



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
CURSO DE OCEANOGRAFIA



TÚLIO SILAS PÁDUA VICENTE RABÊLO

ESTUDO MORFODINÂMICO DAS CÚSPIDES POR
MEIO DE VIDEOIMAGEAMENTO NA PRAIA DE
BOA VIAGEM, RECIFE-PE, BRASIL.

Recife
2019

TÚLIO SILAS PÁDUA VICENTE RABÊLO

**ESTUDO MORFODINÂMICO DAS CÚSPIDES POR
MEIO DE VIDEOIMAGEAMENTO NA PRAIA DE
BOA VIAGEM, RECIFE-PE, BRASIL.**

Trabalho apresentado ao Curso de Bacharelado em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Profa. Dra. Mirella Borba Santos Ferreira Costa

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

R114e Rabêlo, Túlio Silas Pádua Vicente.
Estudo morfodinâmico das cúspides por meio de videoimageamento na praia de Boa Viagem, Recife-PE, Brasil / Túlio Silas Pádua Vicente Rabêlo. - 2019.
39 folhas, il., tab.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mirella Borba Santos Ferreira Costa.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento de Oceanografia, 2019.

Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Cúspide praial. 3. Morfodinâmica. 4. Pernambuco. 5. Mesomaré. 6. Sistema Argus. 7. Vídeo imageamento. I. Rabêlo, Túlio Silas Pádua Vicente (Orientadora). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-228



ATA ESPECIAL Nº 20/2019

Aos dezessete dias do mês de junho de dois mil e dezenove, às 14h00min, na sala 03 da Graduação do Departamento de Oceanografia da UFPE, reuniu-se a Banca Examinadora para apresentação do Trabalho de Conclusão do Curso de Oceanografia do aluno **TÚLIO SILAS PÁDUA VICENTE RABELO**, composta por Profª. Drª. Mirella Borba Santos Ferreira Costa, Orientadora e Presidente, Prof. Dr. Antonio Vicente Ferreira Junior e Profª. Drª. Tereza Cristina Medeiros de Araújo, tendo por título: **"Estudo Morfodinâmico das Cúspides por Meio de Videoimageamento na Praia de Boa Viagem, Recife –PE, Brasil."** Dando início à reunião, a Orientadora e Presidente passou a palavra ao acadêmico, que fez a exposição do trabalho, respondendo, posteriormente, às perguntas formuladas pela Banca Examinadora. Encerrando os debates, a Banca Examinadora reuniu-se e considerou o aluno **APROVADO** atribuindo-lhe a NOTA FINAL 9,0. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que após lida e achada conforme foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pelo acadêmico e pelo Secretário do Curso de Bacharelado em Oceanografia.

Recife, 17 de junho de 2019.

Profª. Drª. Mirella Borba Santos Ferreira Costa (9,0)
Orientadora e Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. Antonio Vicente Ferreira Junior (9,0)

Profª. Drª. Tereza Cristina Medeiros de Araújo (9,0)

Acad. Túlio Silas Pádua Vicente Rabelo

André Conceição Cordeiro
Secretário do Curso de Bacharelado em Oceanografia

CONFERE COM O ORIGINAL



André Conceição Cordeiro
Secretário
Bach. Oceanografia/ UFPE
SIAPE - 2131293

Aos meus pais Giseli Vicente Rabêlo e Damião Rabêlo da Silva, por toda dedicação, confiança e amor externados a mim. À minha família que esteve sempre presente como meu principal combustível espiritual e a ela, meu amor, Rafaela Guerra Monte, por toda paciência e por me ajudar em todos os momentos dessa graduação.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos de graduação, a Pedrinho, Luís, Victor Viegas, Demétrio (Matutinho), Diogo Durand, aos companheiros do Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO-UFPE) externado aos demais professores que compõem o corpo docente do Departamento de Oceanografia da UFPE, aos funcionários do Departamento de Oceanografia da UFPE, em especial à pessoa de André Conceição Cordeiro, Secretário de Graduação, ao Professor Pedro de Souza Pereira por me introduzir ao estudo do ambiente praial e por ter participado ativamente da Gênese desse trabalho e à minha Orientadora, Professora Mirella Costa pela prestatividade e suporte.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar a morfodinâmica diária das cúspides praias em uma praia de mesomaré protegida por recifes, durante o mês de agosto do ano de 2013. Tal análise foi realizada através da inspeção e digitalização de imagens da estação Argus de vídeo monitoramento da praia Boa Viagem, Recife-PE, Brasil. A estação de vídeo imageamento conta com cinco câmeras oblíquas, cobrindo em 180° a região praial. A partir da digitalização, foi possível identificar 4 padrões distintos quanto a ocorrência das cúspides: ocorrendo apenas na região sul da praia, apenas na região norte, em ambas as regiões e a não formação da feição em nenhum local, o chamado *set reset*. Concomitante foi realizada a interpretação dos dados de ondas, obtidos por meio de um ondógrafo direcional e de vento, obtidos através do banco de dados do Inpe/CPTEC, com o intuito de verificar relação com as cúspides. Os espaçamentos médios das cristas foram diferentes para os setores analisados, devendo-se principalmente pelo (i) regime de ondas, (ii) período das ondas e (iii) intensidade destas, bem como sua interação com o sistema praial. Num cenário de baixa energia, as cúspides apresentaram menor espaçamento ($\lambda = 12,6$ m). Em condições mais enérgicas, houve elevação dos espaçamentos entre as cristas apresentando valores aproximados de ($\lambda = 26,40$ m) e também foi constatado a erosão completa da feição rítmica, se instaurando um momento de intensa modificação da estrutura praial. Tais resultados mostram a necessidade de um estudo a longo prazo da morfologia de praia a fim de formular uma teoria mais concreta sobre o processo de formação das cúspides bem como sobre sua dinâmica.

