



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO**

TIAGO FERNANDO DE HOLANDA

MAPEAMENTO MORFODINÂMICO DA PRAIA DO PAIVA-PE, BRASIL

Recife

2020

TIAGO FERNANDO DE HOLANDA

MAPEAMENTO MORFODINÂMICO DA PRAIA DO PAIVA-PE, BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves.

Recife

2020

Catálogo na fonte

Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

H722m	Holanda, Tiago Fernando de. Mapeamento morfodinâmico da Praia do Paiva-PE, Brasil / Tiago Fernando de Holanda – Recife, 2020. 78 f.: il. Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2020. Inclui referências. 1. Ciências Geodésicas. 2. Remotely piloted aircraft systems. 3. Global navigation satellite system. 4. Balanço sedimentar. 5. Classificação morfodinâmica. I. Gonçalves, Rodrigo Mikosz (Orientador). II. Título. UFPE 626.1 CDD (22. ed.) BCTG / 2020-125
-------	--

TIAGO FERNANDO DE HOLANDA

MAPEAMENTO MORFODINÂMICO DA PRAIA DO PAIVA-PE, BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação.

Aprovado em: 21 / 02 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Paulo Henrique G. de Oliveira Sousa (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (Examinadora Externo)
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

RESUMO

A dissertação é composta por dois capítulos em formato de artigos, ambos efetuam a classificação morfodinâmica da praia do Paiva, PE, Brasil, porém com abordagem de aquisição de dados distintas. Para o Capítulo 1 as informações foram obtidas por *Global Navigation Satellite System*. Para o Capítulo 2 é utilizado informações a partir de *Remotely Piloted Aircraft Systems*. Em ambos as informações hidrodinâmicas para uma análise espaço temporal das variações morfológicas. No Capítulo 1 as campanhas foram levantados em 2010, 2011 e 2012, com um par de receptores *Global Navigation Satellite System* no modo cinemático, com 5 segundos de taxa de gravação e aquisição de perfis obedece um espaçamento médio de 50 m entre si, os levantamentos foram na face da praia em uma extensão de aproximadamente 1,2 km. A praia apresentou três estágios morfodinâmicos durante diferentes datas: Banco Transversal e Corrente de Retorno, Banco e Praia Rítmicos e Terraço de Baixa-mar. Constatou-se a presença da berma, de cúspides e canais de correntes de retorno em 1/3 da praia. Foram identificadas 11 correntes de retorno no levantamento realizado em julho/2012, com estágios morfodinâmicos intermediários entre Terraço de Baixa-mar e Banco e Praia Rítmicos. Entre os resultados os perfis apresentaram 50 m em média de distância com variações significativas entre as distâncias 25 e 35 m, tanto em períodos de acreção ou erosão, varia 1 m verticalmente conforme a distância aumenta, nota-se uma variação nos perfis da porção central e norte, em alguns perfis encontra-se mais visível essa diferença. Os perfis da porção sul em especificamente o perfil 1 e 2 são os que possuem uma menor extensão, pois, a faixa da praia nestes pontos é mais estreita visto que, trata-se de uma área em que as ondas incidem no arenito de praia. Os materiais do Capítulo 2 compõe 4 campanhas utilizando o *Remotely Piloted Aircraft Systems* na Praia do Paiva nos meses de maio, junho, julho e agosto de 2019, com uma altura de voo planejada para 120 m. A aquisição de informações cartográficas através do levantamento aéreo teve por objetivo monitorar e classificar a Praia do Paiva. A praia apresentou três estágios morfodinâmicos durante o período de quatro meses de monitoramento, a saber: Banco e Praia Rítmicas, Banco Transversal e Corrente de Retorno e Terraço de Baixa-mar. O clima de ondas para a região teve média de Dir com 120° , Tp de 9 s e Hs em 1,8 m. Os perfis apresentaram uma variação de 1,5 m verticalmente na faixa de berma, variação essa característica de perfis de inverno, sendo mais acentuada essa variação na campanha de 08/19 devido ao clima de ondas. Na remobilização dos sedimentos mostrou-se um resultado positivo, caracterizando uma praia em acreção. Além disso foram identificados bermas, bancos, cúspides e a identificação da

linha de costa, foram contabilizadas 13 canais de correntes de retorno. Os produtos cartográficos tanto obtidos através do GNSS como do *Remotely Piloted Aircraft Systems* mostraram-se eficazes para a classificação morfodinâmica proposta, gerando subsídios importantes para o monitoramento costeiro.

Palavras-chaves: *Remotely piloted aircraft systems. Global navigation satellite system.*
Balanço sedimentar. Classificação morfodinâmica.

ABSTRACT

The dissertation consists of two chapters in the form of articles, both of which perform the morphodynamic classification of Praia do Paiva, PE, Brazil, but with a different data acquisition approach. For Chapter 1 the information was obtained by Global Navigation Satellite System. For Chapter 2, information from Remotely Piloted Aircraft Systems is used. In both hydrodynamic information for a time-space analysis of morphological variations. In Chapter 1 the campaigns were surveyed in 2010, 2011 and 2012, with a pair of receivers Global Navigation Satellite System in cinematic mode, with 5 seconds of recording rate and profile acquisition obey an average spacing of 50 m between them, the surveys were on the beach face for an extension of approximately 1.2 km. The beach presented three morphodynamic stages during different dates: Transversal Bar and Return Current, Rhythmic Bar and Beach and Low Tide Terrace. The presence of the berm, cusps and channels of return currents was found in 1/3 of the beach. Eleven return currents were identified in the survey carried out in July / 2012, with intermediate morphodynamic stages between Low Tide Terrace and Rhythmic Bar and Beach. Among the results, the profiles showed an average distance of 50 m with significant variations between the distances 25 and 35 m, both in periods of accretion or erosion, it varies 1 m vertically as the distance increases, there is a variation in the profiles of the central portion and north, in some profiles this difference is more visible. The profiles of the southern portion, specifically profile 1 and 2, are those that have a shorter extension, since the strip of the beach at these points is narrower since it is an area where the waves fall on the beach sandstone. The materials in Chapter 2 make up 4 campaigns using Remotely Piloted Aircraft Systems in Praia do Paiva in the months of May, June, July and August 2019, with a planned flight height of 120 m. The purpose of acquiring cartographic information through aerial surveys was to monitor and classify Praia do Paiva. The beach had three morphodynamic stages during the four-month monitoring period, namely: Rhythmic Bar and Beach, Transversal Bar and Return Current and Low Tide Terrace. The wave climate for the region had an average of Dir with 120° , Tp of 9 s and Hs in 1.8 m. The profiles showed a variation of 1.5 m vertically in the shoulder range, a variation that is characteristic of winter profiles, with this variation being more accentuated in the 08/19 campaign due to the wave climate. In the remobilization of the sediments, a positive result was shown, characterizing a beach in accretion. In addition, berms, benches, cusps and the identification of the coastline were identified, 13 channels of return currents were counted. The cartographic products obtained both through GNSS and Remotely Piloted

Aircraft Systems proved to be effective for the proposed morphodynamic classification, generating important subsidies for coastal monitoring.

Keywords: Remotely piloted aircraft systems. sedimentary balance, morphodynamic classification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo 1

Quadro 1-	Síntese das classificações morfodinâmicas de praias e seus respectivos autores.....	19
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 baixamar.....	22
Figura 2 -	Etapas para determinação da classificação morfodinâmica.....	24
Figura 3 -	Modelo para identificação das feições praias em imagens de satélite e MDT. Fonte adaptada de Short e Jackson (2013).	27
Figura 4 -	Dados do <i>Relative Tide Range</i> , parâmetro adimensional Ω , altura significativa de onda período e direção.....	29
Figura 5 -	Perfis planialtimétricos obtidos através de levantamentos temporais na Praia do Paiva, classificação morfodinâmica segundo os parâmetros Ω e <i>RTR</i> , 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.....	30
Figura 6 -	Perfis interpolados com o MDT da Praia do Paiva-PE.....	32
Figura 7 -	Representação das diferenças volumétricas temporais (de A a F) e G gráfico do balanço sedimentar e variações no pacote sedimentar (m ³) temporal da Praia do Paiva-PE.....	34

Artigo 2

Figura 1 -	Localização da área de estudo. (A) Estado de Pernambuco. (B) município do Cabo de Santo Agostinho, PE. (C) Imagem de satélite contendo o plano de voo para a Praia do Paiva efetuado no aplicativo da <i>Drone Deploy</i> . (D)	
-------------------	---	--

	A tabela com as informações das datas dos levantamentos e a altura da maré durante o voo. Elaborado pelo autor.....	48
Figura 2 -	Procedimentos para utilização do RPAS como ferramenta de classificação de praia segundo sua morfodinâmica.....	50
Figura 3 -	Modelo para identificação das feições praias em Ortofotomosaicos (A, B e C), MDT (E, F e G), modelo de classificação de praia adaptada de Short e Jackson (2013) (G, H e I) e índice de vegetação VARI (J).....	54
Figura 4 -	A representação dos locais das imagens e a sobreposição de cada campanha: (A) 22/05/2019, (B) 20/06/2019, (C) 19/07/2019 e (D) 19/08/2019.....	55
Figura 5 -	Representação da Rosa de distribuição da direção da altura significativa (<i>Hs</i>), período (<i>Tp</i>) e direção das ondas (<i>Dir</i>).....	56
Figura 6 -	Perfis planialtimétricos (A, B, C e D) e Ortofotomosaico (E, F, G e H) obtidos através de levantamentos com RPAS na Praia do Paiva, classificação morfodinâmica segundo os parâmetros Ω e <i>RTR</i> , identificação de feições, delimitação da linha de costas, análise das feições costeiras (MDT) e corrente de retorno e feições costeiras (Ortofotomosaico), conforme as seguintes datas: (A) 22/05/2019, (B) 20/06/2019, (C) 19/07/2019 e (D) 19/08/2019.....	58
Quadro 1 -	Resumo das características da Praia do Paiva-PE.....	59
Figura 7 -	As imagens do VARI (A, B, C e D) com a identificação da linha de costa e correntes de retorno, as imagens (E, F, G e F) são os Ortofotomosaicos para comparação com o VARI.....	60
Figura 8 -	Representação da mudança da Linha de Costa (LC) para as datas 05/2019 e 20/06/2019 imagem (A), imagem (B) o resultado das LC de 06/2019 e 07/2019 e imagem (C) das LC 07/2019 e 08/2019. A imagem (D) representa uma ampliação das LCs temporais localizadas ao sul da praia.....	61
Figura 9 -	A imagem (A) é o Ortofotomosaico gerado do estudo com os perfis localizados e derivado do levantamento com RPAS e interpolados com o MDT em ambiente SIG na Praia do Paiva-PE.	62

Figura 10 - Representação das diferenças volumétricas temporais (A e B) e C gráfico do balanço sedimentar e variações no pacote sedimentar (m3) temporal da Praia do Paiva-PE..... 63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPR	Banco e Praia Rítmicas
BTR	Banco Transversal e Corrente de Retorno
CR	Corrente de retorno
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
Dir	Direção
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
Hs	Altura Significativa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDT	Modelo Digital do Terreno
PBPR	Praias Bordejadas por Plataformas Rochosas Intermareais
PBRF	Praias Bordejadas por Recifes de Franja
PE	Pernambuco
PPA	Praia e Planície Arenosa
PPMA	Praia e Planície de Maré Arenosa
PPML	Praia e Planície de Maré Lamosa
R+CBM	Refletiva e Canais de Baixa-mar
R+PAS	Praia Refletiva e Planícies Arenosas com Sulcos
R+TBM	Refletiva e Terraço de Baixa-mar
RMR	Região Metropolitana do Recife
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft Systems</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TBM	Terraço de Baixa-mar
Tp	Período
UD	Ultradissipativas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	ARTIGO 1 - CLASSIFICAÇÃO DAS VARIAÇÕES MORFODINÂMICAS E PROCESSOS COSTEIROS, PRAIA DO PAIVA, PE, BRASIL.....	15
3	ARTIGO 2 - REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS APLICADOS AO MONITORAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE PRAIAS	41
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é caracterizada como uma região que compreende a interface entre o ambiente marinho e continental, sendo um dos ambientes mais dinâmicos do planeta, o Brasil possui cerca 8.500 km de faixa costeira, com 26,6% da população em municípios residentes nessa área, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes (IBGE, 2011). Um dos grandes desafios para área costeira é gerenciamento integrado bem como o monitoramento da vulnerabilidade à erosão costeira (SOUZA, 2009).

De acordo com o Censo do IBGE (2010), a zona costeira pernambucana possui cerca de 1.200 hab/km², representa aproximadamente 44% da população do Estado. Por conta disso, o uso intenso da costa, faz com que o ambiente costeiro sofra com ações antrópicas, estudos apontam que o litoral de Pernambuco apresenta 1/3 das praias em estado de erosão dentre as causas que contribuem para o processo erosivo são as interferências antrópica (MANSO et al. 2006). Já Souza et al. (2005), Souza (2009, 2012) inferem que uma das causas naturais da erosão costeira está relacionada com a morfodinâmica praial.

Para identificar, monitorar e classificar o ambiente praial torna-se necessário a obtenção de informações quadridimensionais (X, Y, Z, t), onde o Modelo Digital do Terreno (MDT) permite extrair o volume de sedimentos e perfis topográficos, como por exemplo, os utilizados nos trabalhos de Baptista et al. (2008a, 2008b); De Aguiar et al. (2013) e Lino (2015). A variável t se refere a obtenção de informações tridimensionais em um determinado instante de tempo.

Para obtenção de informações espaciais com produtos cartográficos em escalas consideradas grandes por exemplo 1:1.000 e 1:2.000 estão as técnicas utilizadas por GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e fotogramétricas com o uso de *Drones* conhecidas também como *RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems)*. Um exemplo da comparação entre as duas técnicas é a dissertação de Silva (2018), utiliza produtos do drone (ortofotomosaico e MDT) para comparar com dados obtidos por GNSS (linha de costa e pontos de controles altimétricos e planimétricos) destaca, portanto, a viabilidade e importância de ambas as técnicas de mapeamento aplicadas a área costeira.

Para a dissertação foi escolhido o formato de artigo aprovado pelo programa e disponibilizado o template pela biblioteca da UFPE, neste padrão espera-se uma introdução geral e 2 capítulos em formato de artigos bem como uma conclusão geral. O Capítulo 1 que encontra-se em desenvolvimento se refere ao artigo Monitoramento morfodinâmico GNSS, Praia do Paiva-PE, Brasil e tem como objetivo (i) efetuar a classificação morfodinâmica

seguindo os conceitos de Wright & Short (1984); Masselink & Short (1993); Short (2006), com informações tridimensionais obtidas por GNSS e dados hidrodinâmicos e (ii) realizar uma análise espaço temporal (2010, 2011 e 2012) das variações morfológicas da praia do Paiva-PE.

O Capítulo 2 se refere ao artigo Monitoramento morfodinâmico RPAS, Praia do Paiva-PE, Brasil, que possui os mesmos objetivos (i) e (ii) supracitados, porém agora com RPAS utiliza uma análise temporal durante os meses de maio, junho, julho e agosto de 2019. A seguir são apresentados os rascunhos dos capítulos 1 e 2.

2 ARTIGO 1 - CLASSIFICAÇÃO DAS VARIAÇÕES MORFODINÂMICAS E PROCESSOS COSTEIROS, PRAIA DO PAIVA, PE, BRASIL

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

RESUMO

A zona costeira é um ambiente dinâmico de transição entre o continente e mar, que sofre alterações em diversas escalas temporais. As classificações morfodinâmicas das praias fornecem subsídios para o monitoramento espaço-temporal dos ciclos de erosão e acreção. Os objetivos deste estudo são efetuar a classificação morfodinâmica e a identificação de alguns processos costeiros, considerando uma análise espaço temporal (2010, 2011 e 2012) na praia do Paiva, 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 espraiamento. O cálculo do balanço sedimentar resultou em acreção nos períodos de primavera e verão e erosão do outono ao inverno. As feições mapeadas mostraram-se eficazes para a classificação morfodinâmica proposta, gerando subsídios importantes para o monitoramento costeiro.

Palavra-chave: Mapeamento morfodinâmico, GNSS, classificação morfodinâmica, Zona Costeira.

ABSTRACT

The coastal zone is a dynamic transitional environment between the continent and the sea, which changes at various time scales. The morphodynamic classifications of beaches provide support for spatiotemporal monitoring of erosion and accretion cycles. 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) in Paiva beach, located in 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 return current channels besides three morphodynamic stages during different dates, being them: transverse bar and rip beaches, rhythmic bar and beach and low tide terrace beaches. The waves presented 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.

Keywords: Morphodynamic mapping, GNSS, morphodynamic classification, Coastal Zone.

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), Lin e Tsung-yi (2016), 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 um 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, pode fornecer subsídios para o acompanhamento espaço-temporal dos ciclos de erosão, estabilidade ou acreção sedimentar. Além disso, são fundamentais 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 praias 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 praias 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 morfodinâmicas 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 de 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 (200-400m) 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) Intermediário Banco e Cava Longitudinais (BCL) Banco e Praia Rítmicas (BPR) Banco Transversal e Corrente de Retorno (BTR) Terraço de Baixa-mar (TBM)	Refletiva mais Terraço de Baixa-mar (R+TBM)	Praia Refletiva e Planícies Arenosas com Sulcos (R+PAS)	Praia Bordejada por Plataforma Rochosa intermareal (PBPR)
	Refletiva mais Canais de Baixa-mar (R+CBM)	Praia e Planície Arenosa (PPA)	Praia Bordejada por Recifes de Franja (PBRF)
	Ultradissipativa (UD).	Praia e Planície de Maré Arenosa (PPMA)	
		Praia e Planície de Maré Lamosa (PPML)	

Fonte: autor.

