,0 < \Delta < 2,0$

Refletivo, $\Delta > 2,0$

Os valores obtidos para Ω apontam predominância dos estados Refletivo e Intermediário, com a ocorrência do padrão de Terraço de Baixa Mar entre os mesmos. Cabe destacar, no entanto, uma quebra nessa tendência no Perfil 1 especificamente no mês de setembro de 2020 quando as condições morfodinâmicas associadas ao parâmetro delta indicam um estado de dissipação (Figura 18) no trecho em questão, apesar de sua evolução temporal já vista na Figura 9 mostrar uma oscilação da praia entre estágio intermediário e refletivo.

Quadro 1: Caracterização morfodinâmica segundo Wright e Short (1984) e Muehe (1998) correspondente ao Perfil 1 do trecho da área de estudo.

Perfil 1								
Data	Hb	T	Ws	Tan β	Padrão Morfodinâmico			
					Ω	Wright & Short (1984)	Δ	Muehe (1998)
25/10/2019	0,6	10,0	0,07	0,16	0,92	Refletivo	2,82	Refletivo
22/11/2019	0,4	6,0	0,07	0,16	1,03	Intermediário	1,16	Terraço de Baixa Mar
19/12/2019	1,0	17,0	0,07	0,13	0,90	Refletivo	2,47	Refletivo
23/01/2020	0,5	8,0	0,07	0,17	0,96	Refletivo	2,71	Refletivo
18/02/2020	0,4	8,0	0,07	0,08	0,77	Refletivo	2,16	Refletivo
12/08/2020	0,4	9,0	0,07	0,17	0,68	Refletivo	6,77	Refletivo
14/09/2020	0,3	7,0	0,07	0,01	0,66	Refletivo	0,39	Dissipativo
20/04/2021	0,4	8,0	0,07	0,12	0,77	Refletivo	5,90	Refletivo
26/04/2021	0,5	8,0	0,07	0,11	0,96	Refletivo	4,69	Refletivo
10/05/2021	0,8	9,0	0,07	0,11	1,37	Intermediário	1,54	Terraço de Baixa Mar
28/05/2021	0,8	12,0	0,07	0,18	1,03	Intermediário	4,25	Refletivo

Figura 18: A imagem retrata o P1, na data de 14 de setembro de 2020, onde foi possível a observação visual de características morfodinâmicas associadas ao estado dissipativo. (Fonte: Autoria própria)



O P2 apresentou uma tendência ao equilíbrio entre estado intermediário e refletivo e com Δ transitando entre 1,44 e 1,85, valores que indicaram a ocorrência de Terraço de Baixa Mar por dois meses consecutivos entre os estados intermediários. No que diz respeito ao Perfil 3 ficou evidente a predominância da variação do valor de ω entre 0,73 a 0,94, que corresponde ao estado Refletivo. Em consequência, praticamente não há o desenvolvimento de uma zona de surfê e as ondas arrebentam frente a face da praia com maior velocidade. Também observa-se os estados Terraço de Baixa Mar e Banco e Calha Longitudinal dentro o estado intermediário, sendo a ocorrência desse último verificada apenas no P3.

Quadro 2: Caracterização morfodinâmica segundo Wright e Short (1984) e Muehe (1998) correspondente ao Perfil 2 do trecho da área de estudo.

Perfil 2								
Data	Hb	T	Ws	Tan β	Padrão Morfodinâmico			
					Ω	Wright & Short (1984)	Δ	Muehe (1998)
25/10/2019	0,8	10,0	0,06	0,13	1,42	Intermediário	5,70	Refletivo
22/11/2019	0,4	6,0	0,06	0,13	1,18	Intermediário	2,04	Refletivo
19/12/2019	1,2	20,0	0,06	0,12	1,07	Intermediário	1,44	Terraço de Baixa Mar
23/01/2020	0,5	8,0	0,06	0,12	1,11	Intermediário	1,85	Terraço de Baixa Mar
18/02/2020	0,4	8,0	0,06	0,21	0,89	Refletivo	4,33	Refletivo
12/08/2020	0,4	8,0	0,06	0,04	0,89	Refletivo	2,86	Refletivo
14/09/2020	0,3	7,0	0,06	0,10	0,76	Refletivo	10,38	Refletivo
20/04/2021	0,4	8,0	0,06	0,06	0,89	Refletivo	2,51	Refletivo
26/04/2021	0,3	8,0	0,06	0,07	0,67	Refletivo	3,40	Refletivo
10/05/2021	0,8	9,0	0,06	0,12	1,58	Intermediário	2,90	Refletivo
28/05/2021	0,8	12,0	0,06	0,14	1,18	Intermediário	3,02	Refletivo

Quadro 3: Caracterização morfodinâmica segundo Wright e Short (1984) e Muehe (1998) correspondente ao Perfil 3 do trecho da área de estudo.