Palavras-chave: Cúspide praial. Morfodinâmica. Pernambuco. Mesomaré. Sistema Argus. Video imageamento.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the daily morphodynamic of the beach cusp in a mesotidal beach protected by reefs, during the month of August 2013's year. The data was obtained using images of monitoring video from Argus station in Boa Viagem beach, Recife-PE, Brazil. The video station has five oblique cameras, covering 180° the beach face. It was possible to identify patterns in the cusps formation. It was identified 4 distinct patterns: When occurring only in the south region of the beach, only in the north region, in both regions or did not occurred in any region, the so-called set reset. Concomitant was the interpretation of wave data, obtained by means of a directional wave and wind, obtained through the database of Inpe / CPTEC, in order to verify relationship with the cusps. The average spacings of the crests were different for the analyzed sectors, due mainly to (i) wave conditions, (ii) wave period and (iii) intensity of waves, as well as their interaction with the praial system. In a low energy scenario, the cusps had less spacing ($\lambda = \sim 12.6$ m). In more vigorous conditions, there was an increase in the spacings between the ridges presenting approximate values of ($\lambda = \sim 26.40$ m), and it was also verified the complete erosion of the rhythmic feature, creating a moment of intense modification of the beach structure. These results show the need for a longer term study of beach morphology in order to create a theory about the cusp formation process as well as its dynamics.

Keywords: Beach cusp. morphodinamic. Pernambuco. Mesotidal. Argus system. Video imaging.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Imagem oblíqua média, indicando as cúspides praias em destaque na zona de berma, durante a preamar.	12
Figura 2 – Esquema sobre as cristas e as cavas das cúspides e a ilustração da onda de borda.	13
Figura 3 – Evolução de cúspides praias segundo a teoria de auto-organização.	14
Figura 4 – Área de estudo em destaque o trecho que compreende ao alcance das câmeras do sistema Argus.	17
Figura 5 – Classificação dos estados morfodinâmicos de praias considerando a variação relativa das marés.	18
Figura 6 – Mosaico ilustrando as imagens capturadas por cada uma das 5(cinco) câmeras que compõem o sistema Argus (cobertura de 180°) e abaixo o mosaico formado pela composição destas.	19
Figura 7 – Imagem retificada, instantânea, capturada no começo de cada hora.	20
Figura 8 – Imagem <i>Timex</i> , mostrando a média de 10 minutos de <i>frames</i> e a divisão da área de estudo nos setores SUL e NORTE.	20
Figura 9 – Imagem com zoom na região da Berma, durante a preamar. Mostrando assim a região de interesse, os espaçamentos entre as cristas das cúspides (λ) e em vermelho a linha de cúspides já digitalizada.	21
Figura 10 – Perfil médio para a área de estudo.	22
Figura 11 – Dados de onda: $H_s(m)$, $T_p(s)$ e $Dir(^{\circ})$.	24
Figura 12 – Dados de direção e intensidade do vento (A) e direção e altura significativa de ondas (B), Ambos correspondem à direção de onde vem o vento e as ondas.	25
Figura 13 – Evolução diária das cúspides do GRUPO 1 (formadas na porção sul) entre os dias 02/08 a 13/08.	27
Figura 14 – Evolução diária das cúspides do GRUPO 1 (formadas na porção sul) entre os dias 14/08 a 21/08 e o dia 27/08.	28
Figura 15 – Evolução diária correspondentes ao GRUPO 2, indicando os dias em que ocorreram formação das cúspides nos setores sul e norte da área de estudo.	29
Figura 16 – Evolução diária do GRUPO 3, correspondentes aos momentos em que não houve formação de cúspide ao longo da face praia.	30
Figura 17 – Evolução diária das cúspides do GRUPO 4, que ocorreram na porção Norte da área de estudo.	30
Figura 18 – Evolução do período mensurado e modelado ao longo do mês de estudo, tendo uma medida por dia.	30

LISTA DE TABELAS

labela 1 – Evolução dos espaçamentos das cúspides do GRUPO 1, frente as condicionantes hidrodinâmicas.	26
labela 2 – Evolução dos espaçamentos entre as cristas das cúspides do GRUPO 2, condicionados pelas forçantes hidrodinâmicas.	26
labela 3 – Dias correspondentes ao GRUPO 3 e forçantes hidrodinâmicas. . .	26
labela 4 – Evolução dos espaçamentos das cúspides do GRUPO 4, frente as condicionantes hidrodinâmicas.	29
labela 5 – Resumo dos setores de ocorrência das cúspides e seus respectivos valores de direção de onda, período de pico e altura significativa. .	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	MORFODINÂMICA COSTEIRA E CÚSPIDES PRAIAIS	11
1.2	JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
2	MATERIAIS E MÉTODOS	17
2.1	ÁREA DE ESTUDO	17
2.2	SISTEMA ARGUS DE VIDEOIMAGEMAMENTO	18
2.3	VÍDEO-IMAGENS	19
2.3.1	Imagem tipo <i>Snap</i>	19
2.3.2	Imagem tipo <i>Timex</i>	20
2.4	LEVANTAMENTO, ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS	20
2.5	DIGITALIZAÇÃO DAS CÚSPIDES E REGIÃO DE INTERESSE (R.I.)	21
2.6	EQUAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO PERÍODO	22
2.7	DECLIVIDADE DA PRAIA	22
3	RESULTADOS	24
3.1	CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS DA ÁREA	24
3.1.1	Dados de onda	24
3.2	EVOLUÇÃO DAS CÚSPIDES	24
3.3	PERÍODO CALCULADO	28
4	DISCUSSÃO	31
4.1	EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DAS CÚSPIDES	31
4.2	PERÍODO DE PICO T	33
5	CONCLUSÕES	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 MORFODINÂMICA COSTEIRA E CÚSPIDES PRAIAIS

Os processos morfodinâmicos costeiros são ligados, principalmente, às forças naturais e antrópicas. Costas formadas por material arenoso inconsolidado, são, em geral, ambientes bastante dinâmicos (WRIGHT; SHORI, 1984), respondendo rapidamente a variantes hidrodinâmicas. Mudanças morfológicas ocorrem em consequência da interação entre a topografia e o material sedimentar com os agentes físicos modeladores: ondas, ventos, marés e correntes costeiras (VOUSDOKAS, 2012).

Os componentes mais importantes de um sistema morfodinâmico costeiro são: a variabilidade espaço-temporal, as características dos sedimentos, os mecanismos de ajustes lineares e não lineares, as respostas morfológicas de grande e pequena escala e a evolução morfológica de curto e longo prazo. A morfologia costeira é resultado da redistribuição e retroalimentação sedimentar, como consequência dos processos de interação entre agentes externos e topografia local. Esses ajustes ocorrem porque o sistema está constantemente buscando uma situação de equilíbrio, a fim de alcançar a estabilidade máxima (WRIGHT; THOM, 1977).

