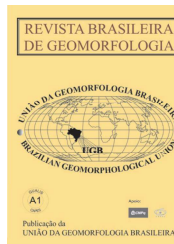


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, nº 2 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1769>



CLASSIFICAÇÃO DAS VARIAÇÕES MORFODINÂMICAS E PROCESSOS COSTEIROS, PRAIA DO PAIVA, PE, BRASIL

MORPHODYNAMIC CLASSIFICATION, VARIATIONS AND COASTAL PROCESSES OF PAIVA BEACH, PE, BRAZIL

Tiago Fernando de Holanda

*Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Recife, Pernambuco. CEP: 50740-530. Brasil
ORCID: 0000-0001-6898-5027
E-mail: tiagofholanda@gmail.com*

Rodrigo Mikosz Gonçalves

*Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco
Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Recife, Pernambuco. CEP: 50740-530. Brasil
ORCID: 0000-0002-5066-1910
E-mail: rodrigo.mikosz@ufpe.br*

Anderson Pereira Lino

*Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco
Av. Arquitetura, s/n, Recife, Pernambuco. CEP: 50740-550. Brasil
ORCID: 0000-0001-7535-9577
E-mail: andersonp.lino@gmail.com*

Pedro de Souza Pereira

*Coordenadoria Especial de Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário João David Ferreira Lima, Florianópolis, Santa Catarina. CEP: 88040-900. Brasil
ORCID: 0000-0001-6903-9155
E-mail: pedro.s.pereira@ufsc.br*

Paulo Henrique Gomes de Oliveira Sousa

*Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará
Av. da Abolição, 3207, Fortaleza, Ceará. CEP 60165-081. Brasil
ORCID: 0000-0003-4544-6017
E-mail: paulosousa@ufc.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
19/11/2019
Aceito (Accepted):
13/01/2020

Resumo:

A zona costeira está relacionada à porção continental e oceânica, considerada como dinâmica e complexa, sofre alterações em diversas escalas temporais. As classificações morfodinâmicas das praias são fundamentais para o monitoramento dos ciclos sedimentares, identificando processos temporais de estabilidade, acreção e erosão. Os objetivos deste estudo são efetuar a classificação morfodinâmica e a identificação

Palavras-chave:

Mapeamento Morfodinâmico; GNSS; Classificação Morfodinâmica; Zona Costeira.

Keywords:

Morphodynamic Mapping; GNSS; Morphodynamic Classification; Coastal Zone.

de alguns processos costeiros, considerando uma análise espaço temporal (2010, 2011 e 2012) na praia do Paiva. A área de estudo está localizada no município do Cabo de Santo Agostinho, região metropolitana do Recife no estado de Pernambuco, Brasil. Para isso, foram utilizadas informações tridimensionais do modelo digital do terreno obtidas pelo Sistema Global de Posicionamento por Satélites, bem como dados hidrodinâmicos (clima de ondas). Como resultados foram identificadas a presença de bermas, cúspides e canais de correntes de retorno, além de três estágios morfodinâmicos durante diferentes datas, sendo eles: banco transversal e corrente de retorno; banco e praia rítmicos e terraço de baixa-mar. As ondas apresentaram direções

E, ESE e SE com a altura significativa de ondas variando de 1,61 a 3,39 m, tendo 9,3 s de período médio de onda. Os perfis temporais apresentaram variações significativas, demonstrando processos de acreção e erosão, que variaram em torno de 1 m (verticalmente) na zona de espreadimento. O cálculo do balanço sedimentar resultou em acreção nos períodos de primavera e verão e erosão no outono e inverno. As feições mapeadas mostraram-se eficazes para a classificação morfodinâmica proposta, gerando subsídios importantes para o monitoramento costeiro.

Abstract:

The coastal zone related to the continental and oceanic portions, considered as dynamic and complex, undergoes changes at different time scales. The morphodynamic classifications of beaches are essential for monitoring sedimentary cycles, identifying temporal processes of stability, accretion and erosion. The objectives of this study are to evaluate the morphodynamic classification and the identification of some coastal processes considering a spatial analysis (2010, 2011 and 2012) at Paiva beach, located at Cabo de Santo Agostinho, Recife metropolitan region, Pernambuco state, Brazil. For this, we used three-dimensional information from the digital terrain model obtained by Global Navigation Satellite Systems, as well as hydrodynamic data (wave climate). The results showed the identification of berms, cusps and rip channels besides three morphodynamic stages during different dates, being them: transverse bar and rip; rhythmic bar and low tide terrace. The waves have E, ESE and SE direction with significant wave height ranging from 1.61 to 3.39 m with 9.3 s of average wave period. The temporal profiles showed significant variations, demonstrating accretion and erosion processes, which varied around 1 m (vertically) in the spreading zone. The sedimentary balance evaluation showed accretion in the spring and summer periods and erosion from autumn to winter. The mapped features proved to be effective for the proposed morphodynamic classification, generating important subsidies for coastal zone monitoring.

1. Introdução

A descrição da zona de arrebentação e da praia emersa é uma tarefa difícil, pois torna-se necessário integrar um conjunto de variáveis consideradas dinâmicas com as morfológicas. Isto tudo, considerando um método que retrate as características morfodinâmicas de uma determinada praia (CALLIARI *et al.* 2003).

Os estudos para o aprimoramento das descrições nas variações morfológicas de um ambiente costeiro vêm sendo discutidos e analisados ao longo do tempo, onde é possível encontrar referências importantes sobre o tema, como as destacadas nos trabalhos de Short (1980, 1991 e 2006), Masselink e Short (1993), Masselink e Pattiaratchi (1998b), Short e Aagaard (1993), Carrasco *et al.* (2009), Short e Jackson (2013), Hoang *et al.* (2015), Burvingt *et al.* 2017), McLachlan *et al.*

(2018), Mascagni *et al.* (2018), Fellowes *et al.* (2019) e Stein e Siegle (2019).

Normalmente, vincula-se a importância da descrição morfodinâmica de um ambiente costeiro para aumentar a eficácia de ações relacionadas à preservação, monitoramento e gerenciamento (WRIGHT e SHORT, 1984; CALLIARI *et al.* 2003). Um exemplo de fator de risco para a população são as correntes de retorno (CRs), consideradas como um fenômeno oceanográfico, representando um perigo para banhistas em todo o mundo. Embora haja a necessidade de uma melhor documentação e padronização dos incidentes, entender a morfodinâmica de uma praia e suas variações torna-se fundamental para delimitar locais de perigo e assim evitar fatalidades (BRIGHTON *et al.* 2013).

A classificação do estágio ou estado praias, é um

dos fatores fundamentais para o monitoramento sedimentar considerando os ciclos de estabilidade, acreção e erosão. Além disso, são parâmetros importantes para determinar os índices de vulnerabilidade costeira à erosão como mostram Boruff *et al.* (2005), Torresan *et al.* (2012), Kumar e Kunte (2012), Loinenak *et al.* (2015), Zhu *et al.* (2018), Pantusa *et al.* (2018) e Kantamaneni *et al.* (2019).

Para identificar e classificar o ambiente praiar torna-se necessário a obtenção de informações tridimensionais do relevo, onde o Modelo Digital do Terreno (MDT) pode ser utilizado para extrair o volume de sedimentos e perfis topográficos, conforme os trabalhos de Baptista *et al.* (2008a, 2008b), De Aguiar *et al.* (2013) e Lino (2015). Dentre as técnicas para gerar o MDT encontram-se os produtos oriundos do sensoriamento remoto, fotogrametria e *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

Como exemplos do uso destas técnicas encontram-se os trabalhos de Santos *et al.* (2011), utilizando o GNSS para obter informações da posição da linha de costa e MDT em litorais arenosos para estudos de variações da dinâmica costeira (erosão e acreção sedimentar), bem como informações de volume de sedimentos; Tabosa *et al.* (2001), destacam a necessidade do monitoramento costeiro através de perfis topográficos para entender o equilíbrio dinâmico do ambiente praiar e os aspectos de períodos de erosão e acreção que podem coincidir com a chegada do inverno e verão respectivamente; Mallmann *et al.* (2014) utilizaram o sensoriamento remoto para identificação e classificação das praias no município de Ipojuca-PE, identificando desta forma a presença/ausência de feições e agentes geomorfológicos controladores da hidrodinâmica costeira; e Lino (2015) integrou informações obtidas por GNSS e vídeo imagens para estudar a variabilidade morfodinâmica na praia de Itapuama-PE, entre outros trabalhos.

A área de estudo deste artigo se refere à Praia do Paiva, localizada no município de Cabo de Santo Agostinho no litoral sul do estado de Pernambuco. Nos estudos realizados no litoral do estado de Pernambuco por Maia *et al.* (2014), no trecho entre as praias dos municípios Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes e Recife, foram encontradas aproximadamente 77 correntes de retorno. Esta praia, tem como usuários surfistas e banhistas, possui uma maré semidiurna, apresenta baixa declividade e vêm apresentando grandes variações mor-

fodinâmicas no decorrer do ano. Como contribuições científicas este estudo traz como objetivos: (i) efetuar a classificação morfodinâmica seguindo os conceitos de Wright e Short (1984); Masselink e Short (1993) e Short (2006), através de informações tridimensionais obtidas por GNSS para os anos de 2010, 2011 e 2012; (ii) identificar feições costeiras tais como: canais de CRs, bermas e cúspides e (iii) realizar as análises referentes às variações dos perfis topográficos, balanço sedimentar e dados hidrodinâmicos (clima de onda).

2. Revisão de Literatura

A seguir, encontra-se uma revisão de literatura sobre morfodinâmica de praia descrevendo a classificação proposta, bem como o método de posicionamento relativo cinemático GNSS que foi utilizado para a aquisição das informações espaciais.