Perfil 3								
Data	Hb	T	Ws	Tan β	Padrão Morfodinâmico			
					Ω	Wright & Short (1984)	Δ	Muehe (1998)
25/10/2019	0,8	10,0	0,09	0,21	0,94	Refletivo	2,66	Refletivo
22/11/2019	0,4	6,0	0,09	0,11	0,78	Refletivo	1,68	Terraço de Baixa Mar
19/12/2019	1,2	18,0	0,09	0,12	0,78	Refletivo	7,58	Refletivo
23/01/2020	0,6	8,0	0,09	0,14	0,88	Refletivo	4,30	Refletivo
18/02/2020	0,6	8,0	0,09	0,28	0,88	Refletivo	5,49	Refletivo
12/08/2020	0,6	9,0	0,09	0,11	0,78	Refletivo	9,62	Refletivo
14/09/2020	0,5	7,0	0,09	0,07	0,84	Refletivo	2,03	Refletivo
20/04/2021	0,5	8,0	0,09	0,18	0,73	Refletivo	5,06	Refletivo
26/04/2021	0,6	8,0	0,09	0,14	0,88	Refletivo	4,06	Refletivo
10/05/2021	1,0	9,0	0,09	0,07	1,30	Intermediário	0,70	Banco e Calha Longitudinal
28/05/2021	0,8	12,0	0,09	0,09	0,78	Refletivo	1,26	Terraço de Baixa Mar

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos desenvolvidos por este trabalho foi possível, por meio de monitoramento periódico, corroborar informações já publicadas acerca do comportamento morfodinâmico do litoral sul de Macaé, desta vez com enfoque no trecho de praia que permanece inalterado pelo homem (no sentido de não haver construções em seu perfil ativo), se dando paralelamente à restinga da Praia do Pecado. Dessa forma, foram mencionadas as

mudanças que o processo de urbanização trouxe para o município pela ocupação desordenada de áreas de risco incluindo o litoral, com a instalação de bairros residenciais de alto poder aquisitivo e empreendimentos nessa faixa litorânea; e as consequências e riscos desse processo, já que se demanda rigidez para a construção dessas estruturas, enquanto as praias arenosas possuem características extremamente dinâmicas em vista dos processos e interação contínua entre dinâmica sedimentar, aspectos climatológicos e oceanográficos na linha de costa.

Dentre os fatores avaliados e que se fazem determinantes na caracterização morfodinâmica, principal objetivo deste trabalho, se verificou a variabilidade volumétrica da porção emersa dos perfis de praia ao longo do tempo, juntamente à automatização dos dados e amostras coletadas em campo a fim de determinar o padrão morfodinâmico existente. Os resultados descritos utilizam de parâmetros observacionais e estatísticos que foram coletados por levantamentos de campo entre o período de outubro de 2019 a maio de 2021 e posteriormente gerados/analizados com auxílio de programas computacionais como o Coastal MD. É importante pontuar que esse processo se deu de forma descontínua uma vez que sair à campo ficou inviável devido a pandemia do COVID-19.

É reiterado, por sua vez, a existência de um padrão refletivo-intermediário em cada ponto analisado. O primeiro ponto apresenta uma predisposição a perder sedimentos, porém, como é um local onde não se deu nenhum tipo de ocupação e há vegetação preservada, não se configura necessariamente como um problema. Os outros seguem uma linha de estabilidade volumétrica, o que é um indicativo da tendência da linha de costa em se restabelecer após perturbações, ou seja, de se ajustar ao seu equilíbrio entre os períodos de acreção e erosão. A diferença encontrada na variação volumétrica entre os três pontos de monitoramento poderia ser explicada pela posição da vegetação de restinga e características físicas e granulométricas que se apresentam em cada um deles, tendo em vista que grãos mais finos tendem a ser movimentados mais facilmente pela ação de agentes erosivos, ao contrário de grãos mais grossos e densos, como observados nos pontos 2 e 3. Todavia, essas hipóteses teriam de ser investigadas com maior profundidade.