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 equipamento. 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

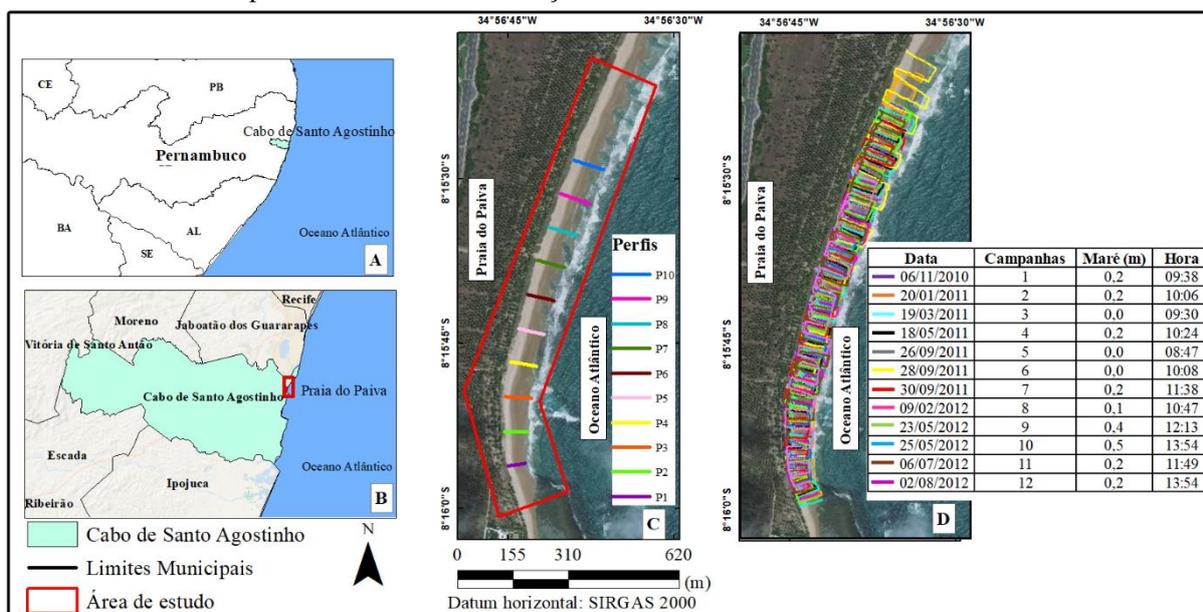
3.1 Área de estudo

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, que compreende o principal polo industrial do estado, onde se encontra instalado o porto de Suape, um dos mais importantes complexos industriais e portuários do Brasil. 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) (Martins et al., 2016). Estes calcularam o IVC para todo estado de PE, utilizando 10 parâmetros divididos em intensidade *baixa*, *moderada* e *alta*, os parâmetros para intensidade *baixa* foram: vegetação rasteira de duna e restinga soterradas ou com raízes expostas; escarpa erosiva nas dunas e concentrações de minerais pesados na face da praia. *Moderada*: árvores na face de praia ou com raízes expostas; marcas de erosão na base de muros residenciais; pós-praia estreito ou inexistente; obras não estruturais de proteção costeira, podendo apresentar, ou não, os indicadores do grupo de baixa intensidade. Intensidade *alta*: obras estruturais de proteção costeira; infraestrutura da orla danificada por processos erosivos e restos de construção na face de praia e pode apresentar ou não os indicadores dos demais grupos. Para este estudo a Praia do Paiva apresentou como índice de vulnerabilidade costeira à erosão: *moderado a alto*.

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.



Fonte: autor.

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 ($8^{\circ}17'42,23456''S$, $34^{\circ}57'11,18045''W$ e altitude ortométrica $H = 4,73m$) no Condomínio Itapuama II. O receptor móvel foi configurado 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 si. 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

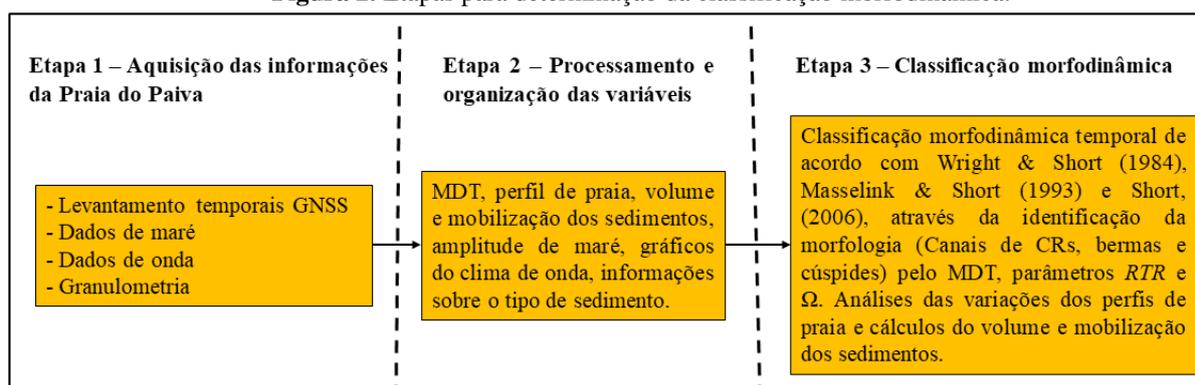
Os dados granulométricos foram fornecidos através do projeto de pesquisa VULSPE da FACEPE N° APQ 0068-1.08/09.

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.



Fonte: autor.

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. respectivamente. 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 conseqüentemente 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 m^3 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:

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

onde: Hb = 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.

Para tal, o modelo proposto por Masselink e Short (1993), que utiliza os valores de amplitude da maré (TR) e altura de quebra de onda (Hb) foi obtido nos Gráficos de clima de onda (d), que levam em consideração a variação da maré para classificação morfodinâmica praial, através do parâmetro relativo da maré RTR (*Relative Tide Range*), conforme a equação 2:

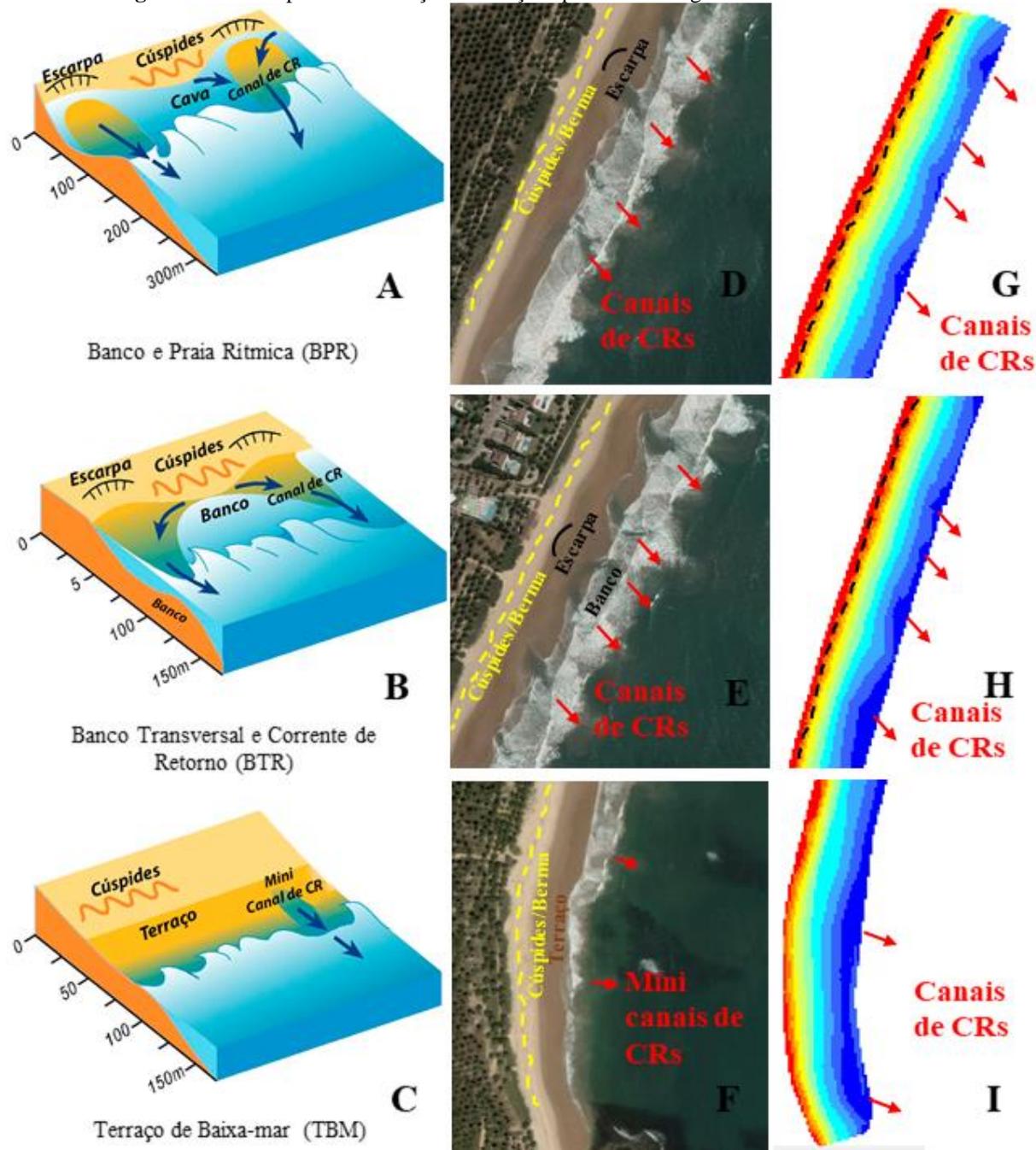
$$RTR = TR/Hb \quad (2)$$

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.

Figura 3. Modelo para identificação das feições praias em imagens de satélite e MDT.



Fonte adaptada de Short e Jackson (2013).

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 analisados com os critérios definidos por Wright e Short (1984) e atualizados por Short e Jackson (2013), às 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 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 $\Omega<2$.

Para examinar a contribuição relativa de H_b e TR Masselink e Short (1993) combinam e ampliam os estudos de WRIGHT e SHORT (1984) e SHORT (1991), considerando os efeitos relativos de ondas e marés na morfologia das praias. No parâmetro RTR descrito por Masselink e Short (1993) no procedimento (e), na equação 2 os altos valores representam domínio de marés e baixos domínio 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.

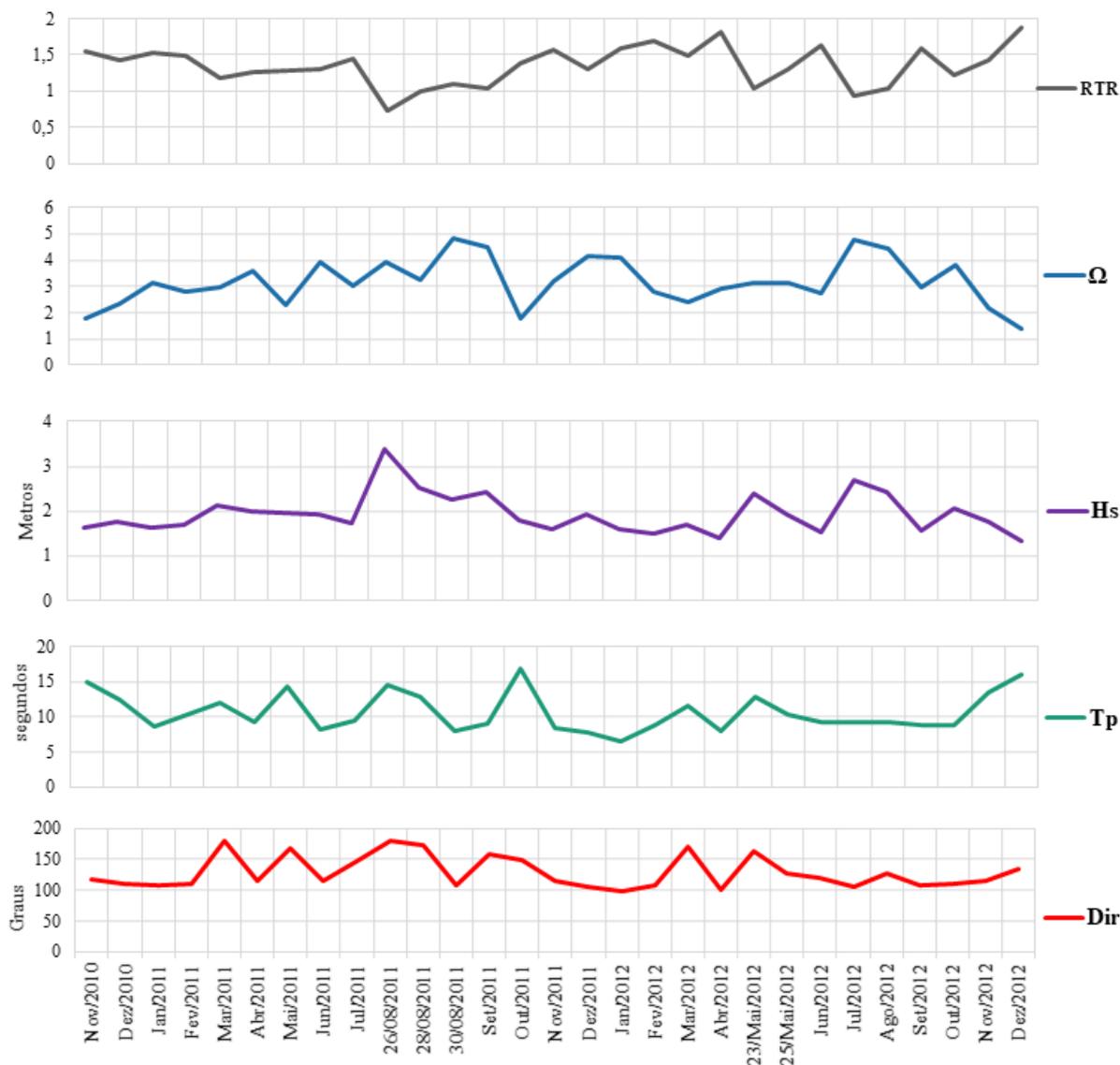
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RTR, Ω , H_s , Dir , T_p

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 (H_s) (em metros), o período de onda (T_p) (em segundos) e a direção de onda (Dir) (em graus). A Praia do Paiva possui amplitude de maré máxima de 2,5 m, com H_s mínimo de 1,61 m e máximo de 3,39 m, com Dir entre 108° e 181° , T_p 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 (H_s) 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 H_s 1,8, T_p 9,3 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*, parâmetro adimensional $\hat{\Omega}$, altura significativa de onda período e direção.

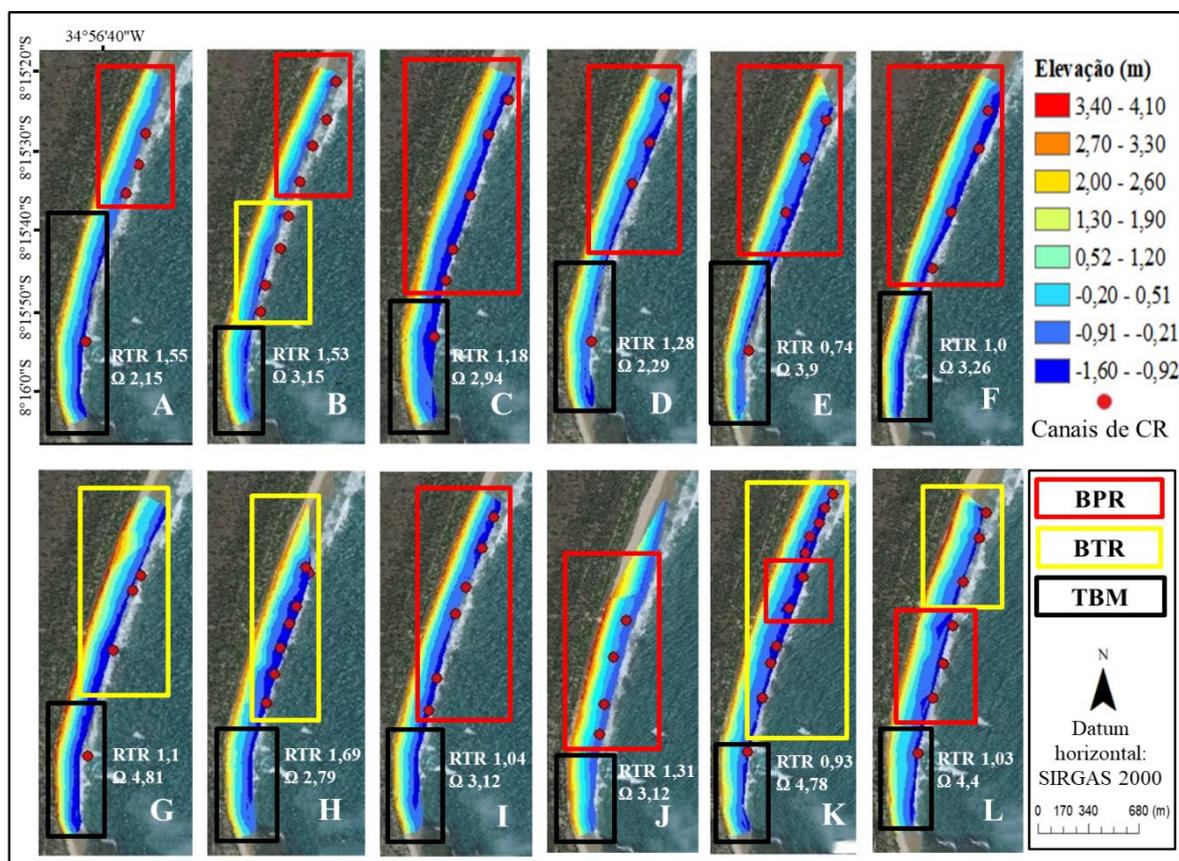


Fonte: autor.