A não linearidade da morfodinâmica dos ambientes costeiros implica em respostas diferentes aos mecanismos de retroalimentação positiva e negativa, sendo a positiva atribuída a um momento de elevação das instabilidades, conferindo a auto-organização (WERNER; FINK, 1993; COCO et al., 2003) do sistema. Já a retroalimentação negativa é caracterizada por uma menor energia, mantendo o equilíbrio através da autorregulação (WERNER; FINK, 1993).

É nesse ambiente enérgico que algumas feições morfológicas se apresentam na face praial, entre elas estão as cúspides praiais (figura 1). Estas são resultantes do processo de espraiamento das ondas sobre a praia e consequente interação com o material arenoso que compõe o sedimento. Tais feições percorrem toda a face praial (GALEN et al., 2011) e possuem interação direta com os processos energéticos da zona de surfe (NOLAN; KIRK; SHULMEISTER, 1999).

A forma das cúspides praiais é caracterizada por extensões salientes íngremes, chamadas de chifres (*horn*) ou cristas (Figura 2). São separadas por suaves depressões curvas, o chamado embaimento (cava) de cúspides. Estes padrões sinusoidais quase regulares desenvolvem-se na zona intermaré e são descritos como espaçamento entre cristas adjacentes, que podem variar desde centímetros (KOMAR, 1973) até 100 m (SALLENGER, 1979; KOMAR, 1973; VOUSDOKAS, 2012; GARNIER et al., 2010).

As características dessa feição rítmica dependem do tamanho do grão, do ângulo de inclinação da praia, da variação da maré e da incidência de ondas (ALMAR et

Figura 1 – Imagem oblíqua média, indicando as cúspides praias em destaque na zona de berma, durante a preamar.



FONTE: O autor, 2019.

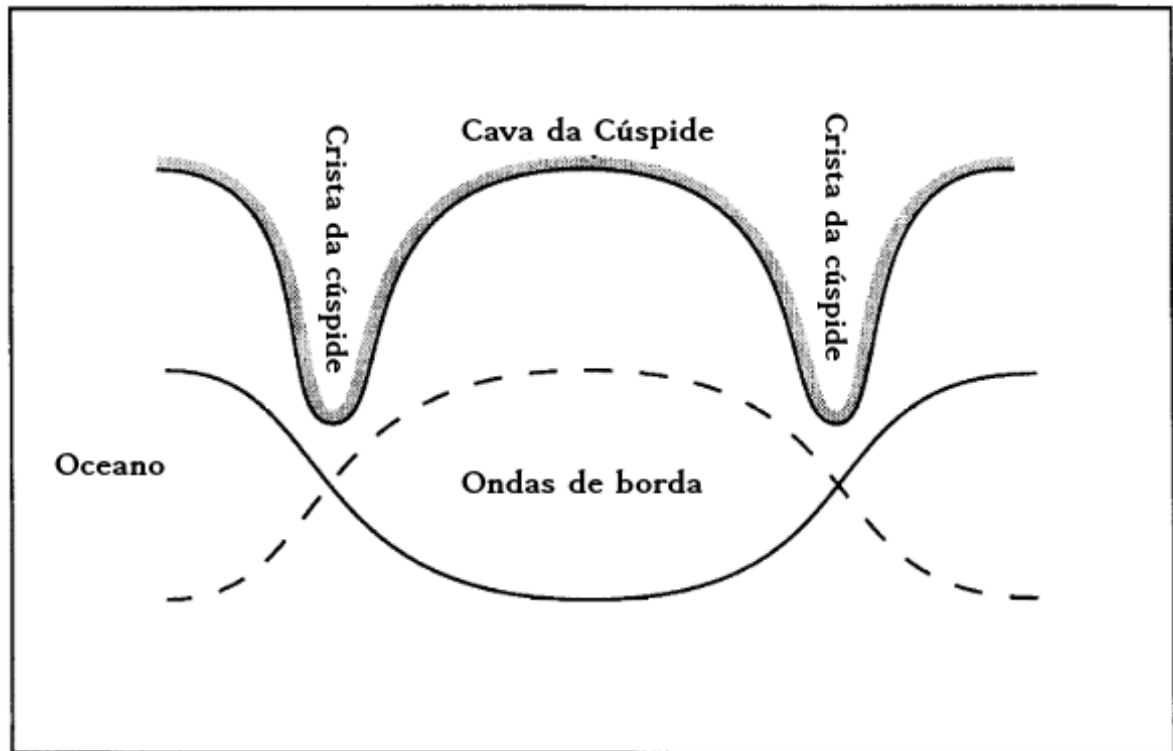
al, 2008; WERNER; FINK, 1993; SENECHAI et al, 2014; HOLLAND, 1998). Em geral, as cúspides respondem rapidamente às mudanças hidrodinâmicas (MASSELINK; HEGGE; PATIARATCHI, 1997).

Ao longo dos últimos 30 anos, diversos estudos focaram nos mecanismos de formação e morfologia das cúspides praias, a fim de descrever as relações entre as forçantes hidrodinâmicas e o espaçamento entre as cristas das cúspides (COCO; HUNTLEY; O'HARE, 2000; GUEDES et al, 2011; MASSELINK; HEGGE; PATIARATCHI, 1997; VOUSDOKAS et al, 2009; KOMAR, 1973; WRIGHT; SHORT, 1984). Modelos quantitativos e preditivos para a formação de cúspides praias foram desenvolvidos (COCO et al, 2003).

Os estudos se concentraram em atribuir a responsabilidade do processo de formação da feição a um modelo de atuação de ondas estacionárias na praia (COCO et al, 2003) ou a um mecanismo de retroalimentação auto-organizada entre o fluxo de *swash* e topografia (COCO et al, 2003; WERNER; FINK, 1993). Ao modelo de onda estacionária dá-se o nome de: Teoria das ondas de borda (*Edge Waves*); e a

retroalimentação auto-organizada é chamada de: Teoria da Auto-organização (*Self Organization*) (VOUSDOKAS, 2012; WRIGHT et al, 1979; ALMAR et al, 2008; INMAN; GUZA, 1982).

Figura 2 – Esquema sobre as cristas e as cavas das cúspides e a ilustração da onda de borda.



Fonte: Adaptado de Holland e Holman (1996).