Vale ressaltar a importância em conhecer tais aspectos e características a fim de fundamentar a preservação dos ambientes naturais costeiros em contraponto às intervenções

antrópicas e à especulação imobiliária. Compreende-se então, neste caso, a restinga da Praia do Pecado como um ecossistema muito importante para a manutenção do equilíbrio do sistema praial no trecho. Fica clara, também, a necessidade desse conhecimento como subsídio técnico às ações de gerenciamento costeiro integrado.

Através dos resultados adquiridos também se torna possível cooperar nos estudos sobre o litoral de Macaé, além de inflamar uma reivindicação popular que existe desde a década de 90 na comunidade local que é de fazer da área um Parque Natural Municipal de proteção de integral, visando a preservação da natureza e o uso indireto dos recursos naturais, como pesquisas científicas e atividades voltadas para a educação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, T.; GREENWOOD, B.; HUGHES, M. Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches. **Earth-Science Reviews**, v. 124, p. 32-50, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.05.002>. Acesso em: março de 2021.

ANGULO, R. J. Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 10, p. 175-185, jul./dez. 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v10i0.3107>. Acesso em: fevereiro de 2021.

BATTJES, J. A. Surf Similarity. **Coastal Engineering Proceedings**, v. 1, n. 14, p. 26, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.9753/icce.v14.26>. Acesso em: Setembro de 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. **Panorama da Conservação dos Ecossistemas Costeiros e Marinhos no Brasil**. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/205/_publicacao/205_publicacao03022011100749.pdf. Acesso em: novembro de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012**, que estabelece normas gerais sobre a Proteção da Vegetação Nativa, incluindo Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de Uso Restrito. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83. Acesso em: novembro de 2020.

_____. **Resolução CONAMA nº 302, de 20 de Março de 2002**, que dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Diário Oficial da União, DF, nº 90, 13 de mai. de 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>. Acesso em:

_____. **Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002**, que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário Oficial da União, DF, nº 90, 13 de mai. de 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=299>. Acesso em:

BLOTT, S.J.; PYE, K., 2001. Gradstat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. **Earth Surface Processes and Landforms**, 26, 1237-1248.

BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P.; JÚNIOR, L. M. C. Aspectos Técnicos e Legais que Fundamentam o Estabelecimento das APP nas Zonas Costeiras – Restingas, Dunas e Manguezais. **Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management**, Lisboa, vol. 9, no. 1, p. 39-56, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340125004>. Acesso em 15 de novembro de 2020.

BULHÕES, E. **Exposição de praias, clima de ondas e processos físicos em praias de enseada:** exemplos e aplicações em Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. Orientador: Dr. Guilherme Borges Fernandez. 2011. 251 f. Tese de Doutorado - Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.

BULHÕES, E.; ESTRADA, A. F. D. Distribuição e transporte de sedimentos costeiros em ambiente de baixa energia. Enseada da Ferradura, Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Gravel**, v. 9, n. 1, p. 41-56, 2011.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO Jr., E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, n. ÚNICO, p. 63-78, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rboce/v51nunico/07.pdf>. Acesso em: Outubro de 2020.

CASTRO, A. G.; MARTINS, R.L; MACIEL, F.M; COSTA, R.N. Unidade de Conservação da Restinga da Praia do Pecado: Uma possibilidade real à luz da legislação. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, vol. 8, no. 2, p. 748-769, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e22019748-769>. Acesso em: novembro de 2020.

CASTRO, A. G.; COSTA, R. N.; MARTINS, R. L. Restinga da Praia do Pecado: da exploração mineral à definição de um modelo de área de preservação. *In*: LEAL, Giuliana F. (org.) **Ambiente, Sociedade e Poder**. v. 1, no. 1. Macaé: Editora NUPEM, 2020. p 225-236.

CERQUEIRA, R. Biogeografia das Restingas. *In*: ESTEVES, F. A.; LACERDA, L.D. (ed.) **Ecologia de Restingas e Lagoas Costeiras**. Núcleo de Pesquisas Ecológicas de Macaé (NUPEM/UFRJ). Macaé, Brasil: Computer & Publish Editoração Gráfica, 2000, p. 66-72.