2.1 Morfodinâmica de praia

a) Dominadas por ondas

Wright e Short (1984) apresentaram uma classificação mundialmente utilizada chamada de “praias dominadas por ondas” com o objetivo de estudar a dinâmica das praias e seu equilíbrio através da classificação das características morfológicas e hidrodinâmicas. A classificação foi baseada em praias de micromarés na Austrália, sendo dividida em três estágios morfodinâmicos: o dissipativo, refletivo e intermediário, onde esta última subdivide-se em: Banco e Cava Longitudinal (BCL), Banco e Praia Rítmicas (BPR), Banco Transversal e Corrente de Retorno (BTR) e Terraço de Baixa-mar (TBM).

O estágio dissipativo caracteriza-se por apresentar uma zona de surfe ampla, presença de bancos longitudinais com a face de praia com gradiente topográfico relativamente baixo (1 a 2°), ondas que excedem $2,5$ m de altura com arrebentação predominantemente deslizando e sedimentos de granulometria de sedimento fina. No estágio refletivo, a praia possui perfil topográfico pouco extenso, com declividade maior que 10° e com cúspides comumente presentes, zona de surfe ausente, ondas com alturas inferiores a $1,0$ m com arrebentação predominantemente ascendente e é geralmente composta por sedimentos grossos.

Quanto às *intermediárias*: o BCL apresenta uma redução da largura da cava longitudinal em decorrência da movimentação do banco submerso da zona de

arrebentação em direção à praia. O BPR, desenvolve-se quando as ondas dissipam energia no banco, se modificam na cava e atingem a face da praia em condições refletivas, criam feições rítmicas em forma de cúspides, podendo ocorrer canais correntes de retorno (CRs) nas depressões entre os bancos. As condições morfodinâmicas tendem a ser dissipativas sobre os bancos e refletivas entre estes, além de consistir em uma seção saliente com cúspides ao mar e uma seção de escarpas. As correntes convergentes de fluxo de alimentação fluem para o mar como uma CR forte. O BTR ocorre principalmente em praias compostas por sedimento de granulometria fina a média e expostas a ondas de altura média de 1,5 m. A praia apresenta cúspides que são separadas por canais de CRs mais profundos, observa-se um banco fixo à praia, as ondas fluem do banco raso nos canais alimentadores, a água converge e flui para o mar no canal de CR. O TBM apresenta uma face praial íngreme ligada ao nível da baixa-mar através de um terraço plano com a presença eventual de bancos e cavas paralelas à praia e às CRs. Esse é o estágio intermediário de menor nível de energia de ondas que possuem cerca de 1 m de altura e os sedimentos são predominantemente de granulometria fina a média. Este estágio ainda mostra uma praia com cúspides e terraço contínuo de maré baixa (na baixa-mar) cortado por pequenas CRs (WRIGHT e SHORT, 1984).

b) Praias modificadas pelas marés

A classificação supracitada não abrange todos os diferentes tipos praias, pois, nesse modelo, apenas as praias dominadas por ondas foram consideradas. Entretanto, existem outros agentes que atuam como modeladores da morfologia da praia, dentre eles, a maré. Sendo assim, foi proposto por Masselink e Short (1993) um modelo de “praias modificadas pelas marés”, dividido nos estágios: Refletiva mais Terraço de Baixa-mar (R+TBM); Refletiva mais Correntes de Retorno (R+CBM) e Ultradissipativa (UD).

As praias R+TBM são praias com presença de cúspides e relativamente íngremes. Apresenta granulometria média, com ondas de curto período e altura média de 0,45 m. Na maré alta as praias possuem características de praias Refletiva com ondas que quebram na face da praia devido a passagem pelo TBM e na maré baixa mostra-se com a face inclinada e TBM de 100 m (MASSELINK e SHORT, 1993).

O estágio da R+CBM difere dos demais pelo fato de apresentar maior altura significativa de onda (H_s), com média de H_s de 0,7 m. O sedimento classifica-se como areia média e possui uma amplitude de maré média de 2,5 m, na qual a energia é considerável com um potencial para abrir canais de CRs junto ao terraço. Apresenta na baixa-mar uma praia de maré com cúspides íngremes, faixa de 100-200 m de largura com uma zona de baixa-mar externa cortada por rasgo regularmente espaçados com canais e CRs.

As praias UD são caracterizadas por uma zona de arrebentação ampla (200-400 m) sendo compostas por sedimentos finos. Apresentam inclinação baixa a moderada do terreno, a depender da maré, e não apresentam formação de bancos devido ao deslocamento constante da zona de surfe (MASSELINK e SHORT, 1993).

c) Praias Dominadas por Maré

Esta classificação se baseia nos estudos e conceitos realizados por Short (2006) que apresenta quatro estágios morfodinâmicos da classificação das praias dominadas por maré, sendo estas: Refletiva e Planície de Maré Ondulada ou Planície Arenosa com Sulcos (R+PAS); Praia e Planície Arenosa (PPA); Praia e Planície de Maré Arenosa (PPMA); Praia e Planície de Maré Lamosa (PPML).

No primeiro caso, as R+PAS são um ambiente onde ocorrem sulcos paralelos com espaçamentos e são caracterizadas por amplitude de maré média de 4,5 m. São praias íngremes, com cúspides e apresentam-se associadas à uma planície arenosa intermaré de baixo gradiente. O estágio PPA é parecido com o anterior, contudo, não apresenta os sulcos ou ondulações, as ondas são mais baixas (média de 0,26 m) e amplitude de maré maior (média de 5 m).

O estágio de PPMA é composto por sedimentos grossos e maré alta com uma face praial estreita e íngreme, ondas de altura média 0,16 m e amplitude de maré média de 5 m, podendo apresentar manguezais. Por fim, as PPML são praias de características próximas a estuários, que fornecem sedimentos finos para as planícies lamosas. As alturas de onda são em média de 0,16 m e apresentam amplitude média de maré de 8 m. Possuem em média 500 m de largura, podendo variar de 50 a 2000 m, apresentam perfis íngremes e estreitos durante a preamar e podem apresentar manguezais frontais na porção intermareal superior.

d) Praias dominadas pela maré e associadas a plataformas rochosas/recifais

A classificação considera os aspectos geológicos da costa e as praias bordejadas por recifes em franjas ou plataformas rochosas conforme dois estágios: Praia Bordejada por Plataforma Rochosa Intermareal (PBPR) e Praia Bordejada por Plataforma de Recifes de Corais em Franjas (PBPRF). As PBPR se caracterizam por

serem estritamente dominadas pela geologia do local, onde a praia é íngreme, de maré alta com as rochas adentrando para o mar, sendo geralmente limitadas por promontório ou recifes de rochas. E por fim, as PBRF são geralmente inclinadas (íngremes), de maré alta composta de fragmentos grosseiros de corais, de frente para o recife (SHORT, 2006). O Quadro 1 apresenta uma síntese da classificação morfodinâmica abordada.

Quadro 1: Síntese das classificações morfodinâmicas de praias e seus respectivos autores.

Praias Dominadas por ondas	Praias modificadas pela maré	Praias dominadas por maré	Praias dominadas pela maré e associadas a plataformas rochosas/recifais
Wright e Short (1984)	Masselink e Short (1993)	Short (2006)	Short (2006)
Dissipativa (D)	Refletiva mais Terraço de Baixa-mar (R+TBM)	Praia Refletiva e Planícies Arenosas com Sulcos (R+PAS)	Praia Bordejada por Plataforma Rochosa intermareal (PBPR)
Intermediário (R)	Refletiva mais Canais de Baixa-mar (R+CBM)	Praia e Planície Arenosa (PPA)	Praia Bordejada por Recifes de Franja (PBRF)
Banco e Cava Longitudinais (BCL)	Ultradissipativa (UD).	Praia e Planície de Maré Arenosa (PPMA)	
Banco e Praia Rítmicas (BPR)		Praia e Planície de Maré Lamosa (PPML)	
Banco Transversal e Corrente de Retorno (BTR)			
Terraço de Baixa-mar (TBM)			

2.2 Posicionamento Relativo Cinemático (GNSS)

O conceito básico do posicionamento relativo cinemático é determinar as coordenadas de pontos desconhecidos, como por exemplo as coordenadas da posição da linha de costa ou de um conjunto de perfis para gerar um MDT, todos estes em relação a um ponto precisamente conhecido (a estação chamada de base ou de referência) (GONCALVES & AWANGE, 2017). Neste método, o receptor de referência fica instalado em uma estação conhecida fixa, e o segundo receptor (conhecido como o receptor móvel) é transportado para coletar dados que são posteriormente processados para determinar as posições da trajetória percorrida.

O receptor móvel pode ser carregado pelo operador do equipamento percorrendo a trajetória onde deseja-se obter as coordenadas tridimensionais com um auxílio de um bastão. Embora a estação de referência colete dados durante todo o período de observação, o receptor móvel pode coletar dados de forma contínua durante o percurso de acordo com a taxa de gravação configurada no equi-

pamento. Ambos os receptores (referencial e móvel) observam os mesmos satélites GNSS simultaneamente para determinar uma linha de base, isto é, a distância entre um ponto conhecido “A” e o receptor móvel em um ponto “B”. O principal objetivo em utilizar dois receptores, um fixo e o outro itinerante, é permitir a eliminação ou a minimização de erros, como o erro dos relógios do satélite, o atraso ionosférico, o atraso troposférico, erros de efemérides, entre outros. A vantagem desse método é que ele fornece resultados precisos ao nível centimétrico. Mais detalhes do posicionamento GNSS podem ser consultados em Leick (2004), Howfman-Wellenhof *et al.* (2008) e Awange (2012).