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 Itapuama, 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.



Fonte: autor.

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 principalmente pela modulação do regime de onda incidente, associados aos regimes energéticos baixos a moderados, como descritos por 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 H_s determina o sistema praiial com grande mobilidade.

Na Figura 5B, é possível observar 8 canais de CRs associadas ao clima de onda $H_s = 1,63$ m, Dir 108° e T_p 9s, 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 H_s 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 Ω 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° , T_p 8 s e H_s 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° , T_p 8 s e H_s 2,28 m. O estudo sobre as feições morfodinâmicas e sua análise está interligado às ações simultâneas dos processos hidrodinâmicos (Dir , T_p e H_s) 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 acarretam na diminuição da energia das ondas por meio desta proteção natural (MARTINS et al. 2019).

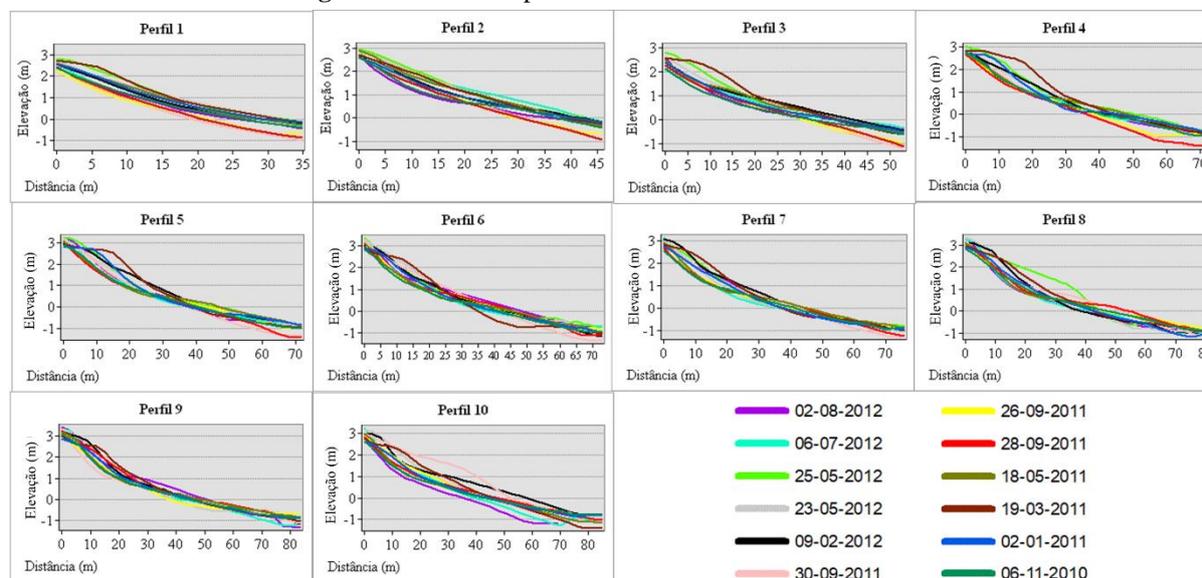
Segundo Wright e Short (1984) as praias possuem um perigo natural, com o aumento da dissipatividade do sistema e o adicional da altura de arrebentação das ondas. Short e

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; Pereira; Lessa (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.

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



Fonte: autor.

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 (acrecção) 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 H_s 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.

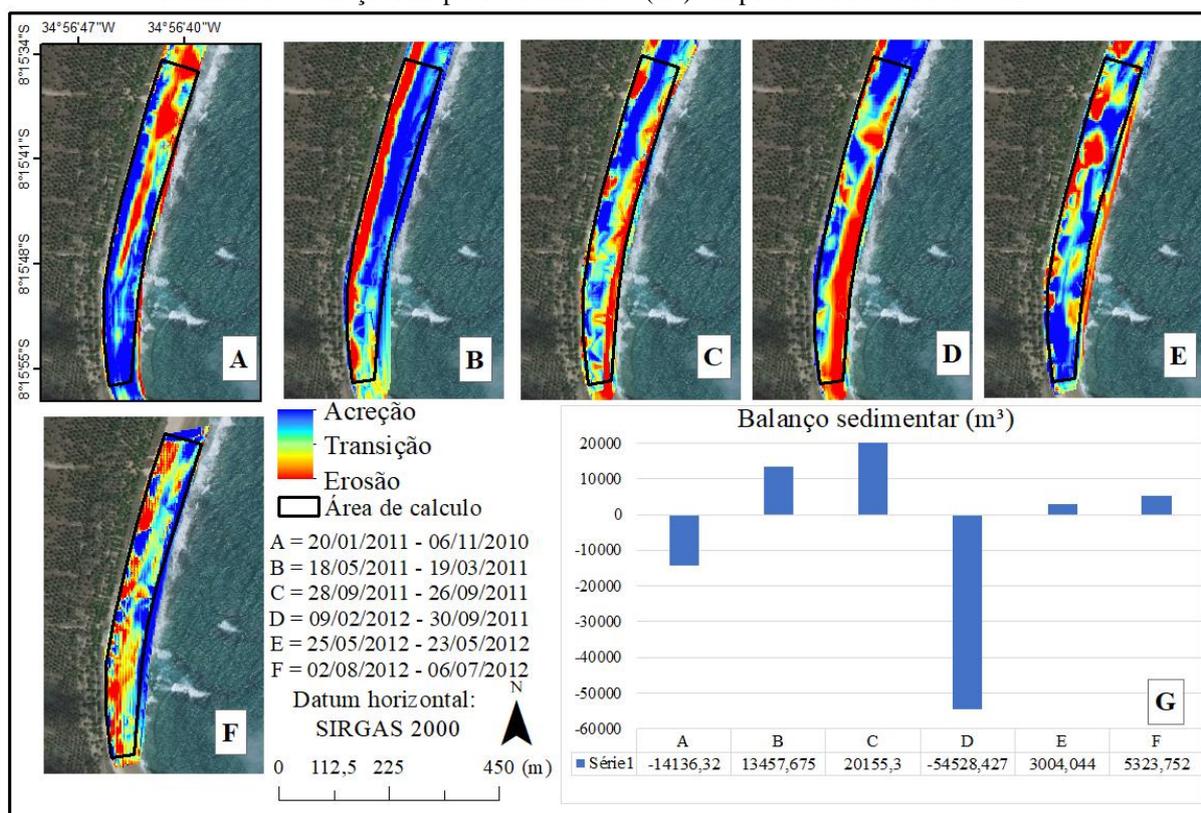
As datas de 19/03/2011, 06/07/2012 e 02/08/2012 como mostram os perfis da Figura 6, apresentam sua forma convexa devido à morfologia da praia e também as maiores quantidades de canais de CRs, que vão condicionar a forma do perfil erosivo e estão associados ao clima de onda Dir 120°, Tp 8 s e H_s 2,4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

Figura 7. Representação das diferenças volumétricas temporais (de A a F) e G gráfico do balanço sedimentar e variações no pacote sedimentar (m^3) temporal da Praia do Paiva-PE.



Fonte: autor.

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 espraiamento associado ao clima de onda H_s 2 m, T_p 13 s e Dir 170° em média. A Figura 7C representa uma mobilidade da berma e deposição na zona de espraiamento no setor central, norte e sul com um ambiente de maior transição, apresentando um balanço positivo com $13.457,675 m^3$. Na Figura 7D, para os setores sul e central, foi identificado uma redução da zona de espraiamento onde é possível associar uma deposição de sedimentos na berma. Ao norte verifica-se uma deposição de sedimentos na zona de espraiamento 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.

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:

- i. 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. Durante todo o período analisado, constatou-se a presença da berma, cúspides e canais de CRs em mais de 1/3 da praia. Ressalta-se aqui a elevada ocorrência de canais CRs transversais à praia, sobretudo pelo fato de poucas praias de Pernambuco apresentarem tamanha ocorrência e distribuição, o que deve ser destacado como um alerta de cuidado 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.
- ii. 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.
- iii. 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.; 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.
- 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.
- 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 praias: 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 mesomares 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.

LIN, Y.; TSUNG-YI, H. **Seasonal Morphological Change of Jinshawan Beach**. ocean engineering conference. **Anais...**2016.

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.

3 ARTIGO 2 - REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS APLICADOS AO MONITORAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE PRAIAS

REMOTE PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS APPLIED TO MONITORING AND CLASSIFICATION OF COASTAL ENVIRONMENTS

RESUMO

O objetivo deste trabalho é fazer uso do *Remotely Piloted Aircraft Systems* para monitorar e classificar o ambiente costeiro de acordo com sua morfologia através de uma análise espaço temporal considerando quatro campanhas efetuadas nos meses de maio, junho, julho e agosto de 2019. A área de estudo deste trabalho, se refere à praia do Paiva, localizada no município de Cabo de Santo Agostinho no litoral sul do Estado de Pernambuco, no nordeste do Brasil. Esta praia apresenta variações morfodinâmicas expressivas no decorrer do ano justificando desta forma o mapeamento e monitoramento deste local com alta resolução temporal e espacial. A partir das informações temporais obtidas através das ortofotodigitais e dos modelos digitais do terreno foi possível: (i) classificar a morfodinâmica da praia; (ii) identificar a quantidade de bermas, cúspides e canais de correntes de retorno; (iii) delimitar a da posição da linha de costa; (iv) analisar as variações da linha de costa; (v) analisar as variações dos perfis de praia (vi) calcular os volumes de entrada e saída de sedimentos. Também foi feito o uso de parâmetros geomorfológicos para efetuar a classificação proposta como o *Relative Tide Range* e *Ômega*. Os resultados indicam que a praia apresentou três estágios morfodinâmicos durante o período de quatro meses de monitoramento, a saber: Banco e Praia Rítmicas; Banco Transversal e Corrente de Retorno; e Terraço de Baixa-mar. O clima de ondas para a região teve média de *Dir* com 120° , *Tp* de 9 s e *Hs* de 1,8 m. O período entre os meses de junho e julho teve o maior avanço da linha de costa, totalizando 51% da extensão da praia, por outro lado, entre julho e agosto foi observado o maior recuo com 88%. Os perfis apresentaram uma variação máxima de 1,5 m verticalmente na faixa de berma, característica de perfis de inverno, sendo mais acentuada na campanha de agosto colaborando com a intensidade do clima de ondas. Para os cálculos de volume sedimentar os meses de julho e agosto apresentaram um processo de erosão com a perda de $12.508,58 \text{ m}^3$ na parte sul e acreção na parte norte contabilizando o volume de $23.052,97 \text{ m}^3$. Desta forma, destaca-se que a ortofotodigital e o modelo digital do terreno obtidos através do *Remotely Piloted Aircraft Systems* são eficazes para a classificação morfodinâmica proposta, os mesmos obtiveram um erro médio quadrático planimétrico e altimétrico de aproximadamente

2,7 cm e 4,5 cm respectivamente, quando comparados com os pontos de verificação, o que atende e encoraja o uso deste sistema para o monitoramento costeiro.

Palavra-chave: *Remotely Piloted Aircraft Systems*, monitoramento costeiro, *classificação de praias*, estágios morfodinâmicos, modelo digital do terreno.

ABSTRACT

The objective of this work is to make use of Remotely Piloted Aircraft Systems to monitor and classify the coastal environment according to its morphology through a time-space analysis considering four campaigns carried out in the months of May, June, July and August 2019. The area of study of this work, refers to Paiva beach, located in the municipality of Cabo de Santo Agostinho on the south coast of the State of Pernambuco, in the northeast of Brazil. This beach presents significant morphodynamic variations throughout the year, thus justifying the mapping and monitoring of this location with high temporal and spatial resolution. From the temporal information obtained through orthophotodigitals and digital models of the terrain, it was possible to: (i) classify the beach morphodynamics; (ii) identify the number of shoulders, cusps and channels of return currents; (iii) delimit the position of the coastline; (iv) analyze the variations of the coastline; (v) analyze the variations of the beach profiles (vi) calculate the volumes of sediment input and output. Geomorphological parameters were also used to perform the proposed classification such as Relative Tide Range and Omega. The results indicate that the beach had three morphodynamic stages during the four-month monitoring period, namely: Banco and Praia Rítmicas; Transversal Bank and Return Chain; and Low-Sea Terrace. The wave climate for the region averaged Dir with 120° , Tp of 9 s and Hs of 1,8 m. The period between the months of June and July had the greatest advance of the coast line, totaling 51% of the length of the beach, on the other hand, between July and August the greatest decrease was observed with 88%. The profiles showed a maximum variation of 1,5 m vertically in the curb range, characteristic of winter profiles, being more accentuated in the August campaign collaborating with the intensity of the wave climate. For the calculations of sedimentary volume, the months of July and August presented an erosion process with the loss of $12,508.58 \text{ m}^3$ in the south part and accretion in the north part accounting for the volume of $23,052.97 \text{ m}^3$. Thus, it is noteworthy that the orthophotodigital and the digital terrain model obtained through Remotely Piloted Aircraft Systems are effective for the proposed morphodynamic classification, they obtained a planimetric and altimetric mean square error of approximately 2,7 cm and 4,5 cm respectively, when compared to the checkpoints, which meets and encourages the use of this system for coastal monitoring.

Keywords: Remotely Piloted Aircraft Systems, coastal monitoring, beach type's classification, morphodynamic stages, digital terrain model.

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são expostas a processos marinhos, terrestres e impactos antropogênicos como, por exemplo, a urbanização da orla de forma desordenada causando modificações em suas características morfológicas (MURY; COLLIN; JAMES, 2019). A erosão costeira, considerado um problema que atinge diversas praias no mundo, pode estar relacionada a uma série de fatores como o déficit de sedimentos, o aumento da energia das ondas, a perda da vegetação nativa, os eventos episódicos como tempestades, mudanças climáticas, dentre outros fatores (BIRD, 2008; JAUD et al. 2019).

A gestão integrada da zona costeira, portanto, requer o monitoramento adequado do ambiente praial para a compreensão e detecção das mudanças morfológicas em múltiplas escalas temporais (SCARELLI et al. 2016). É essencial ampliar as estratégias para detectar a evolução física de processos temporais. Nesse contexto, o Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) oferecem produtos de mapeamento através de técnicas fotogramétricas de maneira coordenada e sistemática, podendo oferecer informações espaciais para pesquisas científicas em áreas costeiras (DRUMMOND et al. 2015; GONÇALVES et al. 2015; CHEN et al. 2018).

O monitoramento usando as RPAS são adequados para o levantamento topográfico e a detecção de alterações morfológicas considerando os produtos cartográficos como o Modelo Digital do Terreno (MDT) e ortofotosdigitais. Estes oferecem vantagens consideráveis em relação aos custos e à produtividade quando comparados com outros métodos de aquisição de dados espaciais, tais como, o Global Navigation Satellite System (GNSS) e o Laser Scanner (GUISADO-PINTADO et al. 2018). Porém, torna-se necessário verificar se a resolução espacial e temporal está alinhada ao custo benefício de acordo com uma demanda específica de mapeamento (DRUMMOND et al. 2015; GONÇALVES et al. 2015; CHEN et al. 2018; ELSNER et al. 2018).

Segundo Jeong, Park e Hwang (2018), para alcançar uma precisão em torno de 5,0 cm existe a necessidade do planejamento dos pontos de controle, sugerindo ao menos 5 Ground Control Points (GCPs) em uma área de 300 x 100 m com uma altitude de voo inferior a 150 m, considerando a sobreposição de mais de 70%. Choi e Lee (2017) chegaram a uma média de precisão das coordenadas horizontais de 4,8 cm para uma área de (450 m × 150 m) considerando altitudes entre 50 a 70 m e pelo menos 6 pontos de controle separados por 150 a 250 m. Long et al. (2016a) mostram que com a utilização de 19 GCPs em vez de 10 foi possível reduzir a diferença de 4 cm para o georreferenciamento do MDT. O monitoramento de longo prazo realizado por Jaud et al. (2019) desde 2006 na praia de Porsmilin (Brittany, France), apontam que os produtos oriundos de RPAS permitem alcançar uma precisão média

de 3 cm (horizontal e vertical) no MDT e no ortofotomosaico. Destacando também a rápida aquisição de dados topográficos 3D com alta resolução espacial aliados ao baixo custo operacional. Com esta resolução espacial e precisão centimétrica os produtos cartográficos de RPAS atendem uma série de usos práticos para o monitoramento de ambientes costeiros (GONÇALVES et al. 2015; CHEN et al. 2018).