GUIMARÃES, M. S.; NETO, J.A.B.; FERNANDEZ, G.B. Comportamento Morfodinâmico das Praias e Zona Submarina Adjacente do Litoral Sul de Macaé, RJ. *In*: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0151.pdf>. Acesso em: novembro de 2020.

GUZA, R. T.; INMAN, D. L. *Edge waves and beach cusps*. **Journal of Geophysical Research**, v. 80, n. 21, p. 2997–3012, 1975. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/JC080i021p02997>. Acesso em: Setembro de 2021.

JERONYMO, C. A. L; ALENCAR, T. S; SILVA, E. R; LERNER, F. Evolução do uso e cobertura da terra e a formação de assentamentos humanos em ecossistemas frágeis, áreas protegidas, de risco ou degradadas: O caso da cidade de Macaé (RJ). **Revista Tamoios**, São Gonçalo (RJ), vol. 13, n. 2, p. 94-117, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2017.25599>.

LAMEGO, A. R. O Homem e a Restinga. Serviço Gráfico do IBGE, 1946.

MACAÉ. **Decreto nº 054, de 29 de abril de 2014**, que dispõe sobre a declaração de utilidade pública da área situada no bairro dos Cavaleiros. Diário da Costa do Sol, Macaé, vol. 3231, 30 abr. de 2014.

Disponível em: [http://sistemas.macaee.rj.gov.br:84/sim/midia/anexolegislacao/\(Dec-054-2014\)_Dec%20054-2014.pdf](http://sistemas.macaee.rj.gov.br:84/sim/midia/anexolegislacao/(Dec-054-2014)_Dec%20054-2014.pdf). Acesso em: julho 2021.

MUEHE, D. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 2, p. 157–169, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-77391998000200005>. Acesso em: Setembro de 2021.

MUEHE, D.; ROSO, R. H.; SAVI, D. C. Avaliação do Método Expedito de Determinação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, n. 1, 2003. p. 53-57.

MUEHE, D. (org). **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Territorial. Brasília, Brasil, 2018.

MUEHE, D. Pós-praia não deve ser traduzido como backshore—uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia—antepraia. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 10, n. 1/2, 2019a.

MUEHE, D.; DE CASTRO, L. B.; ALBINO, J. Perfis de Praia: deve o método das balizas de Emery ser abandonado?. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 21, n. 1, 2019b.

MUEHE, D. O sistema praias: formas, termos, processos e medição. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 27-55.

OLIVEIRA FILHO, S.; FERNANDEZ, G. Coastal MD: o programa de cálculo de parâmetros adimensionais para classificação morfodinâmica de praias arenosas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 22, n. 3, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i3.1971>. Acesso em: Setembro de 2021.

PUJOL, L.; ORFILA, A. Reflective-dissipative continuum. In: JACKSON D.; SHORT, A. (ed.). **Sandy Beach Morphodynamics**. Elsevier, 2020. p. 421-437.

SHORT A. D.; HESP P. A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. **Marine Geology**. Amsterdam, vol. 48, n 3-4, p. 259-284, 1982.

SHORT A.D.; JACKSON D.W.T. Beach Morphodynamics. In: SCHRODER, John F. (ed.) **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Elsevier, 2013. p. 106-129.

SILVA, M. da. Movimentos ambientais, a cidade colonial e o bem Viver: Um olhar sobre a resistência ao extrativismo do petróleo em Macaé-RJ. In: III Congresso Internacional de Política Social e Serviço Social: Desafios Contemporâneos, 2019, Londrina. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <https://www.congressoservicosocialuel.com.br/trabalhos2019/assets/4604-232643-36464-2019-04-09.pdf>

WRIGHT, L.; SHORT, A. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, vol. 56(1-4), p 93-118, 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2). Acesso em: Outubro de 2020.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D.; GREEN, M. O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. **Marine Geology**, vol. 62, n. 3–4, p. 339–364, 1985. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(85\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0025-3227(85)90123-9). Acesso em: Setembro de 2021.

WRIGHT, L.D.; THOM, B.G. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, vol. 1, no. 3, p. 417-459, outubro de 1977. Disponível em: [doi:10.1177/030913337700100302](https://doi.org/10.1177/030913337700100302). Acesso em: Outubro de 2020.