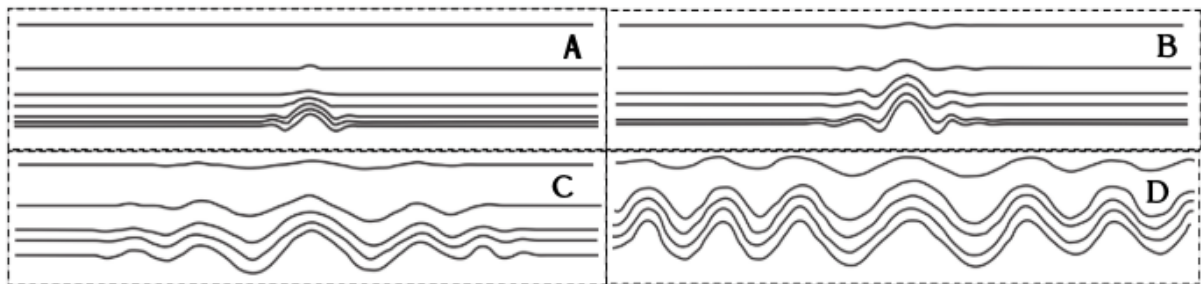
A teoria de ondas de borba é baseada numa interação, na zona de surfe, entre as ondas incidentes e as ondas formadas perpendicularmente à linha de costa, denominadas ondas de borda. Essas ondas de borda ficam aprisionadas entre a zona de surfe e a praia e quando duas delas, com direções opostas, se juntam, uma onda de borda estacionária é formada. As ondas incidentes possuem uma altura quase uniforme, mas quando colidem com uma onda de borda (aprisionada), isso é alterado. (GUZA; INMAN, 1975)

As ondas de borda mais comuns são sub-harmônicas (GUZA; INMAN, 1975; WRIGHT et al, 1979; HOLLAND; HOLMAN, 1996) e podem ter um período de onda duas vezes maior do que as ondas incidentes, gerando um sistema complexo de ondas. Enquanto as ondas incidentes completam um ciclo da crista a cava, as ondas de borda completam dois. Essencialmente, isso significa que há uma série regularmente espaçada de elevação e diminuição ao longo do comprimento da onda incidente, que

são causados por sua interação com as ondas de borda e é esse processo que causa o desenvolvimento das cúspides praias (GUZA; INMAN, 1975; HOLLAND, 1998).

Já a teoria da Auto-Organização (Figura 3) é basicamente uma interação entre o fluxo hidrodinâmico e a topografia da área. Dois pontos principais da teoria procuram explicar a formação das cúspides praias regularmente espaçadas.

Figura 3 – Evolução de cúspides praias segundo a teoria de auto-organização.



Fonte: Santos (2015)

Nota: A) interação preliminar entre o fluxo hidrodinâmico e a topografia ; B) aumento da feição, resultado da interação do espraimento com a topografia; C) aparecimento de feições similares nas adjacências, geradas pela interação do espraimento com a nova topografia; D) interação completa entre topografia e espraimento, aparecendo uma feição rítmica ao longo da face praias.

O primeiro ponto concerne ao fato de que a retroalimentação positiva entre a morfologia da praia e o fluxo hidrodinâmico cria padrões de relevo, de modo que áreas com o relevo mais elevado diminuem a velocidade do espraimento e sedimentos são depositados sob ele, criando as cristas (*horn*) (HOLLAND, 1998; NOLAN; KIRK; SHULMEISTER, 1999; GARNIER et al., 2010).

O segundo ponto principal sobre o espaçamento das cúspides é que a retroalimentação negativa irá diminuir a erosão hidrodinâmica e haverá uma deposição dentro da cúspide formada. Quando a onda atinge a praia, ela entra em contato com as cristas das cúspides, reduzindo a velocidade da água. Isso faz com que haja perda de energia e alguns grãos mais pesados, dos sedimentos transportados, sejam depositados (HOLLAND, 1998; NOLAN; KIRK; SHULMEISTER, 1999; GARNIER et al., 2010).

As praias são áreas de altas atividades morfológicas e ao longo das últimas décadas (NOLAN; KIRK; SHULMEISTER, 1999; GARNIER et al., 2010; CIRIANO, 2005; AAGAARD; GREENWOOD; HUGHES, 2013; MASSELINK; HEGGE; PATIARATCHI, 1997; WRIGHT; SHORT, 1984) tem recebido atenção dos engenheiros costeiros e geólogos, nos estudos dos processos de erosão e recuperação do litoral, os quais podem ser inferidos a partir da observação das cúspides ao longo da costa (VOUS;

DOUKAS, 2012). No tocante à acresção/erosão praial, é possível identificar mudanças na topografia da praia e no movimento sedimentar, o que influencia na percepção do comportamento de todo o sistema (MUEHE, 2006; MASSELINK; HEGGE; PATTIARATCHI, 1997; MASSELINK; PATTIARATCHI, 1998; VOUSDOKAS, 2012).

A análise das cúspides praias utilizando vídeo imageamento é recente, contudo, a maioria dos trabalhos foram realizados em ambientes de micromaré (ALI; DARSAN; WILSON, 2017; SANTOS, 2015; GUEDES et al, 2011). Dessa maneira, este trabalho destina-se a aplicação desta ferramenta no estudo da morfodinâmica de cúspides em um praia urbana de mesomaré, com visíveis problemas de erosão costeira (LEAL, 2006).

1.2 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

O adensamento populacional nas áreas urbanas do litoral, bem como a desordenada ocupação da costa, alertam para a necessidade de um adequado gerenciamento costeiro.

Tendo em vista que a praia é a primeira região de interface entre terra/água, consiste em um ambiente sedimentar e deposicional e sua morfologia desempenha papel mitigador dos efeitos hidrodinâmicos incidentes na costa, se faz necessária a realização de estudos no tocante à compreensão do funcionamento desse sistema.

Um dos principais aspectos de análise nesse ramo corresponde à verificação da erosão costeira, pois suas modificações impactam direta ou indiretamente nas regiões adjacentes, as quais apresentam construções rígidas como hotéis e edifícios residenciais, características essas encontradas na Praia de Boa Viagem.