3. Materiais e Métodos

3.1 Área de estudo

A praia do Paiva (Figura 1C) pertence ao município de Cabo de Santo Agostinho (Figura 1B), no litoral sul do estado de Pernambuco (Figura 1A), tendo como

divisa os municípios de Moreno e Jaboatão dos Guararapes ao norte, Ipojuca e Escada ao sul, Vitória de Santo Antão a oeste e o oceano Atlântico a leste. Faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR) e Microrregião de Suape. Nesta região está inserido o porto de Suape e complexos industriais de relevância nacional. A orla do município tem uma extensão de 24,1 Km e é composta pelas praias de Suape, Paraíso, Calhetas, Gaibu, Enseada dos Corais, Pedra do Xaréu, Itapuama e Paiva. O segmento escolhido localizado na praia do Paiva possui cerca de 1,2 km de extensão e uma área total de aproximadamente 72.000 m², estando entre a praia de Itapuama e a foz do Rio Jaboatão.

A praia do Paiva se caracteriza como uma praia oceânica exposta com regime de mesomaré de ciclo

semidiurno, apresenta variação de 0 a 2,5 m de acordo com a classificação de Davies (1964).

Utilizou-se para esse estudo o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) à erosão elaborado por Martins *et al.*, 2016, onde foi calculado o IVC para todo estado de PE, utilizando 10 parâmetros divididos em intensidade *baixa*, *moderada* e *alta*. Entre os parâmetros que fazem parte do IVC destacam-se uma série de fatores naturais e antropogênicos que podem estar relacionados com a erosão costeira, como por exemplo, a influência da cobertura vegetal, uso do solo na orla e fatores relacionados com a geomorfologia costeira. Como resultado desta classificação a Praia do Paiva apresentou como índice de vulnerabilidade costeira à erosão a intensidade: *moderada* e *alta*.

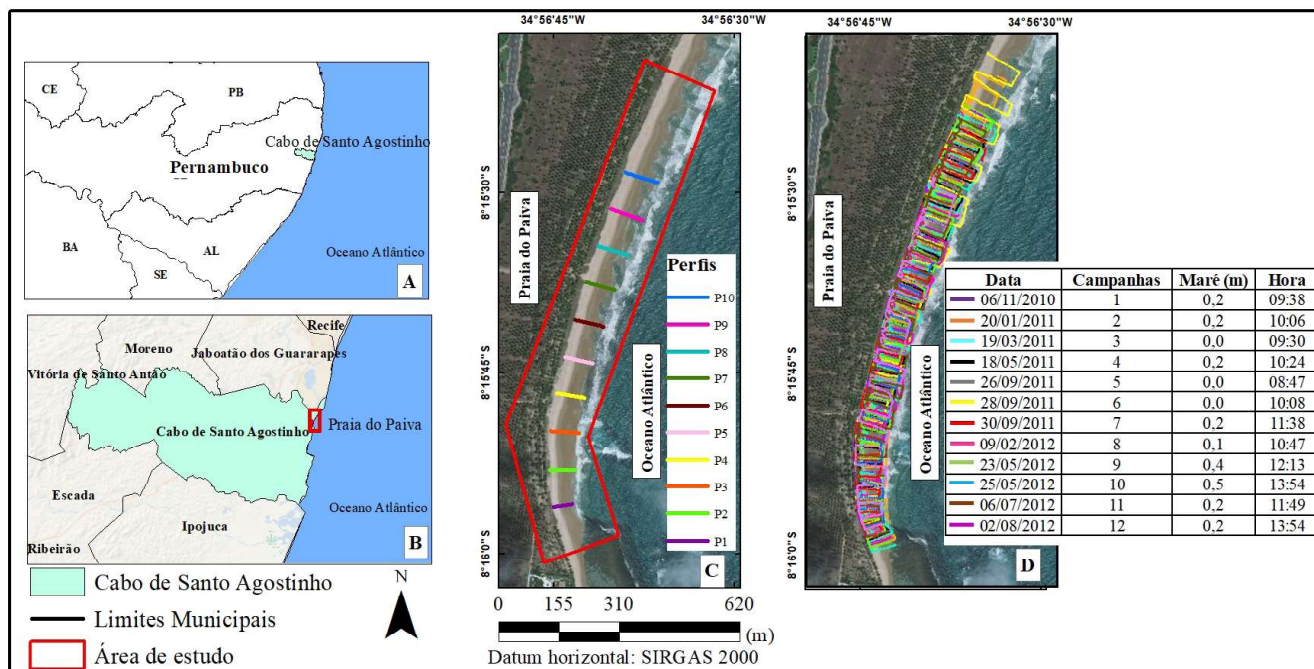


Figura 1 - Localização da área de estudo. (A) Estado de Pernambuco. (B) município do Cabo de Santo Agostinho, PE. (C) Imagem de satélite da Praia do Paiva e localização dos perfis. (D) Trajetórias obtidas através do método relativo cinemático GNSS efetuados ao longo de 2010, 2011 e 2012 conforme as datas das campanhas realizadas e informações dos horários e valores de baixa mar.

3.2 Materiais

3.2.1 Levantamentos temporais GNSS

Com o auxílio de um par de receptores GNSS (base e móvel), modelo R3 (*Trimble*) o receptor base foi instalado em um marco geodésico, com coordenadas precisas, previamente determinadas (8°17'42,23456"S, 34°57'11,18045"W e altitude ortométrica H = 4,73m) no Condomínio Itapuama II. O receptor móvel foi con-

figurado no modo cinemático, com taxa de gravação do receptor base sendo de 1s e rover 5s segundos e aquisição de coordenadas tridimensionais obedecendo a um espaçamento médio de 50 m entre sí. A Figura 1D representa a trajetória dos levantamentos realizados no período de 2010, 2011 e 2012. Esta, apresenta ainda um quadro com a data dos levantamentos geodésicos totalizando 12 campanhas realizadas durante a baixamar de sizígia.

Os pós-processamentos das observações foram realizados no *software* TBC (*Trimble Business Center*), obtendo uma precisão planimétrica média de 3 cm e altimétrica de 10 cm. Os demais produtos cartográficos (mapas planialtimétricos, MDT, perfis de praia, cálculos de volume e mapas de mobilização de sedimento), foram realizados no *software* ArcGis versão 10.5 (licença estudantil).

3.2.2 Dados de amplitude de maré

Os dados de amplitude de maré foram obtidos através do *site* da Marinha do Brasil (<https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>), referentes ao período de 2010 a 2012.

3.2.3 Dados de ondas

Os dados de onda foram obtidos a partir do *site* *Wave Watch III (WW3) Global Wave Model* da *University of Hawaii*; (http://oos.soest.hawaii.edu/erddap/griddap/NWW3_Global_Best.html). Já as reanálises de clima de onda, altura significativa de onda (*Hs*), direção de onda (*Dir*) e Período de onda (*Tp*) foram obtidos através do Sistema de Modelagem Costeiro do Brasil (SMC Brasil). O SMC é um programa desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantábria (IH Cantabria)

da Universidade de Cantábria (UC) com o apoio da Direção Geral de Costas do Ministério de Meio Ambiente Espanhol. Este sistema foi adaptado e transferido para administração pública brasileira e encontra-se disponível em: (<http://smcbrasil.ihcantabria.com/>).

3.2.4 Granulometria

Os dados granulométricos foram fornecidos através do projeto de pesquisa VULSPE da FACEPE N° APQ 0068-1.08/09.

3.3 Procedimentos Metodológicos

A Figura 2 apresenta as três etapas metodológicas elaboradas para a classificação morfodinâmica proposta. A primeira etapa refere-se à coleta de dados de entrada, conforme os dados descritos em 3.2.1 a 3.2.4. Na segunda etapa tem-se o processamento e a organização de algumas variáveis como é o caso do MDT, perfil de praia e o cálculo do volume de sedimentos, além das informações de amplitude de maré e os gráficos de clima de onda com as informações adquiridas na etapa 1. Por fim, a terceira etapa enseja à classificação morfodinâmica que compõe a junção das etapas anteriores que são integradas para determinar a classificação morfodinâmica temporal da Praia do Paiva.

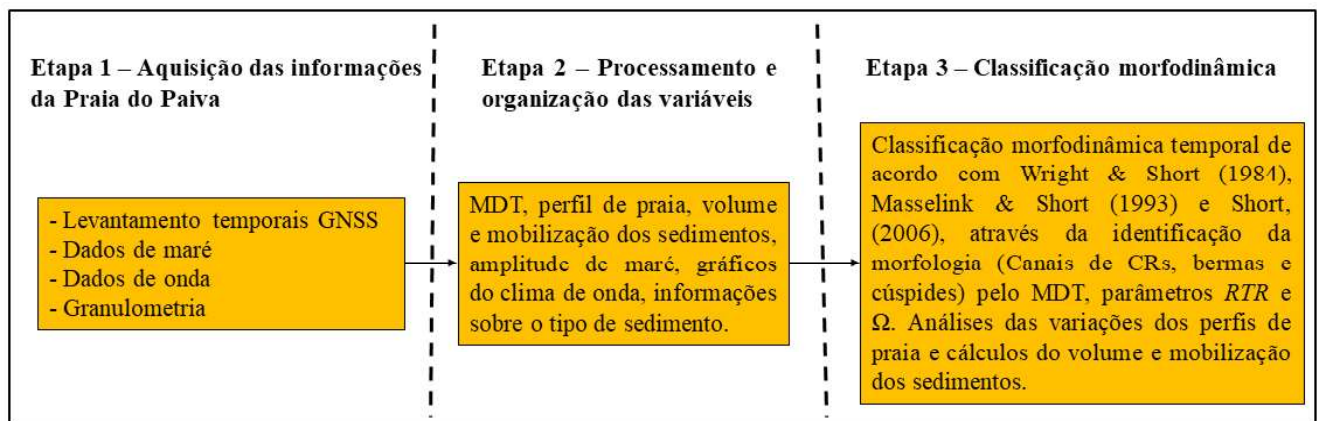


Figura 2 - Etapas para determinação da classificação morfodinâmica.