Para estudos em ambientes costeiros, o comportamento sedimentar de uma praia, pode ser obtido através de perfis topográficos e cálculos de volumes (STÉPHAN et al. 2018). Os trabalhos encontrados na literatura utilizando RPAS normalmente estão focados em questões de monitoramento de mudanças nos aspectos morfológicos, no levantamento topográfico, na qualidade posicional e na melhoria dos processos operacionais e pós-processamento de dados como, por exemplo, nos trabalhos de Gonçalves et al. (2014), Gonçalves et al. (2015), Lu (2016), Gonçalves, Pérez e Duarte (2018) e Gonçalves et al. (2019).

Dentre as aplicações costeiras das RPAS é possível adicionar como exemplos: (i) Pitman et al. (2019), que destacam RPAS combinados com novos sensores como o Structure from Motion (SfM), aplicados para a classificação da evolução morfológica de praias tendo como vantagem a determinação da textura dos sedimentos utilizando este recurso; (ii) Mury Collin e James (2019) utilizam RPAS para o monitoramento de padrões morfo-sedimentares em área costeiras destacando a alta resolução temporal e espacial como vantagens quando comparada a imagens de satélites obtidas por sensoriamento remoto; (iii) Taddia et al. (2019), apresentam o monitoramento (2015 a 2017) de um complexo sistema de dunas no litoral de Rosolina Mare, Itália, realizando uma reconstrução precisa do MDT para o entendimento do processo de transporte sedimentar destacando a praticidade e baixo custo; (iv) Turner et al. (2016), utilizam o RPAS para monitorar e avaliar a erosão costeira e movimentação de dunas, pós-tempestade estabelecendo uma compatibilização e junção de informações espaciais abrangendo 4 décadas de informações na Praia de Narrabeen, Austrália; (v) Papakonstantinou et al. (2016), inferem que as RPAS fornecem informações em uma resolução espacial que permite o estudo de mudanças costeiras (morfologia, perfil e balanço sedimentar) com modelos 3D das zonas de praia sendo bastante eficazes para a classificação e mapeamento da morfologia costeira; e (vi) Drummond et al. (2015) avaliaram a eficácia das estratégias para elaboração de mapeamento em ambientes costeiros, para avaliar o estado de áreas consideradas de preservação permanente em estuários e regiões urbanas.

A combinação de MDTs e ortofotomosaicos que podem ser obtidos a partir de RPAS, com dados hidrodinâmicos, possibilitam efetuar a classificação morfodinâmica de uma praia

seguindo uma determinada classificação como, por exemplo, a proposta por Wright e Short (1984); Masselink e Short (1993) e Short (1999, 2006). Neste tipo de classificação as praias podem ser identificadas de acordo com seus estágios morfodinâmicos, através da fotointerpretação dos produtos cartográficos em conjunto com parâmetros hidrodinâmicos. Além de dar suporte para a classificação morfodinâmica costeira dependendo das características das câmeras utilizadas é possível extrair das fotografias aéreas obtidas por RPAS alguns índices, como o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), segundo Nolet et al. (2018) este pode ser utilizado para identificar a cobertura vegetal em áreas costeiras e o Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) que têm aplicações para identificar e delimitar, por exemplo, a posição da linha de costa.

Portanto, esse estudo tem como objetivo principal monitorar e classificar a zona de praia, através do uso de RPAS utilizando como estudo de caso a praia do Paiva-PE, Brasil, considerando quatro campanhas efetuadas nos meses de maio, junho, julho e agosto de 2019. Como objetivos específicos encontram-se: (i) identificar os parâmetros necessários para configurar e avaliar a qualidade posicional altimétrica e planimétrica do recobrimento aerofotogramétrico; (ii) utilizar o MDT e a ortofodigital obtidos pela RPAS para identificar feições costeiras (e.g. correntes de retorno, bermas, bancos arenosos, cúspides), extrair a posição e variações da linha de costa, elaborar perfis topográficos, calcular o balanço sedimentar e efetuar a integração com dados hidrodinâmicos (clima de ondas).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

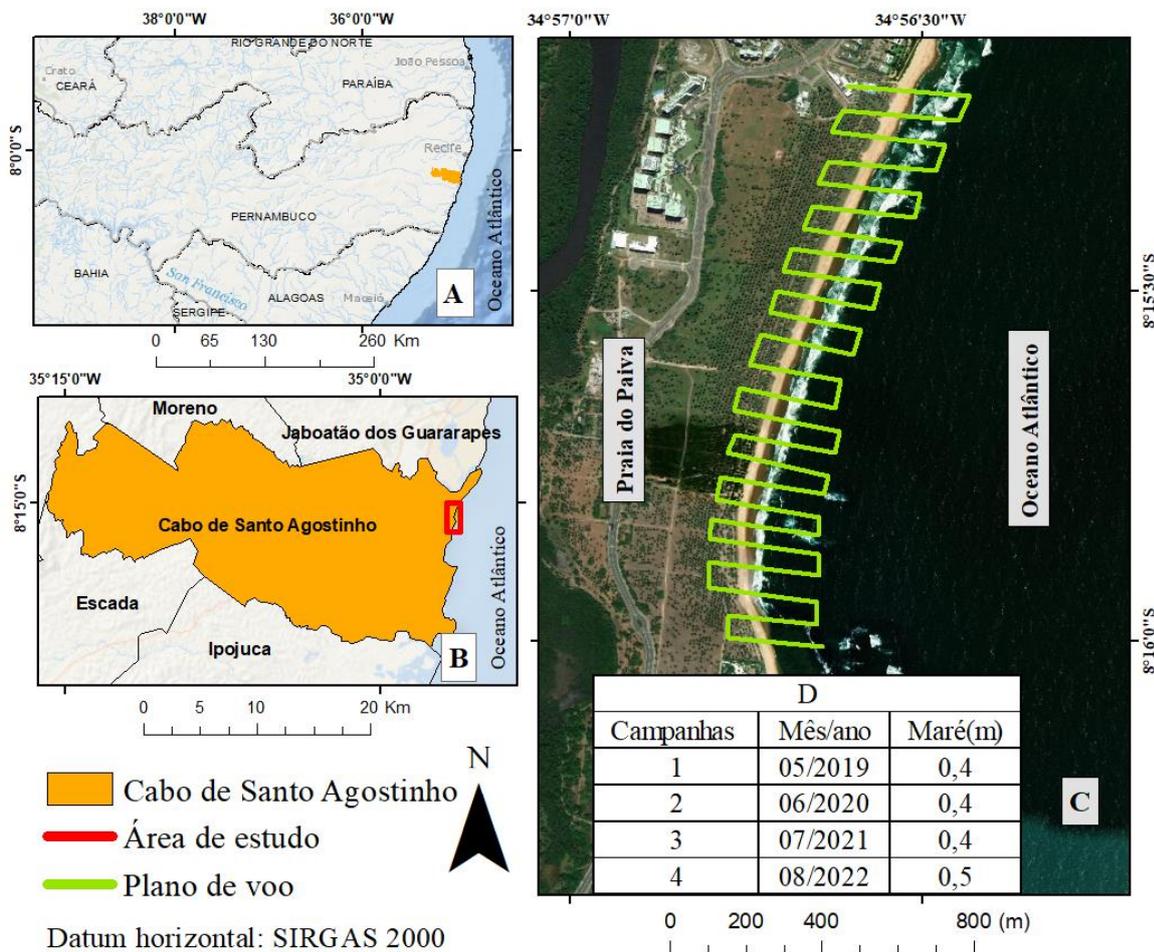
2.1 Praia do Paiva

A praia do Paiva localizada no litoral Sul do Estado de Pernambuco (Figura 1A) pertence ao município de Cabo de Santo Agostinho (Figura 1B), tendo como divisa os municípios de Moreno e Jaboatão dos Guararapes ao Norte, Ipojuca e Escada ao Sul e Vitória de Santo Antão a Oeste. Faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR) e Microrregião de Suape, que compreende o principal polo industrial do estado, onde se encontra instalado o porto de Suape, um dos mais importantes complexos industriais e portuários do Brasil. A Figura 1 (C) representa a área de estudo e o esboço do plano de voo para as campanhas efetuadas. A área escolhida na Praia do Paiva possui aproximadamente 1,2 km de extensão.

A praia do Paiva se caracteriza como uma praia exposta com regime de mesomaré de ciclo semi diurno, apresentando variações de 0 a 2,5 m. Sua granulometria varia de areia fina à grossa e é formada por sedimentos Cretáceos das formações Cabo, Estiva e Ipojuca. Apresenta cúspides e ausência de duna em determinados trechos da pós-praia. Em relação a

processos de erosão costeira, Martins et al. (2016) obtiveram o resultado do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) à erosão com intensidade *moderada a alta*.

Figura 1. Localização da área de estudo. (A) Estado de Pernambuco. (B) Município do Cabo de Santo Agostinho, PE. (C) Imagem de satélite contendo o plano de voo para a Praia do Paiva efetuado no aplicativo da *Drone Deploy*. (D) A tabela com as informações das datas dos levantamentos e a altura da maré durante o voo.



Fonte: autor.

2.2 Matérias

2.2.1 Levantamento com o RPAS

Foram utilizados os seguintes equipamentos: (i) *Phantom 4 Advanced* da *DJI*, para adquirir as fotografias aéreas e os parâmetros da câmera modelo FC 6310; resolução de 5472 x 3078, distância focal de 8.8 mm e tamanho do pixel 2.53 x 2.53; (ii) foi utilizado também um par de receptores GNSS modelo GS 15 da *Leica* para a determinação das coordenadas dos pontos de controle; (iii) um *Smartphone* para o planejamento dos voos e (iv) pontos de controle artificiais de dimensões 40x40 cm confeccionados de material de madeira compensada.

Os aplicativos e *softwares*, utilizados como materiais foram: (v) *DroneDeploy: Powerful Drone & UAV Mapping Software* para o planejamento de voo autônomo para RPAS; (vi) *UAV Forecast* para *DJI Quadcopter* e *UAV Pilots*, para checagem das condições climáticas; (vii) *Agisoft Photoscan* versão 1.3.1 licença do Departamento de Cartografia Agrimensura da UFPE para processamento fotogramétrico (viii) *ArcGIS* licença do Departamento de Cartografia e Agrimensura da UFPE para elaboração dos mapas e (ix) *Leica Geo Office* para o processamento dos pontos de controle e cheque com licença do Laboratório de Cartografia Costeira da UFPE.

2.2.2 Levantamentos dos pontos de controle com GNSS

Foi utilizado um par de receptores GNSS (base e móvel) de dupla frequência (L1 e L2), ambos no modo estático. O pós-processamento dos dados brutos da base foi realizado utilizando o método PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) com o auxílio do *software* de processamento do IBGE-PPP (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Os pontos de controle foram pós-processados no método relativo após a determinação das coordenadas da base utilizando o *software Leica Geo Office 8.40*. Destaca-se que o tempo de observação em cada ponto de controle foi de aproximadamente 2 minutos, considerando uma taxa de gravação de 1s em ambos os receptores e máscara de elevação de 10°.

2.2.3 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 2019.

2.2.4 Dados de ondas

Os dados do clima de onda foram disponibilizados do *site* do ondógrafo de Suape obtidos a partir do *site Sismo Water* (http://www.sismowater.com.br/sismo/suape/HC_hmsuwave/).

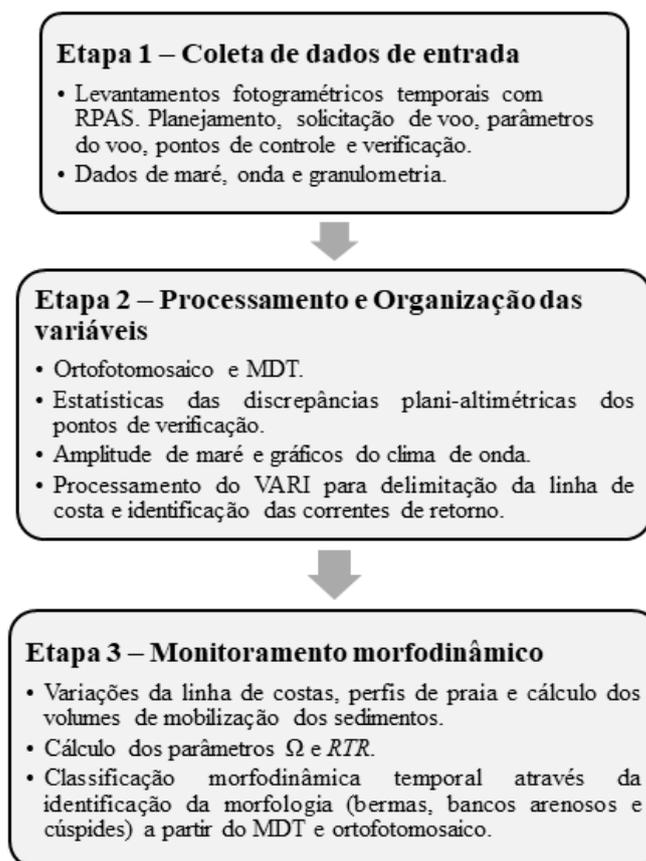
2.2.5 Granulometria

Os dados granulométricos foram fornecidos através do projeto de pesquisa VULSPE da FACEPE/FAPESP (N° APQ 0068-1.08/09 e N° 09/52564-0, respectivamente).

2.3 Métodos

A **Figura 2** apresenta as três etapas metodológicas, a primeira etapa refere-se à coleta de dados de entrada descritos nos itens 2.2.1 a 2.2.5. Na segunda etapa, os processamentos e organização das variáveis como caso do MDT, ortofotomosaico, perfil de praia, cálculo do volume de sedimentos, informações de amplitude de maré e os gráficos de clima de ondas. Por fim, a terceira etapa se refere a classificação morfodinâmica que compõe a junção das etapas anteriores. Os resultados foram organizados em ambiente Sistema de Informações Geográficas (SIG), para interpretação e elaboração dos mapas topográficos e temáticos, que mostram as feições e estados modais das praias descritos por Wright e Short (1984), Masselink e Short (1993) e Short (2006). A seguir cada uma das três etapas são detalhadas.

Figura 2. Procedimentos para utilização do RPAS como ferramenta de classificação de praia segundo sua morfodinâmica.



Fonte: autor.

Etapa 1 – Coleta de dados de entrada

Essa etapa consiste na utilização do aerolevantamento com a RPAS utilizando os materiais descritos na seção 2.2.1. Para a etapa referente ao planejamento do voo, foi feita a solicitação de autorização junto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA)

que é o órgão do Comando da Aeronáutica que tem por missão planejar, gerenciar e controlar as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo, este processo é feito no *site* de Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SAARP) (<https://servicos.decea.gov.br/sas/>).

Os parâmetros utilizados para o planejamento do voo foram: (i) altitude de voo = 120 m, (ii) estimativa de 17 minutos de duração do recobrimento aéreo de 26 ha; (iii) média estimada de 150 imagens; (iv) *Ground Sample Distance* (GSD) em média de 3,6 cm/px; (v) velocidade da aeronave aproximadamente a 15 m/s; (vi) sobreposição longitudinal de 75% e lateral de 65%; e (vii) direção dos voos de 180°. Destaca-se que o tempo de voo é depende das condições climáticas, e.g. o vento, a Figura 1C, representa o modelo do plano de voo elaborado para este estudo.

Foram planejados 16 pontos de controle e 5 de verificação em todos os levantamentos (onde após o pós-processamento obtiveram uma precisão vertical média de 3,1 cm e horizontal de 1,4 cm) estes em campo foram espaçados de 50 a 100 m. Os resultados obtidos por Mirko et al. (2019) mostraram que são necessários aproximadamente 15 *Ground Control Points* (GCPs) para gerar produtos cartográficos precisos, e apenas 3 GCPs para um georreferenciamento razoável, para resultados usando 6-7 GCPs. Os GCPs foram coletados através do método de posicionamento GNSS no modo relativo estático. Os dados de maré são provenientes do site da Marinha brasileira, já os dados de ondas como período médio (T_p), altura significativa (H_s) e direção (Dir) foram coletados através do banco de dados do ondógrafo de Suape que mantém o registro em tempo real de boias oceanográficas e disponibiliza estas informações de forma *online* em tempo real.