Uma feição morfológica que prediz muito sobre as condições morfodinâmicas da praia e que é pouco estudada no Brasil, são as cúspides praias. A interação hidrodinâmica é responsável por alterar a morfologia da praia (em termos de largura e volume de sedimento), ou seja, ao se falar de alteração do volume sedimentar, implica, então, em falar de momentos erosivos ou deposicionais no sistema. Os processos responsáveis pela formação das cúspides são os mesmos processos que acarretam na erosão da linha de costa, logo, a compreensão da morfodinâmica das cúspides auxiliam na compreensão dos momentos de erosão e deposição no sistema.

Nesse contexto, este trabalho visa estudar a variação morfodinâmica das cúspides na praia de Boa Viagem através de vídeo monitoramento, compreendendo o seu comportamento de forma que o conhecimento gerado possa auxiliar no adequado manejo da costa.

1.2.1 Objetivo geral

- Verificar a variabilidade morfodinâmica das cúspides praias em uma praia de mesomaré através de vídeo imageamento.

1.2.2 Objetivos específicos

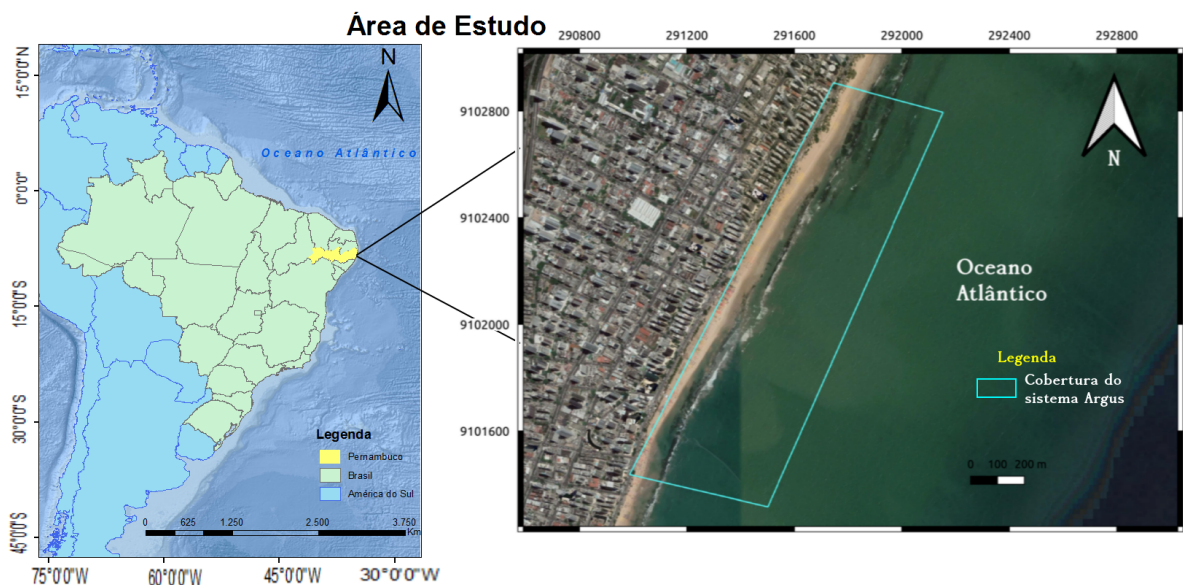
- Analisar os possíveis processos de formação das cúspides;
- Determinar o comportamento das cúspides frente as ondas incidentes;
- Estudar a evolução e posicionamento das cúspides ao longo da área de estudo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange um setor da praia de Boa Viagem, localizada na zona sul da cidade do Recife, na costa Nordeste do Brasil entre as coordenadas 8, 09° S e 8, 15° S de latitude e 34, 88° O e 34, 90° O de longitude (Figura 4).

Figura 4 – Área de estudo em destaque o trecho que compreende ao alcance das câmeras do sistema Argus.



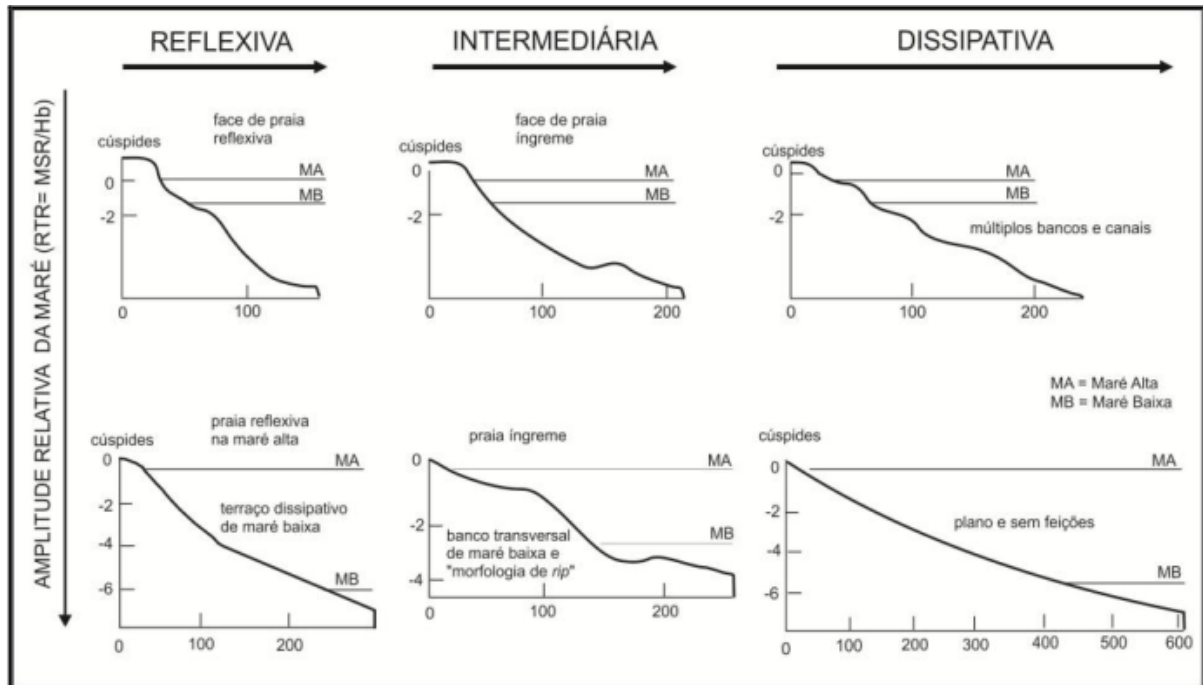
Fonte: O autor, 2019.