Etapa 1 - Aquisição das informações da Praia do Paiva

Nessa etapa encontra-se as campanhas de campo utilizando o GNSS que ocorreram na face da praia durante a maré baixa de sizígia para a geração do MDT descrito no item 3.2.1. Os dados de entrada complementares (dados de maré, granulometria, dados de onda) estão especificados nos 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4. respecti-

vamente. Em seguida, os mesmos são processados e organizados na etapa 2.

Etapa 2 – Processamento e organização das variáveis

Apesar de algumas variáveis serem coletadas de forma direta e armazenadas na etapa 1, outras precisam ser processadas. Como é o caso do MDT, perfis de

praia, cálculo do volume e remobilização sedimentar, identificação de amplitude de maré, gráficos de onda e composição dos dados para a classificação. A seguir são apresentados os detalhes de obtenção dessas variáveis.

a) MDT

Com a coleta de informações temporais GNSS é possível extrair o MDT para cada instante de tempo. Para isso, a partir das coordenadas tridimensionais obtidas nas campanhas é necessário fazer a escolha de um método de interpolação e assim gerar o MDT. Para este estudo foi feito uso do IDW (*Inverse Distance Weighted*), baseados nos estudos feitos por Baptista et al. (2008a, 2008b) que utilizaram este interpolador para gerar o MDT em estudos de caso em praias de Portugal. Na prática a interpolação é realizada no *software ArcGis*.

b) Perfil de praia

Os perfis de praia foram obtidos a partir da seleção de transectos sobre o MDT. O perfil de praia indica a variação do relevo contada em metros a partir do eixo das ordenadas em função das distâncias consideradas no eixo das abcissas também em metros. Segundo Andrade e Ferreira (2006) os perfis de praia fornecem informações úteis para os estudos da dinâmica costeira podendo ser utilizados para identificar períodos de erosão e acreção. Para este trabalho os perfis são utilizados para o monitoramento dos ciclos de erosão e acreção. A Figura 1C representa a localização dos 10 perfis de praia selecionados, que foram extraídos a partir do MDT. Os perfis não têm as mesmas extensões em suas abcissas devido à faixa de praia ser mais estreita na parte sul, e consequentemente o MDT e os perfis.

c) Volume e remobilização dos sedimentos

Para as informações a respeito do volume e remobilização sedimentar foi realizado a álgebra de mapas, tendo como produto a subtração do MDT mais recente pelo mais antigo. Neste processo é possível calcular o volume em m³ de cada MDT e a partir das informações temporais detectar processos de remobilização, ou seja, o movimento de sedimentos no decorrer do tempo.

d) Gráficos de clima de onda

Os gráficos foram elaborados a partir de uma planilha eletrônica para dar subsídio a classificação. Foram

obtidos conforme descrito no item 3.2.3, organizados em ordem cronológica sendo a posteriori representados, contendo no eixo das abcissas o tempo que é constante em todos os gráficos e no eixo das ordenadas as variáveis H_s , Dir , T_p , Ω e RTR .

e) Composição dos dados para a classificação

Neste procedimento foi utilizado o parâmetro adimensional Ômega (Ω) de Davies (1964); Wright e Short (1984) descrito pela equação 1:

$$\Omega = H_b/W_sT \quad (1)$$

onde: H_b = altura significativa da onda na arrebentação; W_s = velocidade média de decantação dos sedimentos da face da praia que foi obtido na seção 3.2.4 e T = período médio das ondas retirados do procedimento (d). Para Wright e Short (1984) o estado modal da praia representa uma resposta às características do disjuntor modal e às características predominantes dos sedimentos.

Bem como o parâmetro relativo da maré RTR (*Relative Tide Range*) apresentado por Masselink e Short (1993), conforme a equação 2, onde TR são os valores de amplitude da maré e H_b a altura de quebra de onda, obtidos no item (d) através dos gráficos de clima de onda.

$$RTR = TR/H_b \quad (2)$$

Etapa 3 – Identificação de critérios e classificação morfodinâmica

Para análise e classificação espaço-temporal da praia foi realizada uma análise interpretativa dos mapas planialtimétricos, perfis, cálculo de volume sedimentar juntamente com dados do clima de onda e os resultados dos parâmetros (Ω e RTR).

Para o entendimento do método de interpretação visual utilizado no presente estudo juntamente com o conjunto de variáveis descritas nas etapas 1 e 2 utilizou-se como exemplo a Figura 3. Nesta figura os itens A, B e C representam os modelos morfodinâmicos de praias sendo eles: BPR, BTR e TBM, conforme com suas características morfológicas, representadas por Short (2006). Já em D, E e F encontram-se as interpretações classificadas como ilustração a partir de imagens de satélites identificando as feições geomorfológicas com berma, cúspides,

bancos, cavas e hidrodinâmicas (correntes de retorno). Por fim em G, H e I, são apresentadas a representação dos dados obtidos através do MDT para identificar as feições geomorfológicas, como os canais de corrente de retorno, cúspides, bermas, áreas de cava e bancos de sedimentos.

A classificação morfodinâmica seguiu os estudos feitos por Wright e Short (1984); Masselink e Short (1993) e Short (1999, 2006), apresentados na seção 2.1. No parâmetro Ômega (Ω) descrito no procedimento (e), os resultados encontrados da equação 1 foram analisa-

dos com os critérios definidos por Wright e Short (1984) e atualizados por Short e Jackson (2013), as praias dominadas por onda apresentam $\Omega < 1$ para o limiar refletivo/intermediário, $2 < \Omega < 5$ para as praias intermediárias e $\Omega > 6$, marca o limiar entre condições intermediárias e dissipativas. Já em praias modificadas pela maré $\Omega < 2$ são praias R+TBM, e $\Omega = (2 \text{ a } 5)$ são praias R+CBM e praias UD possuem $\Omega > 5$. Para as praias dominadas pela maré Short (1999, 2006) destacam apenas a praia R+PAS com o $\Omega < 2$.

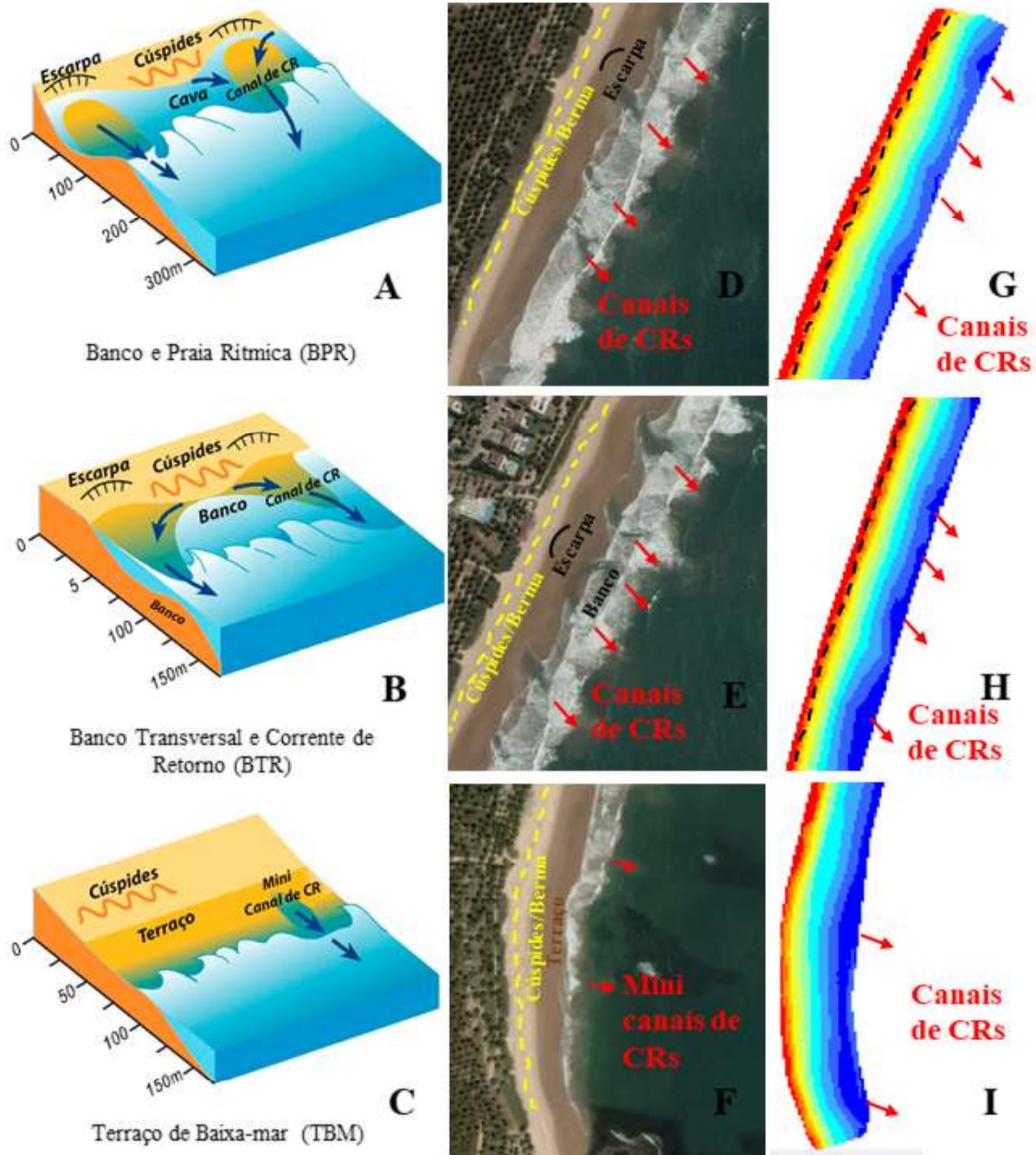


Figura 3 - Modelo para identificação das feições praias em imagens de satélite e MDT. Fonte adaptada de Short e Jackson (2013).