Etapa 2 – Processamento e Organização das variáveis

a) MDT e ortofotomosaico

Os processamentos das imagens digitais adquiridas pela RPAS foram realizados no *software Agisoft PhotoScan*, através de oito etapas para obtenção dos resultados finais sendo elas: alinhamentos das imagens, posicionamento dos pontos de controle, nuvem de pontos densa, classificação da nuvem de pontos, construção do modelo, construção da textura, Modelo Digital do Terreno e ortofotomosaico.

b) Perfis de Praia

Os perfis de praia foram obtidos a partir da interpolação dos transectos sobre o MDT utilizando a ferramenta do *ArcToolbox* do *ArcMap* chamada *Interpolate Shape* gerando 10 perfis. Os perfis não têm as mesmas extensões em suas abcissas devido à faixa de praia ser

mais estreitas na parte sul da área de estudo (Figura 1C), e consequentemente o MDT e os perfis.

c) Volume e remobilização dos sedimentos

Para as informações a respeito do volume e remobilização sedimentar foi realizada uma álgebra de mapas, tendo como produto a subtração do MDT mais recente pelo mais antigo. Possibilitando resultado em volume em m^3 , e detectando os processos de remobilização, ou seja, o movimento de sedimentos no decorrer do tempo.

d) Gráficos do clima de ondas

Os gráficos foram obtidos conforme descrito no item 2.2.4 e organizados em ordem cronológica em uma planilha eletrônica, sendo a posteriori representados, contendo ordenadas as variáveis H_s , Dir e Tp .

e) Classificação morfodinâmica

Neste procedimento foi utilizado o parâmetro adimensional $\hat{\Omega}$ (de Davies (1964); Wright e Short (1984) descrito pela equação 3:

$$\Omega = Hb/WsT \quad (1)$$

e o parâmetro relativo da maré RTR (*Relative Tide Range*) modelo proposto por Masselink e Short (1993), conforme a equação 4:

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

Os valores de Hb = altura significativa da onda na arrebentação; Ws = velocidade média de decantação dos sedimentos da face da praia que foi obtido na seção 2.2.5 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. Para tal, os valores do parâmetro $\hat{\Omega}$, como amplitude da maré (TR) e altura de quebra de onda (Hb) são obtidos do procedimento (d) e do item 2.2.3, que levam em consideração a variação da maré para classificação morfodinâmica praial.

f) *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI)

O uso de imagens digitais obtidas por sensoriamento remoto possibilitam a geração de vários índices de vegetação incluindo o *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI). Gitelson et al. (2002) destacam que este índice é baseado em índices anteriores, tais como:

Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI), *Green Atmospherically Resistant Index (GARI)*, *Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)* e *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. A Equação 5 apresenta o VARI destacando que este índice, mesmo estando na faixas do espectro eletromagnético visível, foi projetado nele a introdução de uma correção atmosférica para melhoramento dos respectivos produtos:

$$VARI = (B2 - B1) / (B2 + B1 - B3) \quad (3)$$

Onde B2 (Verde), B1 (Vermelha) e B3 (Azul), ainda não há estudos relacionados a delimitação da linha de costa com a utilização desse método, contudo, Silver; Tiwari; Karnieli (2019) utilizam para analisar e determinar regiões de vegetação utilizando produtos de RPAS. Neste trabalho o VARI é utilizado para identificação da linha de costa, visto que o monitoramento da linha de costa segundo Mendonça et al. (2014) é essencial para mitigar os impactos da erosão costeira e integrando o gerenciamento da zona costeira, onde as informações posicionais e dinâmicas são fundamentais para o planejamento territorial, bem como para compreender o processo de evolução costeira que fornece informações para proteger, planejar e tomar decisões.

g) *Software Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*

O DSAS é um complemento do *Desktop* do *Esri ArcGIS* usado para calcular estatísticas de taxa de variação de várias posições históricas da costa. Para isso, divide-se a distância entre a linha da costa mais antiga e a mais recente pelo tempo decorrido. (HIMMELSTOSS et al. 2018).

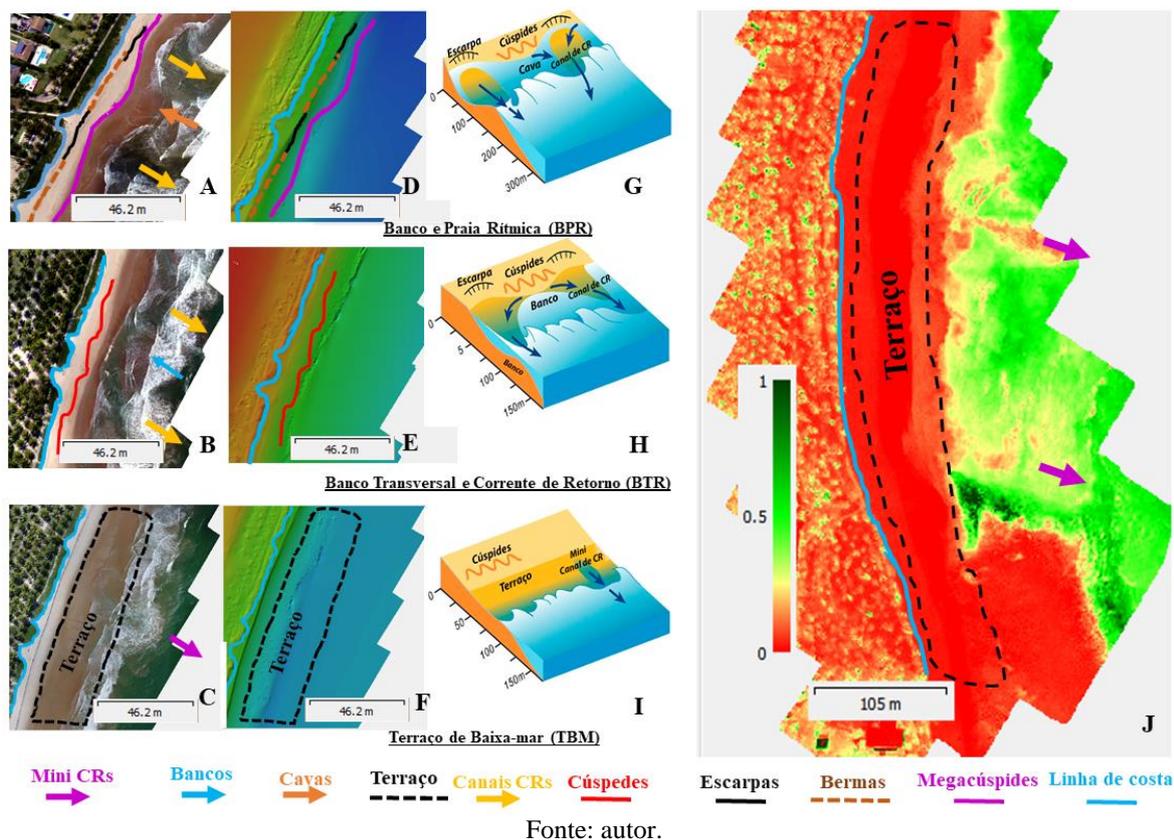
Etapa 3 – Identificação de critérios e classificação morfodinâmica

Na etapa 3 é efetuada a análise e classificação espaço-temporal da praia. Esta combina os dados provenientes do RPAS, a fotointerpretação dos mapas planialtimétricos, perfis topográficos, cálculo de volume sedimentar bem como a junção dos dados do clima de ondas e do cálculo dos parâmetros (Ω e RTR).

Para o entendimento do método de fotointerpretação utilizado no presente estudo juntamente com o conjunto de variáveis descritas nas etapas 2 e 3 utilizou-se como exemplo a Figura 3. Nesta figura os itens A, B e C encontram-se as interpretações classificadas usando os ortofotomosaicos, identificação da linha de costa, correntes de retorno e feições geomorfológicas com berma, cúspides, bancos e cavas. Já em D, E e F são apresentadas as representações dos dados obtidos através do MDT para identificar as feições

geomorfológicas. Por fim em G, H e I, representam os modelos morfodinâmicos de praias sendo eles: Banco e Praia Rítmicas (BPR), Banco Transversal e Corrente de Retorno (BTR) e Terraço de Baixa-mar (TBM), de acordo com suas características morfológicas, como elaborado por Short (2006). A Imagem J é o resultado do índice VARI, que ajuda na identificação das correntes de retorno e na delimitação da linha de costa.

Figura 3. Modelo para identificação das feições praias em Ortofotomosaicos (A, B e C), MDT (E, F e G), modelo de classificação de praia adaptada de Short e Jackson (2013) (G, H e I) e índice de vegetação VARI (J).



A classificação morfodinâmica seguiu os estudos feitos por Wright e Short (1984), Masselink e Short (1993) e Short (1999, 2006). No parâmetro Ω descrito no procedimento (e), os resultados encontrados da equação 1 foram analisados com os critérios definidos por Wright e Short (1984) e atualizados por Short e Jackson (2013), às 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 $\Omega < 2$.

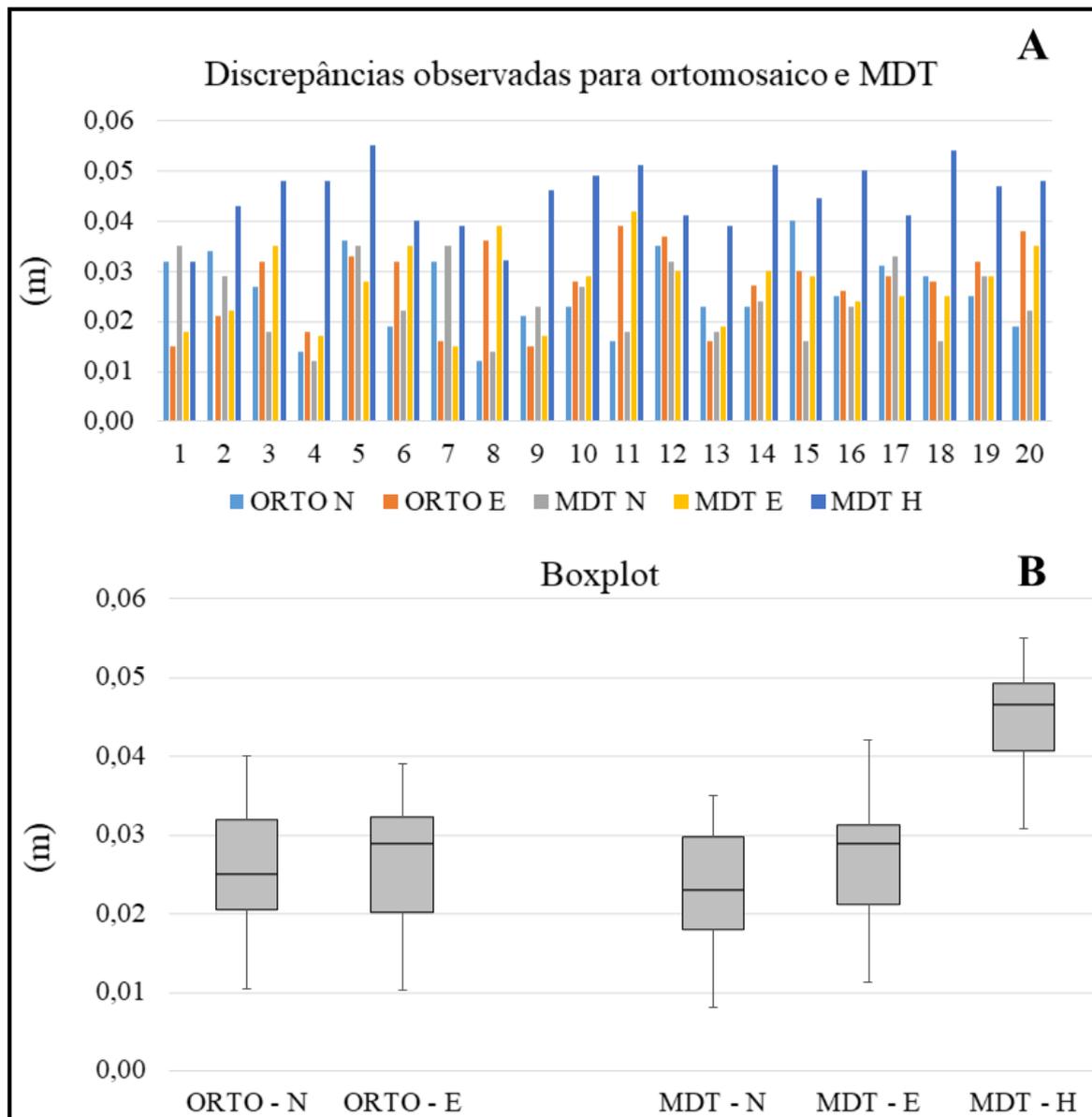
Para examinar a contribuição relativa de H_b e TR Masselink e Short (1993), combinam e ampliam os estudos de Wright e Short (1984) e Short (1999). Considerando os efeitos relativos de ondas e marés na morfologia das praias. No parâmetro RTR descrito por Masselink e Short (1993) no procedimento (e), na equação 2 os altos valores representam domínio de marés e baixo domínio 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.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Levantamento aerofotogramétrico

A Figura 4(A) apresenta um gráfico contendo as discrepâncias obtidas através da diferença entre as coordenadas homólogas considerando os pontos de verificação e o MDT e ortofotomosaico. Para isso foram levados em consideração os 5 pontos de verificação pré-sinalizados para cada campanha, totalizando desta forma 20 pontos de verificação. As maiores discrepâncias foram encontradas na componente H do MDT, alcançando valor máximo de 5,5 cm. Os resultados das componentes N e E obtiveram resultados de discrepâncias máximas para o MDT de 3,5 cm e 4,5 cm respectivamente. No ortofotomosaico foram encontrados valores máximos de discrepância de 4,0 cm e 3,9 cm para as coordenadas N e E , respectivamente.

Figura 4. A imagem (A) representa o *Boxplot* para os pontos de verificação da componente planimétrica e altimétrica obtidas com o GNSS x MDT e GNSS x Ortofotomosaico. A imagem (B) representa a discrepâncias dos pontos de verificação em forma de gráfico de barras para as observações do GNSS x Ortofotomosaico e GNSS x MDT.



Fonte: autor.

A Figura 4(B) representa o *boxplot* das discrepâncias posicionais planimétricas e altimétricas, elaboradas considerando as variações observadas nos dados numéricas por meio de quartis, que representa uma forma de visualizar as estatísticas descritivas. Em resumo, o *boxplot* identifica onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis, a mediana e os valores extremos. Os resultados numéricos das estatísticas considerando a média aritmética, desvio padrão, máximo, mínimo e erro médio quadrático (EMQ) são apresentados na Tabela 1. Os erros médios quadráticos obtidos nas campanhas obtiveram valores para N de 0,029 m, E de 0,024 m e H de 0,047 m isso considerando o MDT. Para o ortofotomosaico foram

encontrados resultados parecidos tendo como EMQ em N de 0,030 m e E de 0,023 m. Para trabalhos com RPAS a literatura apresenta resultados similares como os encontrados por Oliveira et al. (2019) com EMQ para N de 0,086 m, E de 0,121 m e H de 0,229 m considerando a geração do MDT. Já, Choi e Lee (2017) nas praias da Coreia encontraram uma precisão das coordenadas horizontais em média de 4,8 cm para uma área de 67.500 m² com a altitude de voos entre 50 a 70 m e pelo menos 6 pontos controle separados por 150 a 250 m o que ratificam com os resultados encontrados neste trabalho.

A geração do MDT através de RPAS para monitorar ambientes costeiros, torna-se uma solução de baixo custo, pois, permite a aquisição de dados com alta resolução temporal e espacial quando comparado a outros métodos como à Varredura a Laser Terrestre (VLT). O método utilizado produziu o MDT com uma precisão semelhante a pesquisa de Long et al. (2016a) que corroboram as inferências. Com relação aos resultados dos ortofotomosaicos, foi possível mapear temporalmente mudanças nas feições praias (e.g. berma, cúspides, bancos e cavas) e oceanográfica (e.g. corrente de retorno) assim como no MDT. As obtenções de informações topográficas de uma praia são fundamentais para entender os processos que impulsionam a evolução costeira (ANDRIOLO; ALMEIDA; ALMAR, 2018).

Tabela 1. Representação dos resultados das estatísticas (média, desvio padrão (DP), máximo, mínimo e erro médio quadrático (EMQ)) feita com os pontos de verificação obtidos com GNSS x MDT e GNSS x Ortofotomosaico em metros.