As praias do litoral pernambucano, tem como particularidade, a presença de recifes de arenito paralelos à costa (MANSO, 2003). A área de estudo possui duas linhas de recifes, sendo uma mais interna próxima a face da praia e uma mais externa, separada da primeira por um canal. O recife interno, subsequente à praia, possui medidas de 100 m de largura e 2, 8 m do fundo ao topo. O canal entre os recifes possui 400 m de comprimento e profundidade de 8 m. Já o recife externo possui 1,1 km de largura e 3, 5 m de profundidade do fundo ao topo (COSTA et al, 2016).

A praia de Boa Viagem possui características de praia intermediária, segundo a classificação de Wright e Short (1984) (Figura 5). Para Pereira et al (2016), praias que apresentam recifes localizados na margem e na zona de arrebentação, apresentam perfil de praia de baixa gradação (modificadas pela ação da maré) e ausência de zona de arrebentação ou características tridimensionais, como é o caso da praia de Boa Viagem. No inverno o perfil é caracterizado por uma praia reflexiva de maré alta, com terraço de maré baixa (PEREIRA et al, 2016). Está submetida a um regime de mesomaré de ciclo semidiurno, com variações médias de até 2,07m (COSTA et al,

2016).

Figura 5 – Classificação dos estados morfodinâmicos de praias considerando a variação relativa das marés.



(Modificado por Masselink Turner, 1999; Masselink Short, 1993.) Fonte: Souza et al (2005).

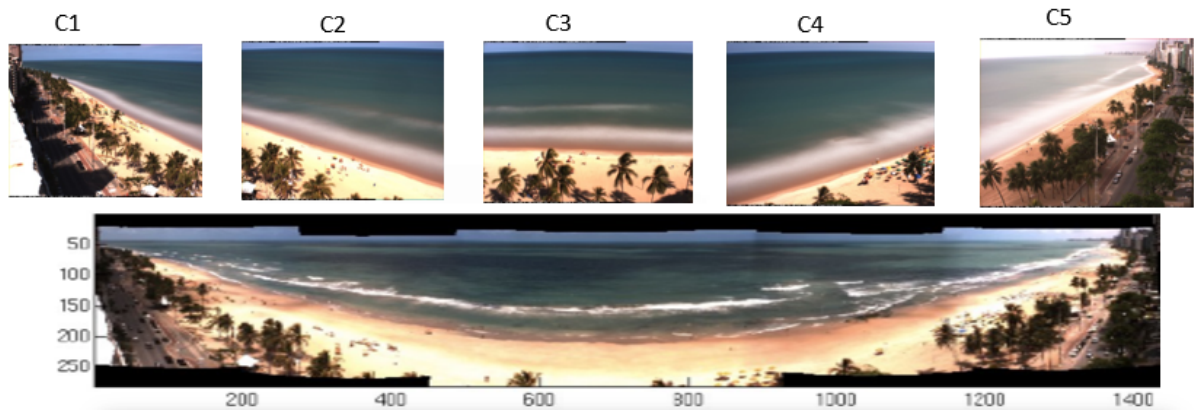
Em termos granulométricos, segundo a classificação de Wentworth (1922) os grãos são classificados em: cascalho (-1ϕ), areia muito grossa (-1 a 0ϕ), areia grossa (0 a 1ϕ), areia média (1 a 2ϕ), areia fina (2 a 3ϕ), areia muito fina (3 a 4ϕ). O tamanho do grão depende da natureza do material envolvido, do tempo e da distância do transporte (GREGÓRIO, 2004). Na praia de Boa Viagem, os sedimentos são classificados desde areia muito fina a areia média (GREGÓRIO, 2004).

2.2 SISTEMA ARGUS DE VIDEOIMAGEAMENTO

O sistema Argus de video-imageamento é um sistema de aquisição de dados remotos (imagens) a partir de câmeras instaladas na área de interesse. Esse sistema foi desenvolvido por pesquisadores do *Coastal Imaging Laboratory* (CIL) da *Oregon State University* (OSU) nos Estados Unidos. As imagens utilizadas no presente estudo foram obtidas da estação Argus de Boa Viagem, que possui um conjunto de 5 câmeras (C1, C2, C3, C4 e C5) oblíquas fixas, instaladas no topo do Edifício Hotel Jangadeiro a aproximados 42 m de altura (Figura 6). Os frames obtidos pelas câmeras são processados pelo conjunto de softwares desenvolvidos para o sistema Argus,

para que a imagem obtida seja calibrada e validada de acordo com a realidade e assim permitir a valoração de fenômenos oceanográficos.

Figura 6 – Mosaico ilustrando as imagens capturadas por cada uma das 5(cinco) câmeras que compõem o sistema Argus (cobertura de 180°) e abaixo o mosaico formado pela composição destas.



Fonte: O autor, 2013.

O detalhamento acerca do modelo matemático utilizado para a ortoretificação das imagens do sistema Argus pode ser encontrado em (HOLLAND et al, 1997). O tratamento base das imagens do sistema envolve um modelo de calibração das câmeras e retificação das imagens, georreferenciamento e junção das imagens mosaíadas. A retificação converte as imagens oblíquas obtidas, em imagem retificadas em duas dimensões (SOUZA, 2017).

As imagens são corrigidas para distorção, principalmente nos pontos distantes do centro focal, mas a área que cada pixel representa é padronizada. Com isso, distâncias medidas nas imagens são equivalentes a distâncias no ambiente real.