Para examinar a contribuição relativa de *Hb* e *TR*, Masselink e Short (1993) combinam e ampliam os estudos de WRIGHT e SHORT (1984) e SHORT (1991), considerando a influência das características locais das ondas combinadas com o tipo de marés na classificação morfológica. No parâmetro *RTR* descrito por Masselink e Short (1993) no procedimento (e), na equação 2 a medida que o valor numérico aumenta destaca-se o domínio de marés em contrapartida quando o valor diminui considera-se a predominância por ondas. Short e Jackson (2013) definem esses valores da seguinte forma quando o $RTR < 3$ as praias são dominadas por ondas; no intervalo $3 < RTR < 10$ as praias são modificadas pela maré; e quando $RTR > 10$ até aproximadamente 50 as praias são dominadas pela maré e com *RTR* de > 50 consideradas como planícies de marés.

4. Resultados e Discussões

4.1 RTR, Ω , Hs, Dir, Tp

A Figura 4 contém 5 gráficos em função do tempo representando os seguintes resultados: *Relative Tide Range* (*RTR*); o parâmetro adimensional ômega (Ω), a altura

significativa de onda (*Hs*) (em metros), o período de onda (*Tp*) (em segundos) e a direção de onda (*Dir*) (em graus). A Praia do Paiva possui amplitude de maré máxima de 2,5 m, com *Hs* mínimo de 1,61 m e máximo de 3,39 m, com *Dir* entre 108° e 181° , *Tp* máxima de 16 s e mínima de 7 s. Os resultados encontrados são condizentes com Lino (2015) para a Praia de Itapuama, próximo a área de estudo tendo a altura significativa (*Hs*) oscilando entre 0,5 e 2,2 m com ondulações de Sul de 14 s e ondulações de S-SE de 13 s. Nesta figura 4 são apresentadas as médias relevantes para compreensão das características na Praia do Paiva, segundo o clima de onda e a classificação morfodinâmica.

Os dados do clima de onda apresentaram médias de *Hs* 1,8 m, *Tp* 9,3 s e *Dir* 116° , os quais justificam a classificação morfodinâmica de acordo com os critérios de *RTR*, que classifica a praia como sendo dominada por onda, apresentando um $RTR < 3$. A média encontrada para este parâmetro foi de 1,4. O parâmetro ômega obteve média de 3,1 corroborando com o resultado de *RTR* e se enquadrando como dominada por onda com estágios intermediários, estágio este que possui uma morfologia bastante dinâmica pelo fato da presença das CRs.

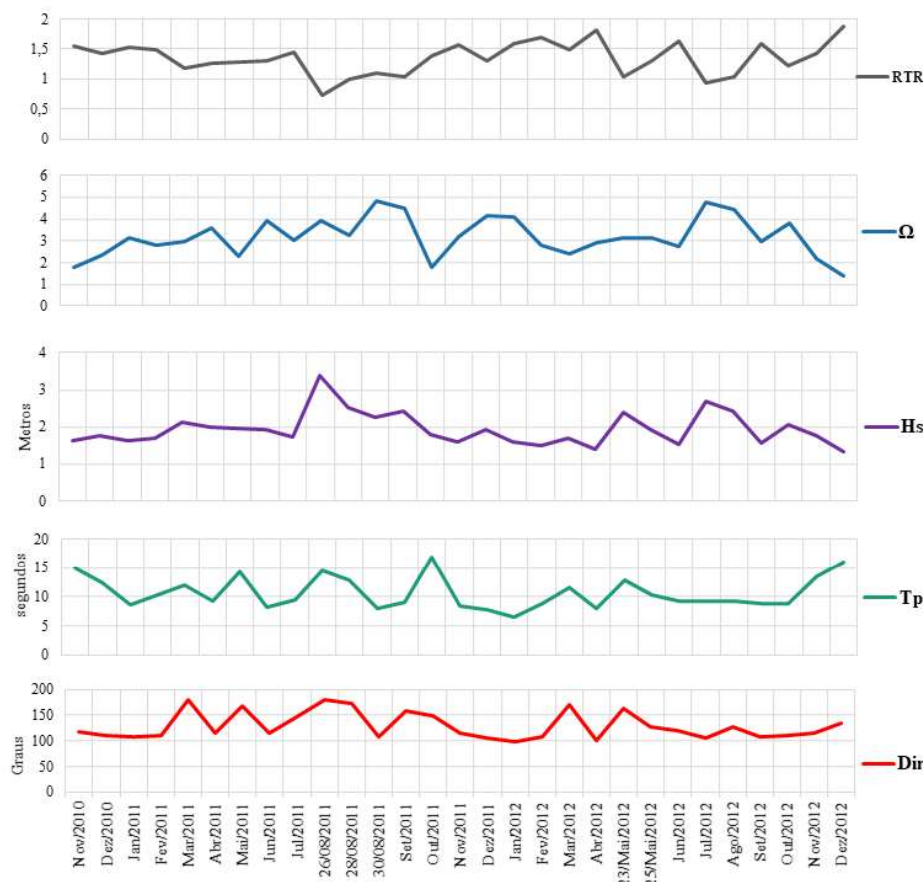


Figura 4 - Dados do Relative Tide Range (*RTR*), parâmetro adimensional Ômega (Ω), altura significativa de onda (*Hs*), período (*Tp*) e direção (*Dir*).

4.2 Classificação morfodinâmicas temporais e identificação de feições morfológicas

A Figura 5 apresenta os resultados para os 12 mapas planialtimétricos temporais conforme a data do levantamento. Os pontos em vermelho representam os locais onde foram identificados os canais de CRs. A partir destes resultados foi possível a identificação de

TBM em todas as campanhas na porção mais ao Sul da praia, e BTR e BPR na parte mais ao Norte, sendo este trecho classificado como praia intermediária dominada por ondas (Figura 5). Lino (2015) encontrou resultados semelhantes para a classificação TBM na praia de Itapuaama, localizada ao Sul da Praia do Paiva, caracterizada como uma praia intermediária.

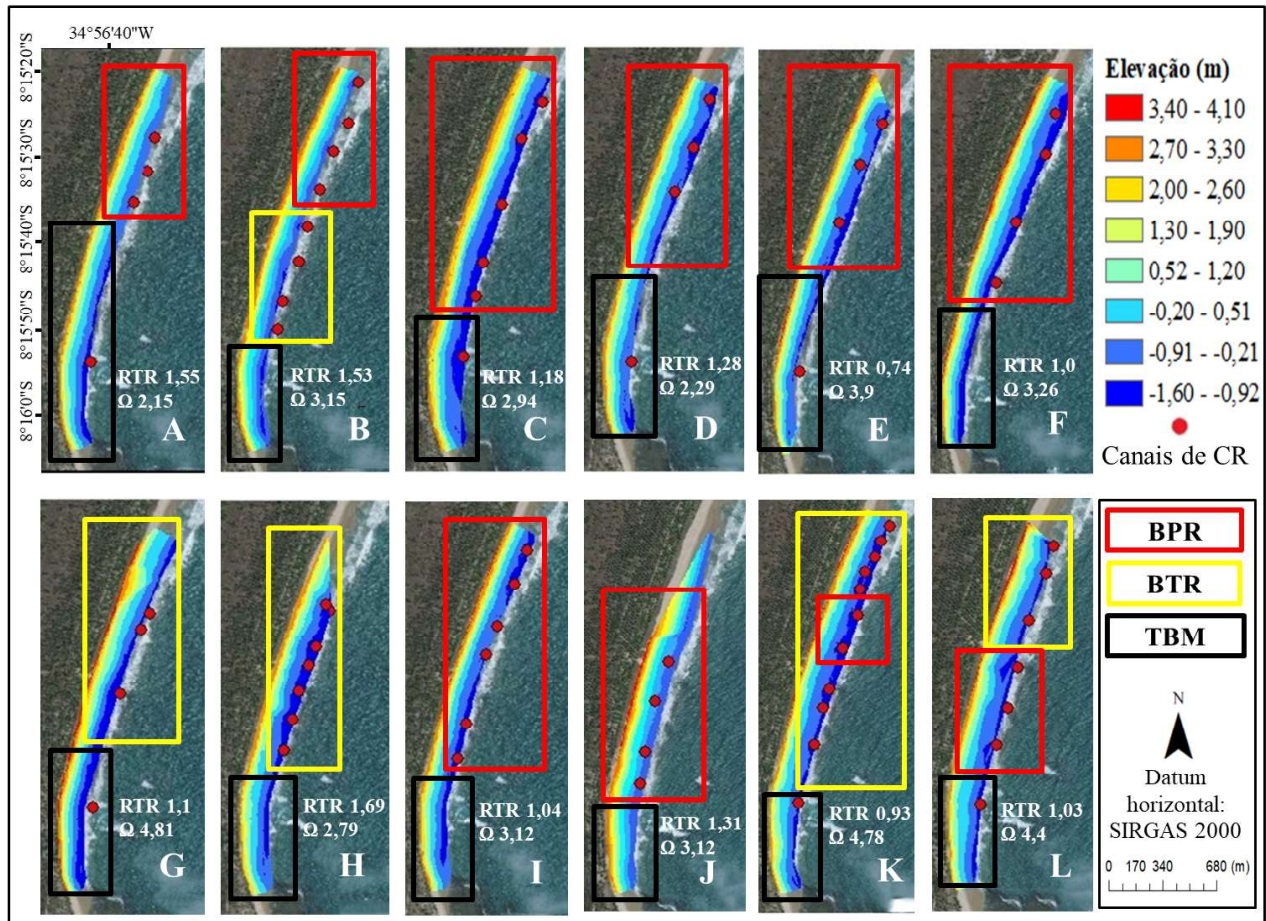


Figura 5 - Perfis planialtimétricos obtidos através de levantamentos temporais na Praia do Paiva, classificação morfodinâmica segundo os parâmetros Ω e RTR, conforme as seguintes datas: (A) 06/11/2010, (B) 20/01/2011, (C) 19/03/2011, (D) 18/05/2011, (E) 26/09/2011, (F) 28/09/2011, (G) 30/09/2011, (H) 09/02/2012, (I) 23/05/2012, (J) 25/05/2012, (K) 06/07/2012 e (L) 02/08/2012. A imagem de fundo trata-se de uma imagem de satélite oriunda da base de dados da ESRI.