	Média MDT	DP MDT	Máximo MDT	Mínimo MDT	EMQ MDT	Média Orto.	DP Orto.	Máximo Orto.	Mínimo Orto.	EMQ Orto.
N	0,024	0,007	0,035	0,012	0,029	0,026	0,008	0,040	0,012	0,030
E	0,027	0,008	0,042	0,015	0,024	0,027	0,008	0,039	0,015	0,023
H	0,045	0,006	0,055	0,032	0,047					

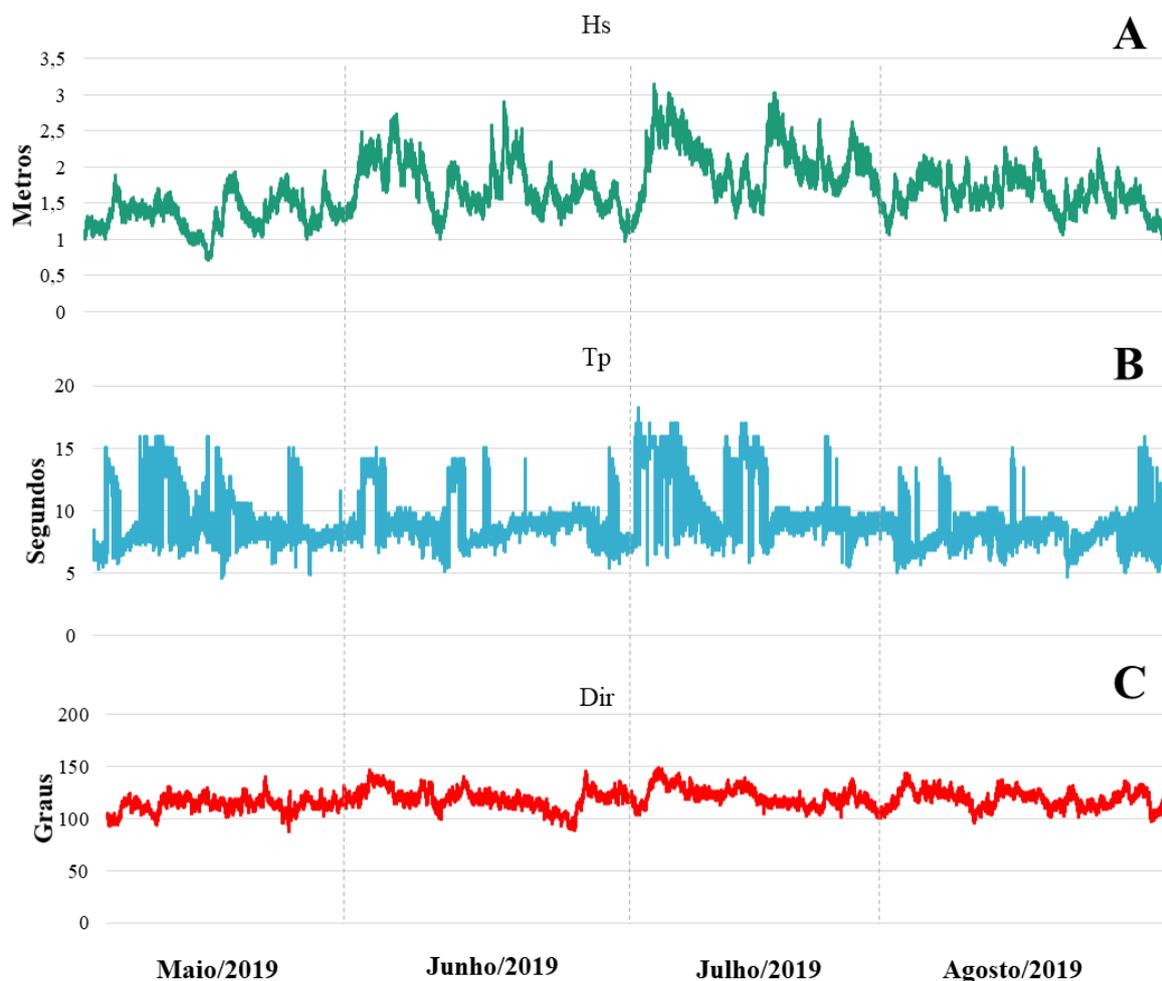
3.2 Clima de ondas

A Figura 5(A) e (B) representam a Rosa de distribuição das direções na altura significativa de onda (Hs) em metros e no período (Tp) em segundos, assim como, o histórico do clima de ondas para a região da área de estudo. A médias encontrada para Hs entre 2018 e 2019 foi de 1,5 m com máxima de 3,15 m e mínimo de 0,62 m. Os valores com Hs >0,8 m para o litoral de Pernambuco correspondem às praias modificadas pela maré segundo o parâmetro RTR, contudo, o valor encontrado não representa 5% do total, e não foi levado em consideração para este trabalho.

O clima de ondas no litoral pernambucano, segundo Junior (2015), é predominantemente caracterizado por ondas do tipo vagas de sudeste, com períodos de pico de até 10 s, criadas pelos ventos alísios que sopram sobre o oceano Atlântico tropical sul,

gerando ondas de quadrante sul, com períodos de pico acima de 10 s, criado principalmente por tempestades sobre o Oceano Atlântico subtropical e temperado. As características corroboram com as encontradas na presente área de estudo.

Figura 5. Representação do histórico do clima de ondas como a altura significativa H_s (A), período T_p (B) e direção das ondas Dir (C).



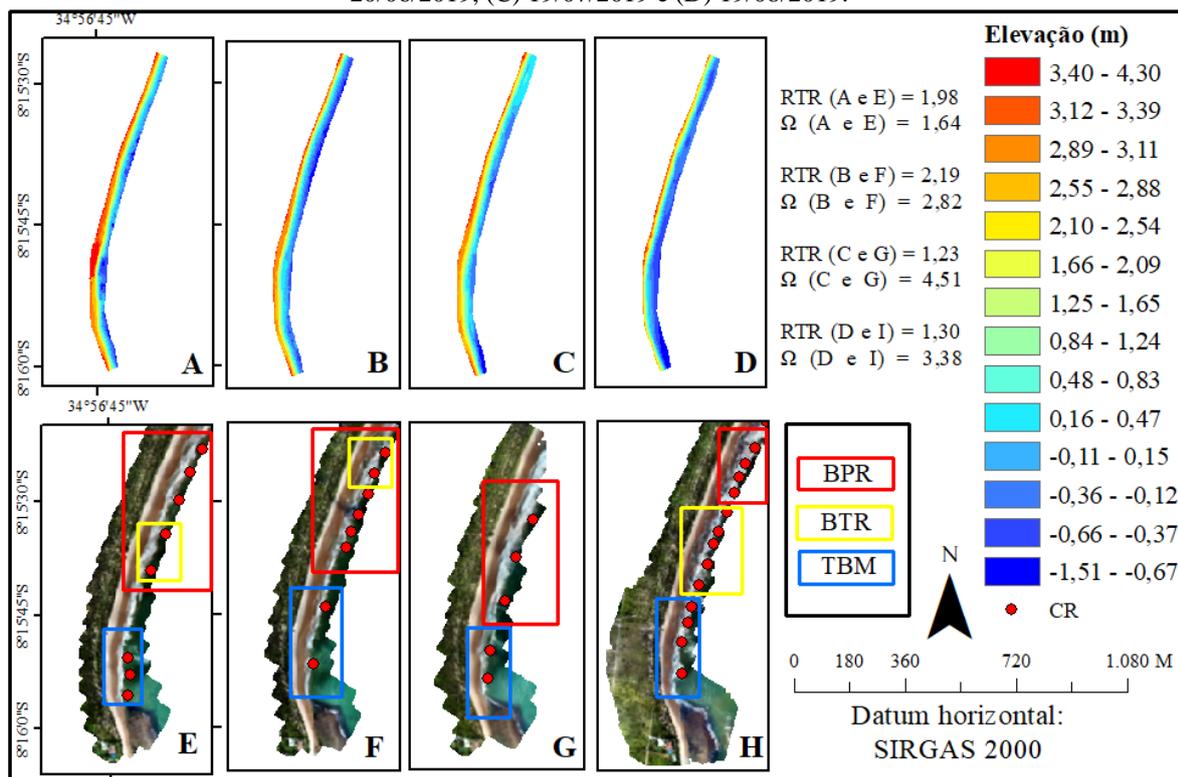
Fonte: autor.

A Figura 5(C), apresenta Dir com cerca de 70 % das direções entre leste (L) a sudeste (SE) ou ($70 - 165^\circ$) a média para o período analisado foi de 115° com máximas e mínimas de 337 e 54° respectivamente. O T_p apresentou média de 8 s, máximas de 18 s e mínimas de 3 s. As características do clima de onda para a região são criadas pelos ventos alísios que sopram sobre o oceano Atlântico tropical sul, características estas que são de suma importância para determinação e classificação do ambiente praias.

3.3 Classificação morfodinâmicas temporais e identificação de feições morfológicas através

A Figura 6 apresenta os resultados das 4 campanhas dispostas por 4 mapas representado o MDT (A, B, C e D) e 4 mapas representados por ortofotomosaicos (E, F, G e H) conforme as datas para cada campanha. Os pontos em vermelho representam os locais de identificação das correntes de retorno apresentadas em (E, F, G e H). A partir do MDT e ortofotomosaico foi possível a identificação dos estágios morfodinâmicos classificados como Banco e Praia Rítmicas (BPR), Banco Transversal e Corrente de Retorno (BTR) e Terraço de Baixa-mar (TBM), sendo este trecho considerado como praia intermediária dominada por ondas. Lino (2015) encontrou para a praia de Itapuama, localizada ao sul da Praia do Paiva, o estágio de TBM que é caracterizado como uma praia intermediária.

Figura 6. Perfis planialtimétricos (A, B, C e D) e Ortofotomosaico (E, F, G e H) obtidos através de levantamentos com RPAS na Praia do Paiva, classificação morfodinâmica segundo os parâmetros Ω e RTR, identificação de feições, delimitação da linha de costas, análise das feições costeiras (MDT) e corrente de retorno (CR) e feições costeiras (Ortofotomosaico), conforme as seguintes datas: (A) 22/05/2019, (B) 20/06/2019, (C) 19/07/2019 e (D) 19/08/2019.



Fonte: autor.

Com a presença de berma, bancos arenosos, cúspides e correntes de retorno (CRs) em todas as campanhas, os estágios BTR e BPR apresentaram as maiores quantidades de CRs identificada pelo ortofotomosaico, totalizando 13, com um clima de ondas para a data 19/08/201 com Hs 1,92 m, Tp de 9 s e Dir de 106°. Os parâmetros Ω e RTR obtiveram como

resultados os valores de 3,28 e 1,30 respectivamente. A seguir, encontra-se o Quadro 1 com o resumo das características da praia do Paiva, como a maré para cada campanha; identificação de presença ou ausência de bancos e terraços; feições presentes no levantamento aerofotogramétrico com berma, cúspides, mini CR, escarpas e cavas.

Quadro 1. Resumo das características da Praia do Paiva-PE.

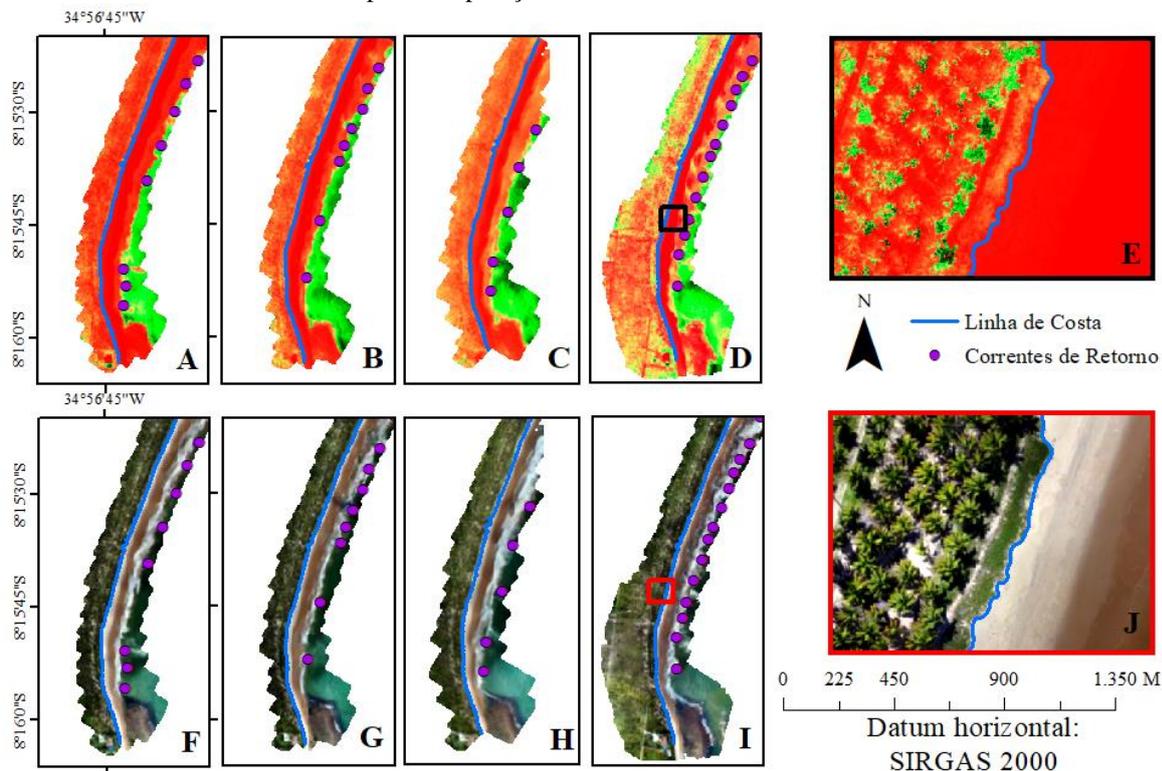
Campanhas	Maré (m)	Banco/Terraço	Feições na praia	Número de CRs	Classificação (S-N)
22/05/2019	0,4	Presente/Presente	Berma/Cúspides/ <i>Mini CR</i> /Escarpa/Bancos/Cavas	Presente (8)	TBM/BPR/BRT
20/06/2019	0,4	Presente/Presente	Berma/Cúspides/ <i>Mega Cúspides/Mini CR</i> /Bancos/Cavas	Presente (8)	TBM/BPR/BTR
19/07/2019	0,4	Ausente/Presente	Berma/Cúspides/ <i>Mini CR</i> /Escarpa/Cavas	Presente (5)	TBM/BPR
19/08/2019	0,5	Presente/Presente	Berma/Cúspides/ <i>Mega Cúspides/Mini CR</i> /Escarpa/Bancos/Cavas	Presente (13)	TBM/BTR/BPR

Fonte: autor.

3.4 Utilização do índice VARI em ambientes costeiros

Com a utilização do VARI representados na Figura 7 (A, B, C e D) foi possível mapear e delimitar a linha de costa e canais de correntes de retorno bem como fazer uma comparação visual da linha de costa obtida pelo ortofotomosaico Figura 7 (F, G, H e I). Ambas são úteis para fotoidentificar a quantidade de correntes de retorno e a posição espacial do indicativo da linha de costa. Ao comparar o índice VARI com o ortofotomosaico é perceptível que o índice delimita a posição do indicativo da linha de costa (neste caso a linha de vegetação). Já para identificação de canais corrente de retorno ele se mostrou bastante útil, pois destaca essa feição com uma coloração diferenciada, através dos tons de verde-claro. Outra vantagem encontrada ao produzir o VARI é que os valores do índice que representam os tons verde-escuro, verde-claro e amarelados são classificadas como sendo áreas de vegetação densa e nos tons verdes-escuras, verde-claro e amarelo são vegetações mais esparsas são já os solos expostos são representadas pelas cores com tom em vermelho. Porém, Silva et al. (2019) apontam que as melhores respostas ainda são obtidas através de índices que considerem em suas fórmulas a faixa do infravermelho próximo (NIR). Dessa forma, o VARI representa um complemento para as pesquisas que utilizam índices de vegetação em ambientes costeiros sendo útil para serem extraídos em equipamentos que não possuem a faixa do NIR.

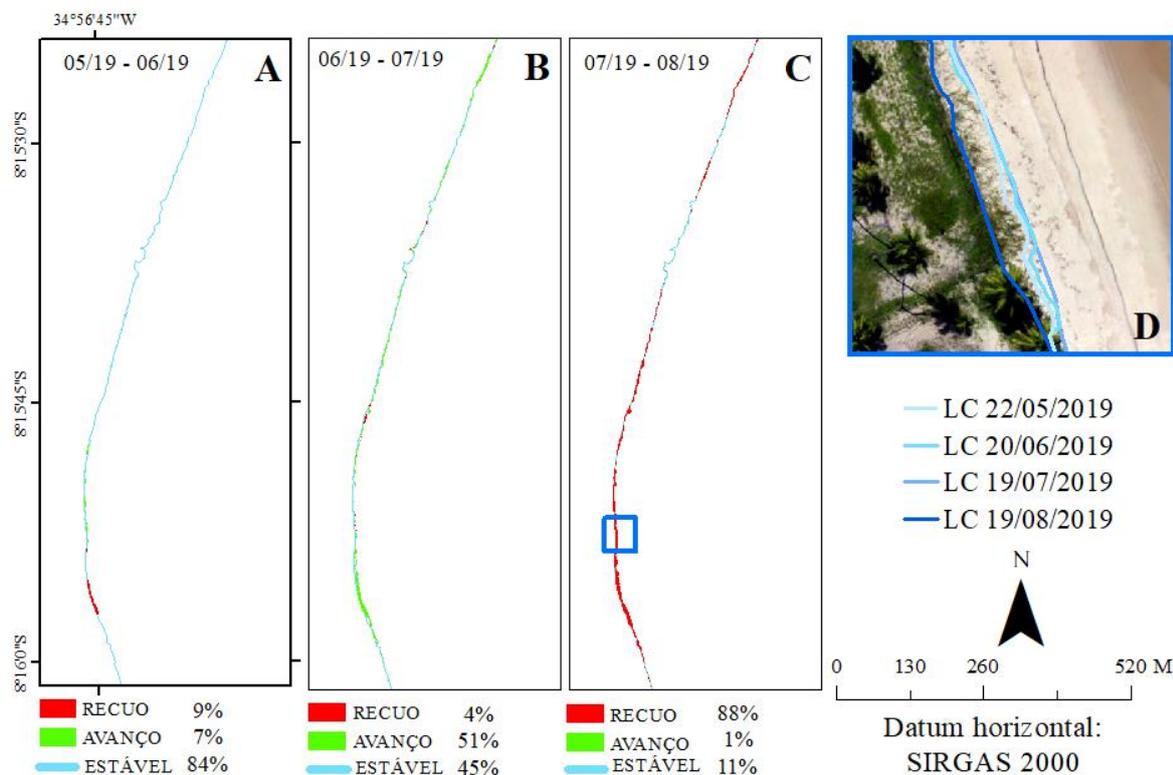
Figura 7. As imagens do VARI A, B, C, D e E ampliação do VARI (D) com a identificação da linha de costa e correntes de retorno, as imagens F, G, F, H, I e J ampliação do ortofotomosaico (I) são os índices VARI para comparação com o ortofotomosaicos.



Fonte: autor.