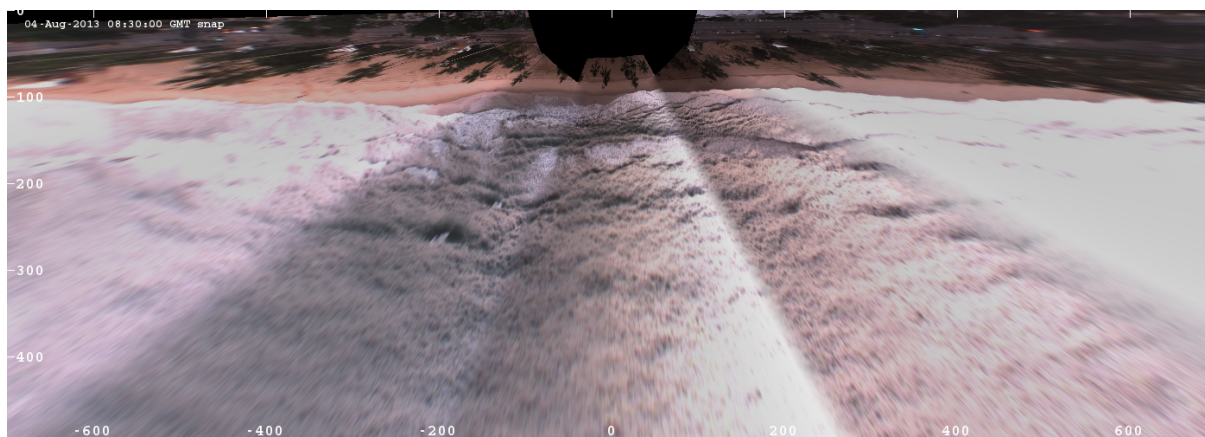
2.3 VÍDEO-IMAGENS

O período de aquisição de dados durou 31 dias. As câmeras capturam imagens nos 10 primeiros minutos de cada hora de luz do dia a uma frequência de dois Hz (*Hertz*) por segundo, durante 10 minutos, gerando basicamente os seguintes produtos (HOLMAN; STANLEY, 2007):

2.3.1 Imagem tipo *Snap*

É a imagem instantânea (Figura 7) de um único frame capturado no início de cada hora.

Figura 7 – Imagem retificada, instantânea, capturada no começo de cada hora.

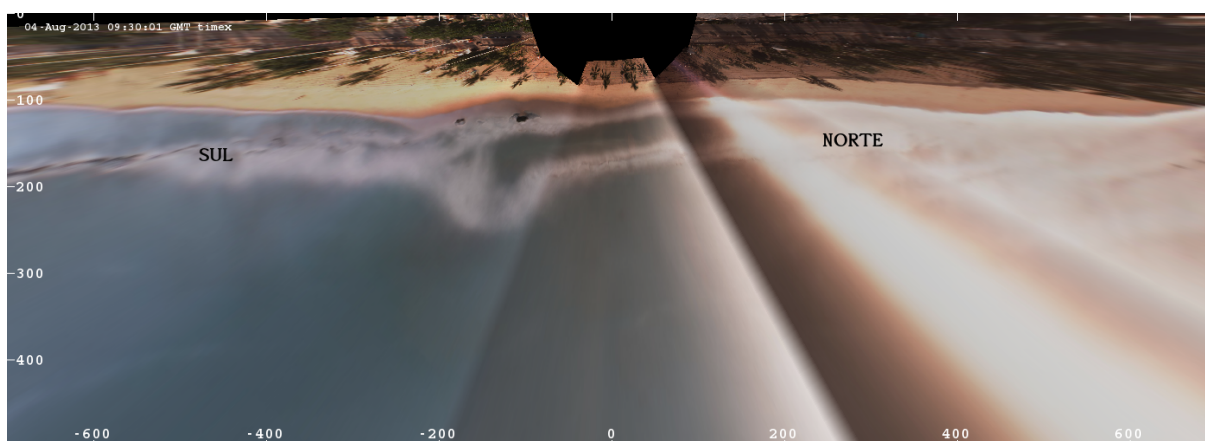


Fonte: O autor, 2013.

2.3.2 Imagem tipo *Timex*

É a imagem de longa exposição (Figura 8) obtida através da média dos 10 minutos de frames capturados a cada hora. Nessa imagem foi feita a divisão da praia em 2 setores : SUL (à esquerda da imagem) que vai de 0 até -600 metros e NORTE (à direita da imagem) que vai de 0 até 600 metros, de modo a melhorar a análise das cúspides formadas.

Figura 8 – Imagem *Timex*, mostrando a média de 10 minutos de *frames* e a divisão da área de estudo nos setores SUL e NORTE.



Fonte: O autor, 2019.

2.4 LEVANTAMENTO, ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

O monitoramento das cúspides da praia de Boa Viagem, foi realizado por meio da análise das imagens de vídeo da estação Argus da praia Boa Viagem, durante o mês de agosto do ano de 2013. A imagem escolhida para digitalização das cúspides

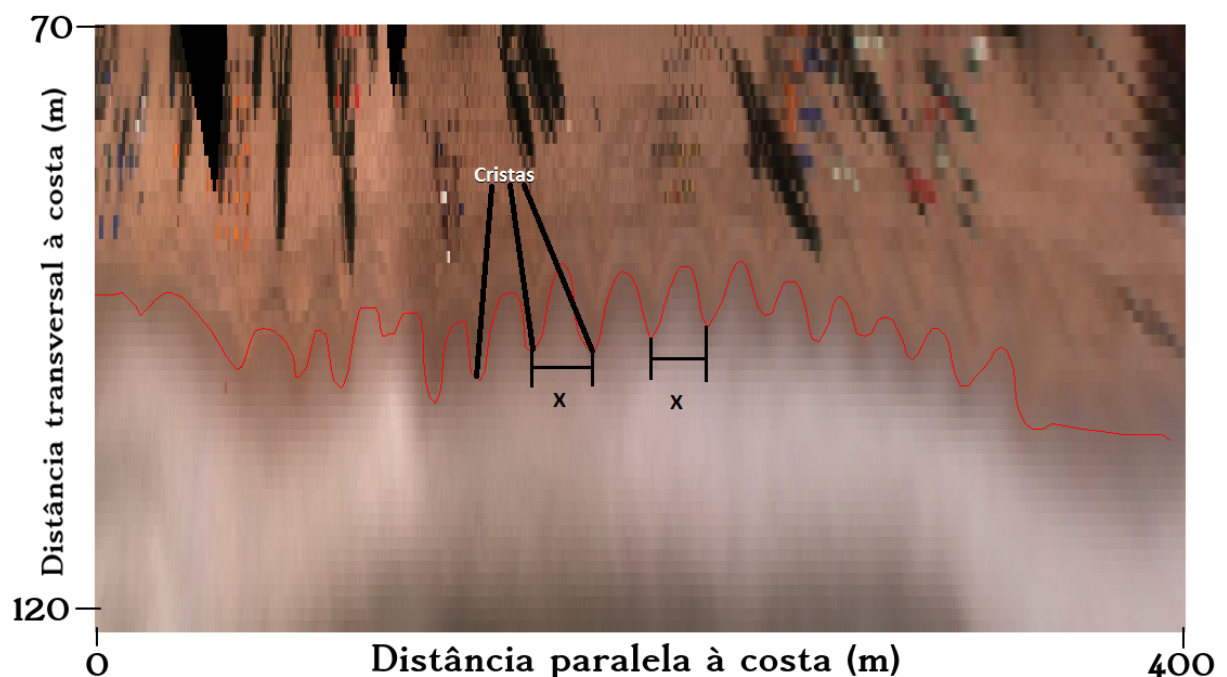
foi a imagem de longa exposição *Timex* (Figura 8), utilizando uma imagem por dia, no momento de preamar e a imagem *timex*, por ser uma composição média de 10 minutos de frames capturados, se mostra mais adequada para o presente trabalho.