Na Figura 5A notam-se dois estágios morfodinâmicos, TBM e BPR, apresentando feições como cúspides, bermas, 4 canais de CR, RTR de 1,55 e Ω 2,15, indicativos de praias dominadas por ondas de acordo com Short e Jackson (2013), seção 3.3. As feições presentes na praia são determinadas levando em conta a entoação incidente do regime de onda em conjunto com os regimes energéticos de ondas que foram considerados como baixos a moderados, mais detalhes em Masselink e Short (1993).

Entre as classificações morfodinâmicas com maior frequência detectadas destaca-se a TBM. Porém, mesmo em 3 anos monitorados, foi possível detectar variações entre TBM, BTR e BPR, a saber: 01/2011 (Figura 5B), 07/2012 (Figura 5K) e 08/2012 (Figura 5L). Essas características estão vinculadas aos levantamentos com o maior número de canais de CRs, assim como a alta energia das ondas. Para estes casos, foram encontraram valores de RTR entre 0,93 até 1,55 e Ω 3,15 e 4,78. De acordo Calliari *et al.* (2003) a grande variabilidade de

Hs determina o sistema praial com grande mobilidade.

Na Figura 5B, é possível observar 8 canais de CRs associadas ao clima de onda *Hs* 1,63 m, *Dir* 108° e *Tp* 9 s, três delas localizadas ao Norte, três no centro e apenas uma ao Sul, com três estágios TBM, BTR e BPR. A praia possui cúspides e berma, que ficam mais evidentes na parte central e Norte, com *RTR* = 1,53 e $\Omega = 3,15$. Na Figura 5K a praia é classificada como TBM, BPR e BTR, com feições de berma e cúspides presentes. Notam-se 11 canais CRs ao longo da praia, com alturas *Hs* para o período entre -0,92 e 4,1 m. Na Figura 5L notam-se 7 canais CRs e altitude máxima (MDT) de 3,3 m e mínima de -0,21, com o perfil classificado como TBM, BPR, BTR, associado a um *RTR* de 0,93 e $\Omega 4,78$, apresentando feições de berma e cúspides ao longo da praia com menos detalhes na parte Sul devido à refração e difração das ondas presentes no arenito de praia (MARTINS *et al.* 2019).

As altitudes máximas nos perfis planialtimétricos em 28/09/2011, 30/09/2011 e 05/2012 são de 4,10 m. As campanhas em 06/11/2010, 20/01/2011, 19/03/2011 e 09/02/2012 obtiveram altitude de 3,30 m.

A frequência de canais CRs em todos os mapas planialtimétricos, mostrou-se mais associada ao clima de onda *Dir* 120°, *Tp* 8 s e *Hs* 2,4 m. As campanhas observadas com valores ≥ 6 canais de CRs correspondem as seguintes datas 20/01/2011 (Figura 5B), 19/03/2011 (Figura 5C), 23/05/2012 (Figura 5I), 06/07/2012 (Figura 5K) e 02/08/2012 (Figura 5L). As CRs estão presentes na maioria dos levantamentos como mostram as imagens da Figura 5, são caracterizadas por serem correntes que se deslocam da costa para o mar, muitas vezes de curta duração. O período que apresentou uma maior quantidade de canais de CRs foi em 06/07/2012 (Figura 5K) totalizando 11. Essa maior quantidade detectada pode estar associada ao período de inverno, pois, ondas com alta energia tendem a ser mais recorrentes. O clima de onda para a data foi com *Dir* 109°, *Tp* 8 s e *Hs* 2,28 m. O estudo sobre as feições morfodinâmicas e sua análise está interligado às ações simultâneas dos processos hidrodinâmicos (*Dir*, *Tp* e *Hs*) costeiros e feições geomorfológicas costeiras locais (KOMAR, 1998).

A presença de berma e cúspides, em todos as campanhas, estiveram com uma maior frequência na região Norte, por ser uma área mais exposta às ações das ondas. Esse fato está relacionado com a possível criação de uma maior quantidade das feições como os canais de CRs bem como a uma maior mobilidade. Na região Sul esse tipo de feição não é identificado devido a obstrução encontrada por arenitos de praia, que acarre-

tam na diminuição da energia das ondas por meio desta proteção natural (MARTINS *et al.* 2019).

Segundo Wright e Short (1984) as praias possuem um perigo natural, com o aumento da dissipatividade do sistema e o adicional da altura de arrebentação das ondas. Short e Hogan (1994), inferem que os molhes, rochas submersas, desembocaduras de rios entre outras características físicas, atuam como fonte de perigo para os banhistas. Contudo, a área de estudo não possui essas características, mas a grande quantidade de CRs torna a praia bastante perigosa em regimes de onda intensas, pesquisas de Maia *et al.* (2014) inferem a presença de 37 CRs no município e com 23 na Praia do Paiva.

4.3 Perfis da praia

Os perfis traçados conforme a Figura 1C apresentaram altitudes variando em média de -1,5 m à 3 m. A Figura 6 apresenta os resultados para cada perfil e sua respectiva variação. No caso dos perfis 1 e 2, nota-se uma extensão de 35 e 45 m respectivamente, com variações significativas detectadas em 26/09/2011, 28/09/2011 e 30/09/2011, considerados típicos perfis de erosão apresentando uma forma côncava (BIRD, 2008). Estes perfis fazem parte do setor Sul, em que é evidente uma maior suavidade em toda extensão, apresentando, o estágio morfodinâmico TBM. As altitudes máximas estão entre 2,7 a 3 m com declividade média de 3° na face da praia e 8° na berma. As características dos perfis estão diretamente condicionadas à presença do recife rochoso neste setor, a qual difrata e refrata as ondas e consequentemente influenciam nestes perfis.

Os perfis de 3 até o 10 fazem parte do setor Central e Norte, mostram-se com maiores variações do pacote sedimentar, em média de 1 m na vertical. As datas em que os perfis 3 e 4, apresentaram o formato convexo foram 19/03/2011 e 25/05/2012. Os perfis convexos estão associados ao estágio TBM e os perfis com a configuração côncava ao estágio BPR e BTR.

A data 19/03/2011 apresenta convexidade (acreeção) para os perfis 1, 2, 3, 4 e 5 e nos perfis 6, 7, 8, 9 e 10 (Figura 6), apresentam um perfil côncavo nos 30 m de distância dos perfis. O clima de onda de *Hs* 2,1 m, *Dir* 181° e *Tp* 12 s contribui para configuração dos perfis atrelado a morfodinâmica TBM mais ao Sul na forma convexa. O estágio BPR ocorre predominantemente no perfil com a forma côncava e também a remobilização do sedimento. Para Wright e Short (1984), os mecanismos reais que causam o corte na praia e a energia das ondas necessária para induzir o corte na praia dependem do estado da praia.

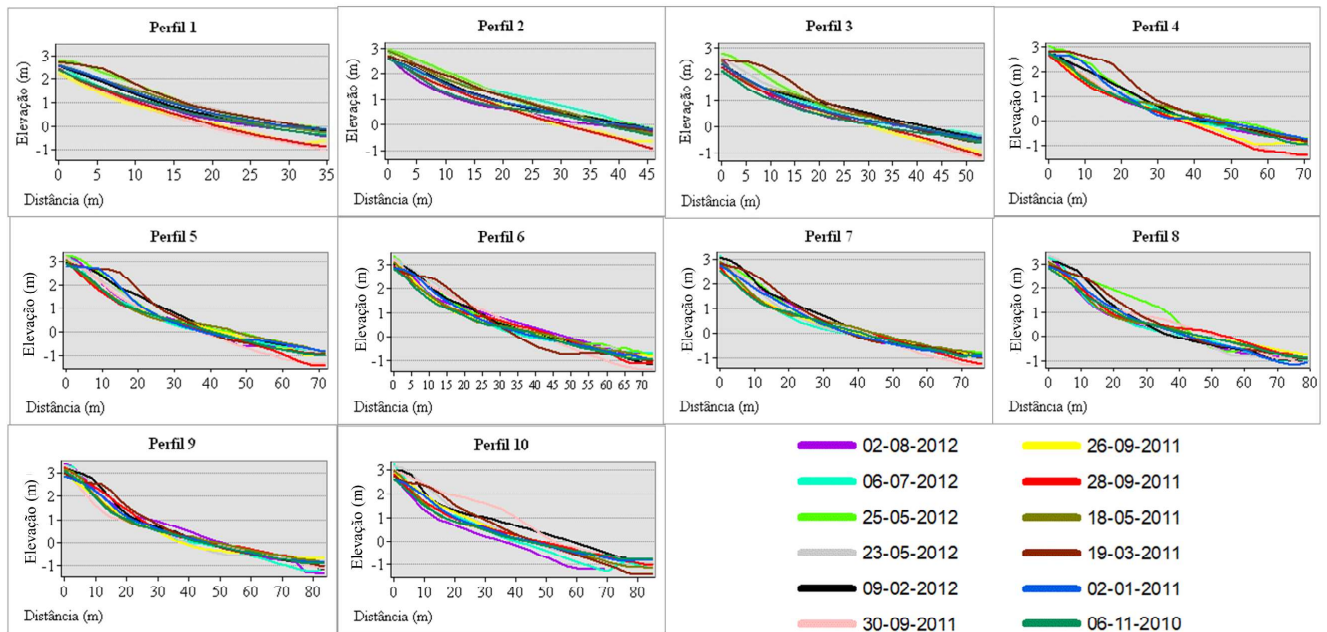


Figura 6 - Perfis interpolados com o MDT da Praia do Paiva-PE.