A Figura 8 (A, B e C) apresentam os resultados da variação da linha de costa (avanço, recuo ou estabilidade) considerando dois instantes de tempo, ou seja, maio e junho; junho e julho; e julho e agosto respectivamente. Onde para os meses de maio e junho foi obtido um resultado praticamente estável para 84% da linha de costa. Para o comparativo entre os meses de junho e julho destaca-se um avanço de 51%. E no comparativo de julho e agosto um recuo considerado alto de 88% da extensão da linha da costa. O que indica que esta posição é extremamente dinâmica para a praia do Paiva, necessitando de um monitoramento com baixa resolução temporal, o que equivaleria a uma escala mensal.

Figura 8. Representação da mudança da Linha de Costa (LC) para as datas 05/2019 e 20/06/2019 imagem (A), imagem (B) o resultado das LC de 06/2019 e 07/2019 e imagem (C) das LC 07/2019 e 08/2019. A imagem (D) representa uma ampliação das LCs temporais localizadas ao sul da praia.



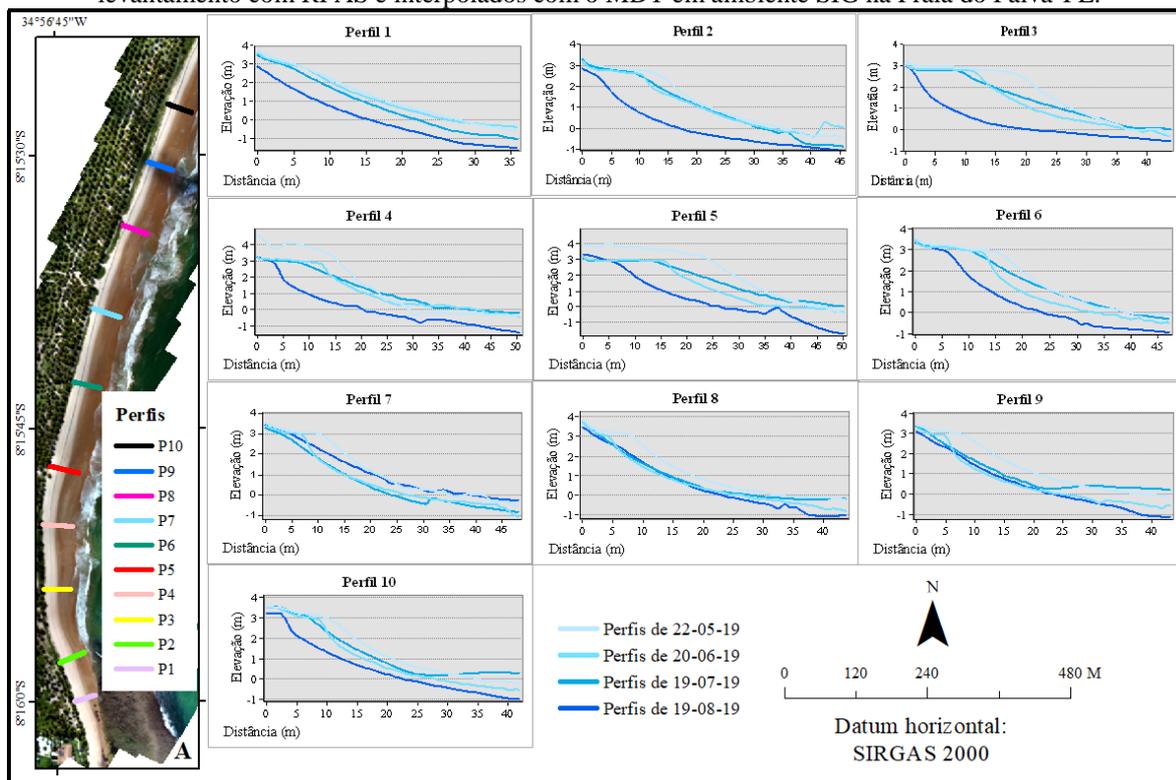
Fonte: autor.

3.5 Perfis de praia verticais

A Figura 9(A) representa a localização dos 10 perfis de praia selecionados, que foram extraídos a partir da interpolação do MDT, procedimento descrito na seção 2.3 (b). As variabilidades dos perfis de praia são apresentadas na Figura 9, para Bird (2008) a concavidade representada no perfil demonstra o estado erosivo já o oposto (convexidade) acreção.

Os perfis 1, 2 e 3 (Figura 9) no mês de agosto apresentaram uma concavidade discrepante dos demais, segundo o clima de onda para a data o Hs com 1,92 m, Tp de 9 s e Dir de 106°. Os perfis 3 ao 10 mostram um recuo da berma significativa entre os meses 05/19 (linha preto) e 06/19 (linha roxa). O resultado indicado pelo perfil pode estar relacionado a influência do sistema atmosférico, que atuou dias antes do levantamento, sistema este conhecido como DOL (Distúrbios ondulatórios de Leste) que em cerca de 9 dias proporcionou um Hs média das ondas de 2,16 m, Dir de 124° e com Tp de 10 s. A praia do Paiva respondeu ao evento com a erosão acentuada da berma e a deposição de sedimentos encontradas na face da praia.

Figura 9. A imagem (A) é o Ortofotomosaico gerado do estudo com os perfis localizados e derivado do levantamento com RPAS e interpolados com o MDT em ambiente SIG na Praia do Paiva-PE.



Fonte: autor.

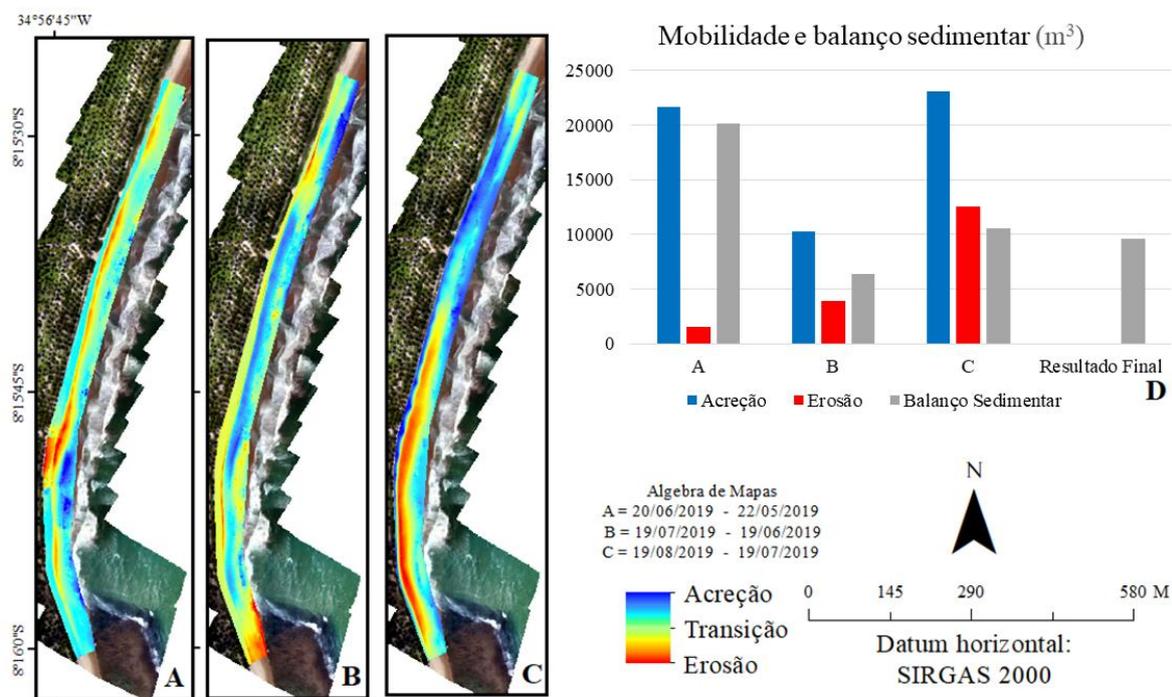
Nota-se que em todos nos perfis do mês 05/19 há uma sobreposição dos demais, caracterizando o período com maior volume da praia, o clima de ondas para o mês possui médias de Dir 125° , H_s 1,25 m e T_p de 9 s. As campanhas de 06/19 apresentou um clima de ondas condicionado pelo sistema atmosférico como foi descrito no parágrafo anterior. O mês 07/19 possui uma média de clima de ondas de Dir 142° , H_s 2,16 m e T_p de 14 s, os perfis para este caso são relativamente suavizados, detectando uma acreção comparada ao mês anterior de aproximadamente 0,5 m, onde nos perfis de 3 a 10 é possível comprovar essa inferência.

3.6 Volume e mobilização dos sedimentos

A Figura 10 (A, B e C) representam o resultado da mobilidade sedimentar tendo como produto a subtração do MDT mais recente pelo mais antigo da mesma forma que a linha de costa (maio e junho; junho e julho; e julho e agosto). Para efeitos comparativos a área dos cálculos foi fixada em 50.794,65 m² sobrepondo a mesma área em todas as campanhas. Os resultados da Figura 10A (maio e junho) apontam uma mobilidade dos sedimentos na parte da berma para a face da praia com uma erosão considerada pequena de 1520,33 m³ em contrapartida a com um volume de acreção de 21665,18 m³ com um balanço de 20144,84

m3. A mobilidade pode estar relacionada a um sistema atmosférico que é chamado de Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL) que entre as datas de 09 até 16/06/2019 proporcionou Hs com médias de 2,15 m.

Figura 10. Representação das diferenças volumétricas temporais (A, B e C) e D gráfico do volume sedimentar e variações no pacote sedimentar (m³) temporal da Praia do Paiva-PE.



Fonte: autor.

A Figura 10(B) apresenta visualmente uma erosão na parte superior (berma) e uma acreção na parte inferior (face da praia), os volumes comprovam essa a inferência visual, pois apresentaram como resultado um volume de erosão de 3925,18 m³ e de acreção de 10250,02 m³ com um balanço de 6324,84 m³. Para os resultados apresentados na Figura 10(C) foi possível observar uma erosão na parte sul e uma acreção mais acentuada na parte norte, obtendo o volume erodido de 12508,58 m³ e a maior acreção encontrada de 23052,97 m³ com um balanço de 10544,43 m³.

A Figura 10(D) apresenta os resultados numéricos de acreção e erosão em forma de um gráfico de barras. É possível verificar que os valores dos volumes em acreção encontrados para a praia do Paiva são maiores que os valores em erosão, caracterizando assim o processo dominante de acreção para o período considerado. Os resultados encontrados por Lu (2016) utilizando RPAS da praia Shanshui em Taiwan, revelam que a redução e alteração do volume

de areia é resultado da ação antrópica, ao contrário da mobilidade que acontece na praia do Paiva, que provavelmente está relacionada a fatores oceanográficos e climáticos.

A remobilização sedimentar ocorre com maior competência em períodos de maior energia de onda, causando retirada dos sedimentos da praia superior, na maré de sizígia principalmente, destruindo a berma e depositando este sedimento sobre a face praial inferior. Tal relação é descrita por Komar (1998) e Masselink, Hughes e Knight (2003). A zona costeira sofre com ações hidrodinâmicas por ondas, marés e correntes que determina o transporte de sedimentos e a dinâmica da superfície da praia que precisam ser avaliadas com resolução suficiente no tempo e no espaço (MASSELINK; HUGHES; KNIGHT, 2003; SHORT, 1999) o que corrobora com o tipo de dados utilizados nesta pesquisa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foram realizadas 4 campanhas de campo durante o ano de 2019 nos meses de maio a agosto com uso de RPAS na Praia do Paiva-PE, para a geração da classificação morfodinâmicas através das análises do MDT, ortofotomosaico, índice VARI, RTR , Ω , dados hidrodinâmicos (clima de onda), identificação dos canais e CRs, bermas, cúspides e identificação e variação da linha de costa, assim como observações de perfis topográficos e balanço sedimentar. Os resultados encontrados indicaram que:

- I. Os produtos cartográficos oriundos da RPAS mostraram-se eficazes e atenderam à geração de informações para o mapeamento e monitoramento costeiro obtendo assim um erro médio quadrático de aproximadamente 2,7 cm planimétrico e 4,5 cm altimétrico. Demonstrando assim a alta eficiência do método para ser replicado em ambientes costeiros.
- II. A praia apresentou em sua extensão de aproximados 1,2 km um clima de onda com média de $Dir = 120^\circ$, Tp de 9 s e Hs de 1,8, considerando a média das 4 campanhas. Com estas informações foi possível identificar três estágios morfodinâmicos durante o período de quatro meses de campanhas, a saber: TBM, BPR e BTR. Sendo classificada como uma praia dominada por ondas contendo classificação de TBM localizada ao sul do levantamento e BPR e BTR na parte ao norte.
- III. A utilização do índice VARI demonstrou ser bastante promissor para ser utilizado junto com os produtos de RPAS estes podem auxiliar em aplicações referentes a vulnerabilidade costeira à erosão, pois é possível através dele

distinguir classes de uso do solo como sedimentos e vegetação. Outra vantagem deste índice é o custo benefício podendo ser extraído a partir do sensor RGB e não necessitar da faixa NIR para a geração dos resultados. Acrescenta-se que a partir dele foi possível identificar as feições como as correntes de retorno e delimitar a linha de costa, sendo uma ferramenta para completar as informações obtidas pelos ortofotomosaicos. Destaca-se que o período com maior avanço da linha de costa foi entre dos meses junho e julho com 51 % de recuo e julho e agosto com 88 %.

- IV. Os perfis apresentaram uma variação máxima de 1,5 m verticalmente na faixa de berma, variação essa característica de perfis de inverno, sendo mais acentuada essa variação na campanha de 08/19 devido ao clima de ondas. Os perfis na porção norte apresentam uma variação menor chegando a 1 m.
- V. Através do cálculo de volume dos sedimentos foi possível detectar um resultado com valores de acreção e erosão em todas as campanhas, o resultado entre os meses de julho e agosto obtiveram um resultado de maior mobilidade com uma erosão na parte sul de 12508,58 m³ e uma acreção na parte norte de 23052,97 m³.
- VI. O monitoramento e classificação de ambientes costeiros utilizando RPAS apresenta algumas vantagens entre elas: baixo custo, resolução temporal e espacial. Como desvantagens: a abrangência da área de estudo foi de 1,2 km se fosse para mapear extensões maiores como estado de Pernambuco que apresenta 172 km de linha de costa, muito provavelmente o uso de RPAS como a mesma característica da utilizada neste trabalho não atenderia essa necessidade.
- VII. Como trabalhos futuros indica-se a possibilidade de gerar um mapa com os riscos costeiros para cada campanha, identificando assim as principais feições e correntes de retorno. Esse tipo de aplicação é interessante para o reconhecimento e gestão de riscos, onde no caso indicaria-se o uso de RPAS para pequenas áreas de estudo.
- VIII. Coletar dados em águas rasas de ondas e correntes, bem como informações sedimentológicas, fornecem dados de entrada interessantes para a compreensão aprofundada dos mecanismos de transporte de sedimentos a partir da utilização de modelagem numérica.

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, e por fim (iii) ao Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST) por toda estrutura disponibilizada e pelos equipamentos de mapeamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, U.; ALMEIDA, L. P.; ALMAR, R. Coupling terrestrial LiDAR and video imagery to perform 3D intertidal beach topography. **Coastal Engineering**, v. 140, n. May, p. 232–239, 2018.

BIRD, E. C. F. **Coastal Geomorphology: An introduction**. 2. ed. Chichester: Wiley and Sons, 2008.

CHEN, B.; YANG, Y.; WEN, H.; RUAN, H.; ZHOU, Z.; LUO, K.; ZHONG, F. High-resolution monitoring of - Beach topography and its change using unmanned aerial vehicle imagery. **Ocean and Coastal Management**, v. 160, n. April, p. 103–116, 2018.

CHOI, K.; LEE, I. Accuracy Analysis of Coastal Area Modeling through UAV Photogrammetry. **Korean Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 6, p. 657–672, 2017.

DRUMMOND, C. D.; HARLEY, M. D.; TURNER, I. L.; MATHEEN, A. N. A.; GLAMORE, W. C. UAV applications to coastal engineering. **Australian Coasts and Ports 2015 Conference**, n. August 2016, p. 0–6, 2015.

ELSNER, P.; DORNBUSCH, U.; THOMAS, I.; AMOS, D.; BOVINGTON, J.; HORN, D. Coincident beach surveys using UAS, vehicle mounted and airborne laser scanner: Point cloud inter-comparison and effects of surface type heterogeneity on elevation accuracies. **Remote Sensing of Environment**, v. 208, n. February, p. 15–26, 2018.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76–87, 2002.

GIORDAN, Daniele et al. the use of remotely piloted aircraft systems (RPASs) for natural hazards monitoring and management. **Natural Hazards & Earth System Sciences**, v. 18, n. 4, 2018.

GONÇALVES, G.; DUARTE, D.; PÉREZ, J.; ATKINSON, A.; SANCHEZ, M.; DUARTE, J. Avaliação Da Qualidade E Adequabilidade De Mds Obtidos Por Drones Low-Cost Na Monitorização Topográfica De Dunas Primárias. **Inesc Coimbra**, v. 1, n. May, p. 9, 2014.

GONÇALVES, G.; SANTOS, S.; DUARTE, D.; GOMES, J. Monitoring local shoreline changes by integrating UASs, airborne LiDAR, historical images and orthophotos. n. March, 2019.

GONÇALVES, G. R.; PÉREZ, J. A.; DUARTE, J. Accuracy and effectiveness of low cost UASs and open source photogrammetric software for foredunes mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 15–16, p. 5059–5077, 2018.