As datas de 19/03/2011, 06/07/2012 e 02/08/2012 como mostram os perfis da Figura 6, apresentam sua forma convexa devido à morfologia da praia e também as maiores quantidades de canais de CRs, que vão condicionar a forma do perfil erosivo e estão associados ao clima de onda *Dir* 120°, *Tp* 8 s e *Hs* 2,4 m em média.

4.4 Volume e mobilização dos sedimentos

A variabilidade sedimentar do ambiente praial é apresentada na Figura 7. Os resultados foram obtidos através da álgebra de mapas, onde é feita a subtração do MDT a partir de duas datas distintas e o resultado encontrado pode ser interpretado como a mobilidade dos sedimentos na praia. As campanhas 1 e 2 obtiveram o valor negativo de -14.136,32 m³, todas as campanhas tiveram seu cálculo de volume para uma área de 47.023,66 m², a Figura 7A, apresenta os estágios TBM, BTR e BPR nas campanhas 06/11/2010 e 20/01/2011 que corroboram com a quantidade de canais de CRs variando de 4 até 8 nas porções central e norte e são os causadores dessa mobilidade associada ao clima de onda para o período em média de *Hs* 1,6 m, *Tp* 15 s e *Dir* 118°. Notou-se que do levantamento 1 para o 2 ocorreu uma variação significativa no *Tp* de 15 s para 8 s, respectivamente. Os perfis que compõem o setor onde ocorreram maiores mobilidades são os perfis de 5 até 10 da Figura 6, tendo

as maiores variações em altitude para todas as campanhas.

Na Figura 7B é possível identificar um balanço positivo dos sedimentos, mesmo tendo toda uma faixa em vermelho, o que caracteriza erosão na região (Figura 7G) com os estágios associados TBM e BPR. Na imagem a área em azul identifica-se processos de acreção com 80% da área total, tornando-se nítido o transporte do sedimento da zona com maior altimetria (berma) para a zona de espraçamento associado ao clima de onda *Hs* 2 m, *Tp* 13 s e *Dir* 170° em média. A Figura 7C representa uma mobilidade da berma e deposição na zona de espraçamento no setor central, norte e sul com um ambiente de maior transição, apresentando um balanço positivo com 13.457,675 m³. Na Figura 7D, para os setores sul e central, foi identificado uma redução da zona de espraçamento onde é possível associar uma deposição de sedimentos na berma. Ao norte verifica-se uma deposição de sedimentos na zona de espraçamento e retirada na berma com um balanço negativo, como representado na Figura 7G. Os resultados dos balanços sedimentares apresentados em metros cúbicos, encontra-se na Figura 7G.

As variações no pacote sedimentar são representadas na Figura 7 (E e F) estes são os que mais apresentaram mobilizações horizontalmente sem uma conformidade e também são os únicos que mostraram que as feições presentes na praia se modificaram, com resultados positivos para o balanço sedimentar.

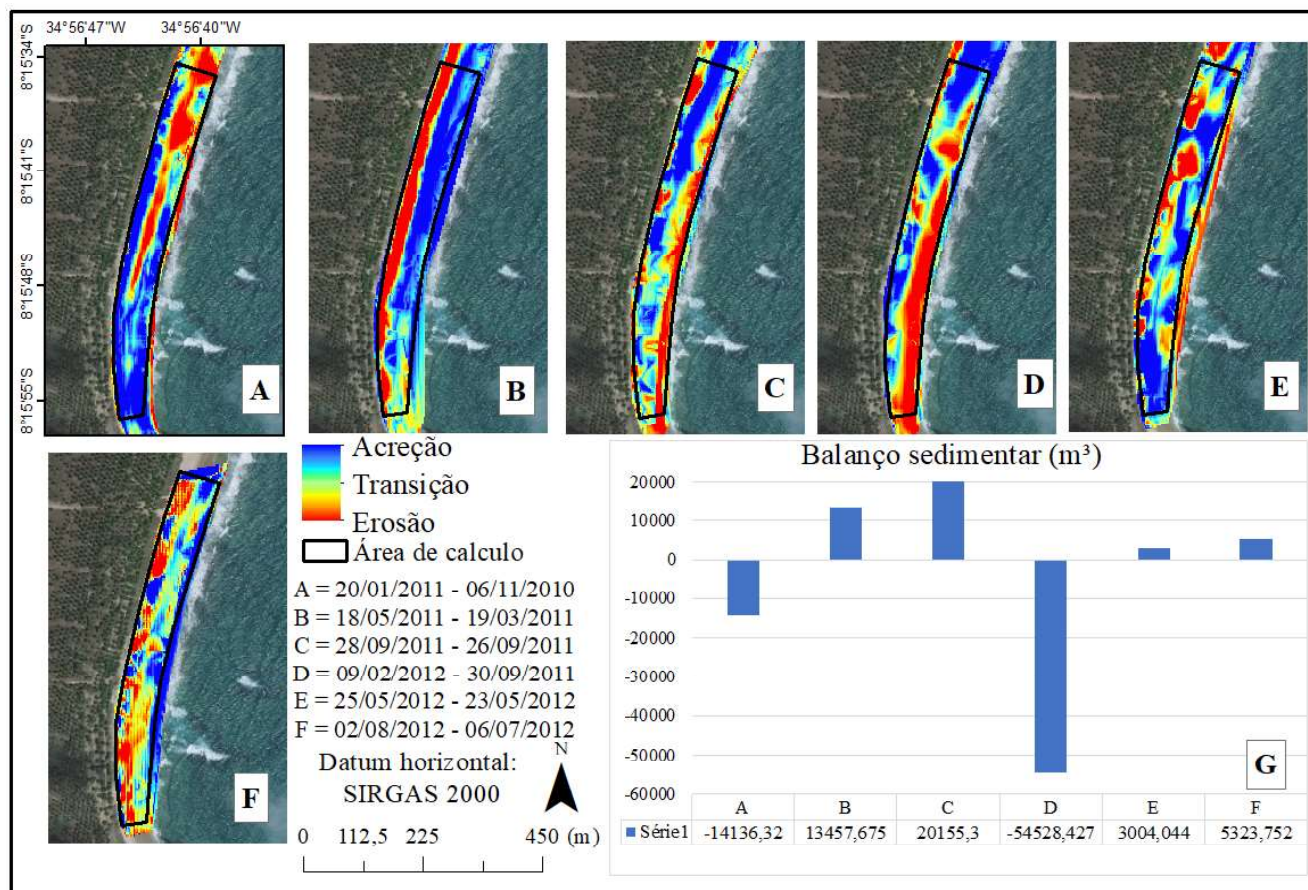


Figura 7 - Representação das diferenças volumétricas temporais (de A a F) e G gráfico do balanço sedimentar e variações no pacote sedimentar (m³) temporal da Praia do Paiva-PE.

5. Considerações Finais

Neste estudo foram utilizados 12 levantamentos geodésicos com o auxílio de um par (base e móvel) de receptores GNSS na Praia do Paiva-PE, para a geração da classificação morfodinâmicas através das análises do MDT, *RTR*, Ω , dados hidrodinâmicos (clima de onda), identificação dos canais de CRs, bermas e cúspides, assim como, observações de perfis topográficos e balanço sedimentar durante o período de estudo (2010, 2011 e 2012). Os resultados encontrados indicaram que:

A praia apresentou preferencialmente três estágios morfodinâmicos durante o período analisado, sendo classificados como TBM, BPR e BTR em uma extensão de menos de 1,5 km. Foi possível detectar a presença da berma, cúspides e canais de CRs em mais de 1/3 da praia. Levando em conta o estado de Pernambuco, a ocorrência de canais CRs transversais à praia encontrados foi considerada alta, destacando-se como um alerta de cuidado ao perigo de afogamento para os banhistas e surfistas que frequentam essa praia. Os resultados dos

parâmetros *RTR* e Ω mostram que se trata de uma praia dominada por onda e corrobora com as classificações supracitadas anteriormente por estarem nos estágios intermediários. Detectou-se que os estágios possuem maiores mudanças no período de inverno, causado pelo clima de onda para o local com *Hs* variando entre 1,61 a 3,39 m, *Tp* de 9,3 s de média e com direção de onda de E, ESE e SE.

Nos perfis topográficos foi registrada variações significativas tanto em períodos de acreção ou erosão, chegando a 1 m verticalmente, sobretudo na zona de espraiamento onde as maiores variações dos perfis são encontradas na porção ao Norte. Os perfis de erosão mostram-se mais acentuados no inverno e outono devido ao clima de onda.