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

GUISADO-PINTADO, Emilia; JACKSON, Derek WT; ROGERS, David. 3D mapping efficacy of a drone and terrestrial laser scanner over a temperate beach-dune zone. **Geomorphology**, v. 328, p. 157-172, 2019.

HIMMELSTOSS, E. A., HENDERSON, R. E., KRATZMANN, M.G., FARRIS, A. S., **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide**: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179, 110 p., 2018.

JAUD, M.; DELACOURT, C.; DANTEC, N. L.; ALLEMAND, P.; AMMANN, J.; GRANDJEAN, P.; NOUAILLE, H.; PRUNIER, C.; CUQ, V.; AUGEREAU, E.; COCQUEMPOT, L.; FLOC'H, F. Diachronic UAV photogrammetry of a sandy beach in Brittany (France) for a long-term coastal observatory. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 6, 2019.

JEONG, E.; PARK, J.-Y.; HWANG, C.-S. Assessment of UAV Photogrammetric Mapping Accuracy in the Beach Environment. **Journal of Coastal Research**, v. 85, n. February, p. 176–180, 2018.

JUNIOR, G. D. G. **Aprimoramento do clima de ondas do SMC como subsídio ao estudo da erosão costeira no litoral de Pernambuco**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. 2. ed. EUA: New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

LINO, A. P. **Variabilidade morfodinâmica de curto-termo de uma praia de Mesomaré**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

LONG, N.; MILLESCAMPS, B.; POUGET, F.; DUMON, A.; LACHAUSSÉE, N.; BERTIN, X. Accuracy assessment of coastal topography derived from uav images. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 2016-Janua, n. June, p. 1127–1134, 2016.

LU, C. H. Applying UAV and photogrammetry to monitor the morphological changes along the beach in Penghu islands. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 41, n. July, p. 1153–1156, 2016.

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.

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.

MASSELINK, G.; HUGHES, M. G.; KNIGHT, J. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. 2. ed. London: Hodder Education Publishers, 2003.

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.

MENDONÇA, F. J. B.; GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; SILVA, L. M.; GREGÓRIO, M. N. Temporal Shoreline Series Analysis Using Gnss. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, p. 701–719, 2014.

MIRKO, S.; EUFEMIA, T.; ALESSANDRO, R.; GIUSEPPE, F.; UMBERTO, F. Assessing the Impact of the Number of GCPS on the Accuracy of Photogrammetric Mapping from UAV Imagery. **Baltic Surveying**, v. 10, n. June, p. 43–51, 2019.

MURY, A.; COLLIN, A.; JAMES, D. Morpho–Sedimentary Monitoring in a Coastal Area, from 1D to 2.5D, Using Airborne Drone Imagery. **Drones**, v. 3, n. 3, p. 62, 2019.

NOLET, C.; VAN PUIJENBROEK, M.; SUOMALAINEN, J.; LIMPENS, J.; RIKSEN, M. UAV-imaging to model growth response of marram grass to sand burial: Implications for coastal dune development. **Aeolian Research**, v. 31, p. 50-61, 2018.

OLIVEIRA, D. V.; BRITO, J. L. S. Avaliação da Acurácia Posicional de Dados Gerados por Aeronave Remotamente Pilotada. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 4, p. 934-959, 13 dez. 2019.

PAPAKONSTANTINO, A.; TOPOUZELIS, K.; PAVLOGEORGATOS, G. Coastline Zones Identification and 3D Coastal Mapping Using UAV Spatial Data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 5, n. 6, p. 75, 2016.

PITMAN, S. J.; HART, D. E.; KATURJI, M. H.; ZEALAND, N. Beach cusp morphodynamics on a composite beach observed using UAV structure from motion. **Australasian Coasts & Ports 2019 Conference**, n. September, p. 10–13, 2019.

SCARELLI, F. M.; CANTELLI, L.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; GABBIANELLI, G. Natural and Anthropogenic Coastal System Comparison Using DSM from a Low Cost UAV Survey (Capão Novo, RS/Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 1232–1236, 2016.

SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. 1. ed. Chichester: Wiley, 1999.

SHORT, A. D. Australian Beach Systems-Nature and Distribution. **Journal of Coastal Research**, v. 45, n. 1, p. 11–27, 2006.

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.

SILVA, J. F.; PAZ, Y. M.; SILVA, P. P. L.; PEREIRA, J. A. S.; CANDEIAS, A. L. B. Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa visível (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, p. 228-239, 2019.

SILVER, M.; TIWARI, A.; KARNIELI, A. Identifying vegetation in arid regions using object-based image analysis with RGB-only aerial imagery. **Remote Sensing**, v. 11, n. 19, p. 21, 2019.

STÉPHAN, P.; SUANEZ, S.; FICHAUT, B.; AUTRET, R.; BLAISE, E.; HOURON, J.; AMMANN, J.; GRANDJEAN, P. Monitoring the medium-term retreat of a gravel spit barrier and management strategies, Sillon de Talbert (North Brittany, France). **Ocean and Coastal Management**, 2018.

TADDIA, Y.; CORBAU, C.; ZAMBELLO, E.; PELLEGRINELLI, A. UAVs for Structure-From-Motion Coastal Monitoring: A Case Study to Assess the Evolution of Embryo Dunes over a Two-Year Time Frame in the Po River Delta, Italy. **Sensors**, v. 19, n. 7, p. 1717, 2019.

TURNER, I. L.; HARLEY, M. D.; DRUMMOND, C. D. UAVs for coastal surveying. **Coastal Engineering**, v. 114, p. 19–24, 1 ago. 2016.

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.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissertação é composta por dois capítulos em formato de artigos, ambos os capítulos com o objetivo geral de efetuar a classificação morfodinâmica da praia do Paiva, PE, Brasil, para ambos os artigos, contudo, com abordagem de aquisição de dados distintas. Para o Capítulo 1 as informações foram obtidas por *Global Navigation Satellite System* e este artigo já se encontra em desenvolvimento. Para o Capítulo 2 é utilizado informações cartográficas a partir de *Remotely Piloted Aircraft Systems*. Em ambos os casos informações hidrodinâmicas compõe a base de dados para uma análise espaço temporal das variações morfológicas.

O capítulo 1 foi composto por 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:

- I. 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.
- II. Os resultados dos parâmetros *RTR* e Ω mostram que se trata de uma praia dominada por onda.
- III. Detectou-se que os estágios possuem maiores mudanças no período de inverno, causado pelo clima de onda para o local com H_s variando entre 1,61 a 3,39 m, T_p de 9,3 s de média e com direção de onda de E, ESE e SE.
- IV. Nos perfis topográficos foi registrada variações significativas tanto em períodos de acresção ou erosão, chegando a 1 m verticalmente, sobretudo na zona de espraiamento onde as maiores variações dos perfis são encontradas na porção ao Norte.
- V. 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.

No capítulo 2 foram realizadas 4 campanhas temporais durante o ano de 2019 nos meses de Maio a Agosto com uso de RPAS na Praia do Paiva-PE, para a geração da

classificação morfodinâmicas através das análises do MDT, ortofotomosaico, índice VARI, RTR , Ω , dados hidrodinâmicos (clima de ondas), identificação dos canais e CRs, bermas, cúspides e identificação da linha de costa, assim como, observações de perfis topográficos e balanço sedimentar. Os resultados encontrados indicaram que:

- I. Os produtos cartográficos oriundos da RPAS obtiveram um erro médio para todas as campanhas posicional planimétrico de 3 cm e altimétrico de 5 cm aproximadamente.
- II. A praia apresentou três estágios morfodinâmicos TBM, BPR e BTR.
- III. A identificação das bermas, cúspides e linha de costa foram identificadas diretamente no ortofotomosaico e no MDT, já as correntes de retorno limitaram-se a serem identificadas no ortofotomosaico.
- IV. O clima de onda para a região teve média de Dir com 120° , Tp de 9 s e Hs em 1,8, considerando as 4 campanhas.
- V. A utilização do índice VARI demonstrou ser bastante promissor para trabalhos futuros bem como para aplicações referentes a vulnerabilidade costeira à erosão, pois distinguir o que é solo de vegetação e o custo benefício podendo ser extraído a partir do o sensor RGB.
- VI. Os perfis apresentaram uma variação máxima de 1,5 m verticalmente na faixa de berma, variação essa característica de perfis de inverno.
- VII. Através do cálculo de remobilização dos sedimentos foi possível detectar um resultado com um sinal positivo, caracterizando uma praia em acreção, o balanço geral obtido foi de $13653,25 \text{ m}^3$.
- VIII. O monitoramento dos ambientes costeiros e classificação da morfodinâmica praial costeiro utilizando RPAS apresenta algumas vantagens entre elas: baixo custo, resolução temporal e espacial. Como desvantagens: a abrangência da área de estudo foi de 1,2 km se fosse para mapear o estado de Pernambuco inteiro 172 km, muito provavelmente a RPAS de asa fixa não atenderia essa necessidade.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ANDRIOLO, U.; ALMEIDA, L. P.; ALMAR, R. Coupling terrestrial LiDAR and video imagery to perform 3D intertidal beach topography. **Coastal Engineering**, v. 140, n. May, p. 232–239, 2018.
- 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.; 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- BURVINGT, O.; MASSELINK, G.; RUSSELL, P.; SCOTT, T.; Classification of beach response to extreme storms. **Geomorphology**, v. 295, n. August, p. 722–737, 2017.
- CALLIARI, L. J. MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR, E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, p. 63–78, 2003.
- CHEN, B.; YANG, Y.; WEN, H.; RUAN, H.; ZHOU, Z.; LUO, K.; ZHONG, F. High-resolution monitoring of - Beach topography and its change using unmanned aerial vehicle imagery. **Ocean and Coastal Management**, v. 160, n. April, p. 103–116, 2018.
- CHOI, K.; LEE, I. Accuracy Analysis of Coastal Area Modeling through UAV Photogrammetry. **Korean Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 6, p. 657–672, 2017.
- DAVIES, J. L. Morphogenetic approach to world shorelines. **Zeitschrift für 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 mesomarés na planície arenosa de Almofala, nw do Ceará (Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 40, n. 1, p. 61–73, 2013.

DRUMMOND, C. D.; HARLEY, M. D.; TURNER, I. L.; MATHEEN, A. N. A.; GLAMORE, W. C. UAV applications to coastal engineering. **Australian Coasts and Ports 2015 Conference**, n. August 2016, p. 0–6, 2015.

ELSNER, P.; DORNBUSCH, U.; THOMAS, I.; AMOS, D.; BOVINGTON, J.; HORN, D. Coincident beach surveys using UAS, vehicle mounted and airborne laser scanner: Point cloud inter-comparison and effects of surface type heterogeneity on elevation accuracies. **Remote Sensing of Environment**, v. 208, n. February, p. 15–26, 2018.

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.

GIORDAN, Daniele et al. the use of remotely piloted aircraft systems (RPASs) for natural hazards monitoring and management. **Natural Hazards & Earth System Sciences**, v. 18, n. 4, 2018.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y J.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 76–87, 2002.

GONÇALVES, G. R.; PÉREZ, J. A.; DUARTE, J. Accuracy and effectiveness of low cost UASs and open source photogrammetric software for foredunes mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 15–16, p. 5059–5077, 2018.

GONÇALVES, G.; DUARTE, D.; PÉREZ, J.; ATKINSON, A.; SANCHEZ, M.; DUARTE, J. Avaliação Da Qualidade E Adequabilidade De Mds Obtidos Por Drones Low-Cost Na Monitorização Topográfica De Dunas Primárias. **Inesc Coimbra**, v. 1, n. May, p. 9, 2014.

GONÇALVES, G.; SANTOS, S.; DUARTE, D.; GOMES, J. Monitoring local shoreline changes by integrating UASs, airborne LiDAR, historical images and orthophotos. n. March, 2019.

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

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.

GUISADO-PINTADO, Emilia; JACKSON, Derek WT; ROGERS, David. 3D mapping efficacy of a drone and terrestrial laser scanner over a temperate beach-dune zone. **Geomorphology**, v. 328, p. 157-172, 2019.

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.

JAUD, M.; DELACOURT, C.; DANTEC, N. L.; ALLEMAND, P.; AMMANN, J.; GRANDJEAN, P.; NOUAILLE, H.; PRUNIER, C.; CUQ, V.; AUGEREAU, E.; COCQUEMPOT, L.; FLOC'H, F. Diachronic UAV photogrammetry of a sandy beach in Brittany (France) for a long-term coastal observatory. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 6, 2019.

JEONG, E.; PARK, J.-Y.; HWANG, C.-S. Assessment of UAV Photogrammetric Mapping Accuracy in the Beach Environment. **Journal of Coastal Research**, v. 85, n. February, p. 176–180, 2018.

JUNIOR, G. D. G. **Aprimoramento do clima de ondas do SMC como subsídio ao estudo da erosão costeira no litoral de Pernambuco**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

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.

LIN, Y.; TSUNG-YI, H. **Seasonal Morphological Change of Jinshawan Beach**. ocean engineering conference. **Anais...**2016.

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.

LONG, N.; MILLESCAMPS, B.; POUGET, F.; DUMON, A.; LACHAUSSÉE, N.; BERTIN, X. Accuracy assessment of coastal topography derived from uav images. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 2016-January, n. June, p. 1127–1134, 2016.

LU, C. H. Applying UAV and photogrammetry to monitor the morphological changes along the beach in Penghu islands. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 41, n. July, p. 1153–1156, 2016.

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.

MANSO, V. A. V. COUTINHI, P. N.; GUERRA, N. C.; JUNIOR, C. F. A. S. Pernambuco. In: DIETER MUEHE (Ed.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. 1. ed. Brasília: MMA, 2006. p. 179–196.

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.

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.

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.

MENDONÇA, F. J. B.; GONÇALVES, R. M.; AWANGE, J.; SILVA, L. M.; GREGÓRIO, M. N. Temporal Shoreline Series Analysis Using Gnss. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, p. 701–719, 2014.

MIRKO, S.; EUFEMIA, T.; ALESSANDRO, R.; GIUSEPPE, F.; UMBERTO, F. Assessing the Impact of the Number of GCPS on the Accuracy of Photogrammetric Mapping from UAV Imagery. **Baltic Surveying**, v. 10, n. June, p. 43–51, 2019.

MURY, A.; COLLIN, A.; JAMES, D. Morpho–Sedimentary Monitoring in a Coastal Area, from 1D to 2.5D, Using Airborne Drone Imagery. **Drones**, v. 3, n. 3, p. 62, 2019.

- NOLET, C.; VAN PUIJENBROEK, M.; SUOMALAINEN, J.; LIMPENS, J.; RIKSEN, M. UAV-imaging to model growth response of marram grass to sand burial: Implications for coastal dune development. **Aeolian Research**, v. 31, p. 50-61, 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.
- PAPAKONSTANTINO, A.; TOPOUZELIS, K.; PAVLOGEORGATOS, G. Coastline Zones Identification and 3D Coastal Mapping Using UAV Spatial Data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 5, n. 6, p. 75, 2016.
- PITMAN, S. J.; HART, D. E.; KATURJI, M. H.; ZEALAND, N. Beach cusp morphodynamics on a composite beach observed using UAV structure from motion. **Australasian Coasts & Ports 2019 Conference**, n. September, p. 10–13, 2019.
- 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.
- SCARELLI, F. M.; CANTELLI, L.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; GABBIANELLI, G. Natural and Anthropogenic Coastal System Comparison Using DSM from a Low Cost UAV Survey (Capão Novo, RS/Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 1232–1236, 2016.
- 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.
- SILVA, J. F.; PAZ, Y. M.; SILVA, P. P. L.; PEREIRA, J. A. S.; CANDEIAS, A. L. B. Índices de vegetação do Sensoriamento Remoto para processamento de imagens na faixa visível (RGB). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, p. 228-239, 2019.

SILVER, M.; TIWARI, A.; KARNIELI, A. Identifying vegetation in arid regions using object-based image analysis with RGB-only aerial imagery. **Remote Sensing**, v. 11, n. 19, p. 21, 2019.

SOUZA, C. R. D. G. FILHO, P. W. M. S.; ESTEVES, L. S.; VITAL, H.; DILLENBURG, S. R.; PATCHINEELAM, S. M.; ADDAD, J. E. **Quaternário do Brasil**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos, Editora, 2005.

SOUZA, C. R. D. G. Praias arenosas oceânicas do estado de São Paulo (Brasil): síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 1, n. 1, p. 307–371, 2012.

STEIN, L.; SIEGLE, E. Santos beach morphodynamics under high-energy conditions. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 445–456, 2019.

STÉPHAN, P.; SUANEZ, S.; FICHAUT, B.; AUTRET, R.; BLAISE, E.; HOURON, J.; AMMANN, J.; GRANDJEAN, P. Monitoring the medium-term retreat of a gravel spit barrier and management strategies, Sillon de Talbert (North Brittany, France). **Ocean and Coastal Management**, 2018.

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.

TADDIA, Y.; CORBAU, C.; ZAMBELLO, E.; PELLEGRINELLI, A. UAVs for Structure-From-Motion Coastal Monitoring: A Case Study to Assess the Evolution of Embryo Dunes over a Two-Year Time Frame in the Po River Delta, Italy. **Sensors**, v. 19, n. 7, p. 1717, 2019.

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.

TURNER, I. L.; HARLEY, M. D.; DRUMMOND, C. D. UAVs for coastal surveying. **Coastal Engineering**, v. 114, p. 19–24, 1 ago. 2016.

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.