O balanço sedimentar demonstrou o volume perdido ou ganho na praia. No caso foi detectado um resultado negativo no balanço sedimentar para uma área de 47.023,66 m². Esse resultado corrobora para comprovar que há uma grande mobilidade. Também foi possível verificar que em

períodos de inverno e outono, o clima de onda altera devido aos sistemas atmosféricos presentes, quando ondas com maiores alturas estão atuando na praia, tem-se a retirada dos sedimentos da berma, remobilizando-os para a face da praia. Já no verão e primavera, o padrão de retirada dos sedimentos da berma para a face da praia predomina, contudo, existe uma relação inversa, no verão com a retirada da berma para a face na parte norte e na primavera a retirada da berma para face localizada na parte sul.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer: (i) ao suporte do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE; (ii) as concessões das bolsas CAPES sendo uma de mestrado e outra uma bolsa PNPd nº do Proc. 88887.319598/2019-00; (iii) ao projeto PQ/nível 2/CNPq nº do Proc. 310452/2018-0; (iv) à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo financiamento do projeto N° APQ 0068-1.08/09; (v) ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) da UFPE pelos equipamentos de mapeamento e por fim (vi) ao Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST) por toda estrutura disponibilizada.

Referências Bibliográficas

- AAGAARD, T.; MASSELINK, G. The surf zone. In: SHORT, A. D. (Ed.). **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. 1. ed. Chichester: UK: Wiley, 1999. p. 72–118.
- ANDRADE, F.; FERREIRA, M. A. A Simple Method of Measuring Beach Profiles. **Journal of Coastal Research**, v. 22, n. 4, p. 995-999, 2006.
- ARAÚJO, I. R. G. DE; GOMES, É. R.; GONÇALVES, R. M.; QUEIROZ, H. A. A.; Estimativa do índice de vulnerabilidade à erosão costeira (IVC) para o litoral do Piauí, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, p. 105-118, 2019.
- AWANGE, J. L. **Environmental monitoring using GNSS Global Navigations Satellite Systems**. New York: Springer, 2012.
- BAPTISTA, P.; DIAS, J.; BASTOS, L.; BERNARDES, C.; CUNHA, T. Monitoring Sandy Shores Morphologies by DGPS-A Practical Tool to Generate Digital Elevation Models. **Journal of Coastal Research**, v. 246, n. May 2014, p. 1516–1528, 2008a.
- BAPTISTA, P.; BASTOS, L.; CUNHA, T.; BERNARDES, C.; DIAS, J. A.; Aplicação de metodologias de monitorização GPS em litorais arenosos: Geração de modelos de elevação do terreno. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 8, n. 1, p. 9–23, 2008b.
- BIRD, E. C. F. **Coastal Geomorphology An Introduction Second**. 2. ed. Chichester: v. 1. 2008.
- BORUFF, B. J.; EMRICH, C.; CUTTER, S. L. Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. **Journal of Coastal Research**, v. 215, p. 932–942, 2005.
- BURVINGT, O.; MASSELINK, G.; RUSSELL, P.; SCOTT, T.; Classification of beach response to extreme storms. **Geomorphology**, v. 295, n. August, p. 722–737, 2017.
- BRIGHTON, B.; SHERKER, S.; BRANDER, R.; THOMPSON, M.; BRADSTREET, A. Rip current related drowning deaths and rescues in Australia 2004–2011. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 13, n. 4, p.1069-1075. 2013.
- CALLIARI, L. J. MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR, E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, p. 63–78, 2003.
- DAVIES, J. L. Morphogenetic approach to world shorelines. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 8, p. 127–142, 1964.
- DE AGUIAR, P. F.; EL-ROBRINI, M.; FREIRE, G. S. S.; DE CARVALHO, R. G. Morfodinâmica de praias dominadas por mesomárés na planície arenosa de Almofala, nw do Ceará (Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 1, p. 61–73, 2013.
- FELLOWES, T. E.; VILA-CONCEJO, A.; GALLOP, S. L. Morphometric classification of swell-dominated embayed beaches. **Marine Geology**, v. 411, n. February, p. 78–87, 2019.
- GONCALVES, R. M.; AWANGE, J. L. Three Most Widely Used GNSS-Based Shoreline Monitoring Methods to Support Integrated Coastal Zone Management Policies. **Journal of Surveying Engineering**, v. 143, n. 3, p. 1–11, 2017.
- HOANG, V. C.; VIET, N. T.; TANAKA, H. Morphological change on Cua Dai Beach, Vietnam: Part I image analysis. **Journal of Natural Disaster Science**, v. 51, n. In press, p. 1–6, 2015.
- HOWFMAN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS global navigation satellite system: GPS, GLONASS, Galileo and more**. 2. ed. Wien: 2008.
- KANTAMANENI, K.; RANI, N. N. V. S.; RICE, L.; SUR, K.; THAYAPARAN, M.; KULATUNGA, UDAYANGANI.; REGE, R.; YENNETI, K.; CAMPOS, L. C. A systematic review of

- coastal vulnerability assessment studies along Andhra Pradesh, India: A critical evaluation of data gathering, risk levels and mitigation strategies. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 2, 2019.
- KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. 2. ed. EUA: New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
- KUMAR, A. A.; KUNTE, P. D. Coastal vulnerability assessment for Chennai, east coast of India using geospatial techniques. **Natural Hazards**, v. 64, n. 1, p. 853–872, 2012.
- LEICK, A. **GPS satellite surveying**. 3. ed. John Wiley: Hoboken, 2004.
- LINO, A. P. **Variabilidade Morfodinâmica de curto-termo de uma praia de mesomaré**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal de Pernambuco, p. 95, 2015.
- LOINENAK, F. A.; HARTOKO, A.; MUSKANANFOLA, M. R. Mapping of coastal vulnerability using the coastal vulnerability index and geographic information system. **International Journal of Technology**, v. 6, n. 5, p. 819–827, 2015.
- MAIA, J. C. B. G.; PEREIRA, P. S.; LESSA, R. P. T. Variação espaço-temporal das correntes de retorno em municípios da região metropolitana do Recife. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 05, n. 2, p. 166–176, 2014.
- MALLMANN, D. PEREIRA, P. S.; 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. 169–190, 2014.
- 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. 3, p. 533–546, 2016.
- MARTINS, K. A.; PEREIRA, P. S.; ESTEVES, L. S.; WILLIAMS, J. J. The Role of Coral Reefs in Coastal Protection: Analysis of Beach Morphology. **Journal of Coastal Research**, v. 92, p. 157-164, 2019.
- MASCAGNI, M. L. SIEGLE, E.; TESSLER, M. G.; Y GOYA, S. C.; Morphodynamics of a wave dominated embayed beach on an irregular rocky coastline. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 2, p. 172–188, 2018.
- MASSELINK, G.; HUGHES, M. G.; KNIGHT, J. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. 2. ed. London: Hodder Education Publishers, 2003.
- MASSELINK, G.; PATTIARATCHI, C. B. Morphological evolution of beach cusps and associated swash circulation patterns. **Marine Geology**, v. 146, n. 1–4, p. 93–113, 1998.
- MASSELINK, G.; PULEO, J. A. Swash-zone morphodynamics. **Continental Shelf Research**, v. 26, n. 5, p. 661–680, 2006.
- MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology. **Journal of Coastal Research**, v. 9, n. 3, p. 785–800, 1993.
- MCLACHLAN, A.; DEFEO, O.; SHORT, A. D. Characterising sandy beaches into major types and states: Implications for ecologists and managers. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 215, n. September, p. 152–160, 2018.
- PANTUSA, D.; D’ALESSANDRO, F.; RIEFOLO, L.; PRINCIPATO, F.; TOMASICCHIO, G. R. Application of a coastal vulnerability index. A case study along the Apulian Coastline, Italy. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 9, p. 1–16, 2018.
- SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. S. Metodologia geodésica para levantamento de linha de costa e modelagem digital de elevação de praias arenosas em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 5, p. 663–681, 2011.
- SHORT, A. D. Australian Beach Systems-Nature and Distribution. **Journal of Coastal Research**, v. 45, n. 1, p. 11–27, 2006.
- SHORT, A. D. Beach response to variations in breaker height. **17th International Conference on Coastal Engineering**, p. 1016–1035, 1980.
- SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. 1. ed. Chichester: Wiley, 1999.
- SHORT, A. D. Macro-meso tidal beach morphodynamics: an overview. **Journal of Coastal Research**, v. 7, n. 2, p. 417–436, 1991.
- SHORT, A. D.; HOGAN, C. L. Rip currents and beach hazards: Their impact on public safety and implications for coastal management. **Journal of Coastal Research**, n. 12, p. 197–209, 1994.
- SHORT, A. D.; JACKSON, D. W. T. Beach Morphodynamics. In: SHRODER, J.; SHERMAN, D. J. (Eds.). **Treatise on Geomorphology**. 1. ed. San Diego, CA,: Academic Press, 2013. v. 10p. 106–129.
- SHORT, A. D.; TROELS AAGAARD. Single and Multi-Bar Beach Change Models. **Journal of Coastal Research**, v. SI, n. 15, p. 141–157, 1993.
- STEIN, L.; SIEGLE, E. Santos beach morphodynamics under high-energy conditions. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 445–456, 2019.
- TABOSA, W. F.; LIMA, Z.; VITAL, H.; GUEDES, I. M. G.

- Monitoramento Costeiro das Praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte - NE/Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 383–392, 2001.
- TORRESAN, S. CRITTO, A.; RIZZI, J.; MARCOMINI, A. Assessment of coastal vulnerability to climate change hazards at the regional scale: The case study of the North Adriatic Sea. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 12, n. 7, p. 2347–2368, 2012.
- WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, n. 1135, p. 93–118, 1984.
- ZHU, Z. T.; CAI, F.; CHEN, S. L.; GU, D. Q.; FENG, A. P.; CAO, C.; QI, H. S.; LEI, G. Coastal vulnerability to erosion using a multi-criteria index: A case study of the Xiamen coast. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 1, 2018.