Para determinação do padrão das cúspides foi necessária a análise da dinâmica das ondas que incidiram na praia de Boa Viagem durante o período estudado. Os dados referentes a altura significativa das ondas (H_s), ao período de pico (T_p) e a direção das ondas (Dir) foram obtidos por meio de um ondógrafo direcional instalado ao largo da praia de Boa Viagem a aproximados 60km da costa que faz parte do Programa Nacional de Boias (PNBOIA) da Marinha do Brasil. Concomitantemente foram analisados dados de vento como sua intensidade em metros por segundo (m/s), sua direção em graus ($^\circ$) ao longo do mês estudado, a fim de comparação com os dados de onda para uma possível correlação entre a ação do vento e a formação e direção das ondas.

2.5 DIGITALIZAÇÃO DAS CÚSPIDES E REGIÃO DE INTERESSE (R.I.)

Para melhor análise, detecção das cúspides e digitalização das imagens *Timex*, foi definida uma Região de Interesse (R.I.)(Figura 9).

Figura 9 – Imagem com zoom na região da Berma, durante a preamar. Mostrando assim a região de interesse, os espaçamentos entre as cristas das cúspides (λ) e em vermelho a linha de cúspides já digitalizada.



Fonte: O autor, 2019.

2.6 EQUAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO PERÍODO

A partir da obtenção do valor do espaçamento entre as cúspides (comprimento de onda) foi estimado, de forma inversa, o período da onda utilizando seguinte equação (VOUSDOUNKAS, 2012):

$$\lambda = m \frac{g}{\pi} T^2 \sin(\beta) \quad (2.1)$$

onde:

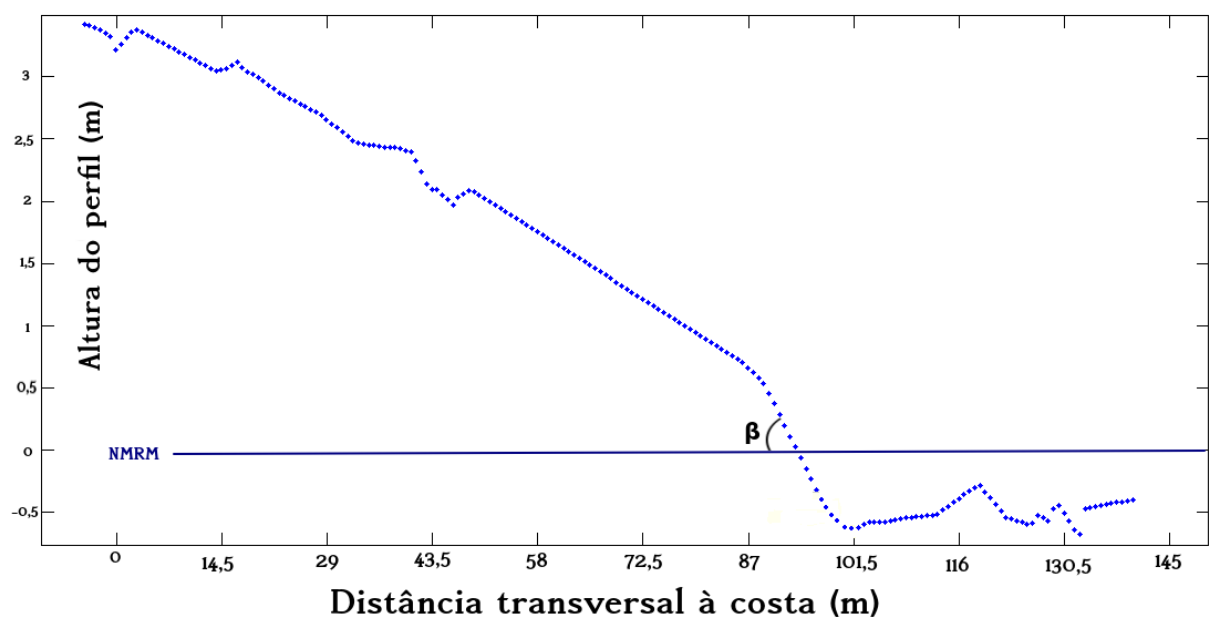
λ é o espaçamento entre duas cristas (o equivalente ao comprimento de onda); m é uma constante que equivale a 1; g = aceleração da gravidade; T = Período das ondas e β = declividade da praia.

Fornecendo à equação os valores de declividade da praia e espaçamento entre as cristas das cúspides, é possível de maneira indireta, avaliar os prováveis processos hidrodinâmicos formadores e mantenedores das cúspides.

2.7 DECLIVIDADE DA PRAIA (β)

Foi realizado o levantamento topográfico da praia através de caminhamento com auxílio de GPS cinemático modelo R3 fabricado pela *Trimble*. Desse caminhamento foram escolhidos 3 perfis, distribuídos na porção norte da área de estudo, outro perfil na região central e por último na porção sul. Após a seleção dos três perfis, foi realizada uma média entre esses e foi gerado um perfil médio para a área de estudo (Figura 10).

Figura 10 – Perfil médio para a área de estudo.



Fonte: O autor, 2019.

Como β é o ângulo de inclinação do perfil, para determinar a declividade da praia (β), foi utilizado um simples cálculo do Arctan (arco tangente) da razão entre o eixo Y e o eixo X, ou seja, $\beta = \arctan(Y / X)$

3 RESULTADOS

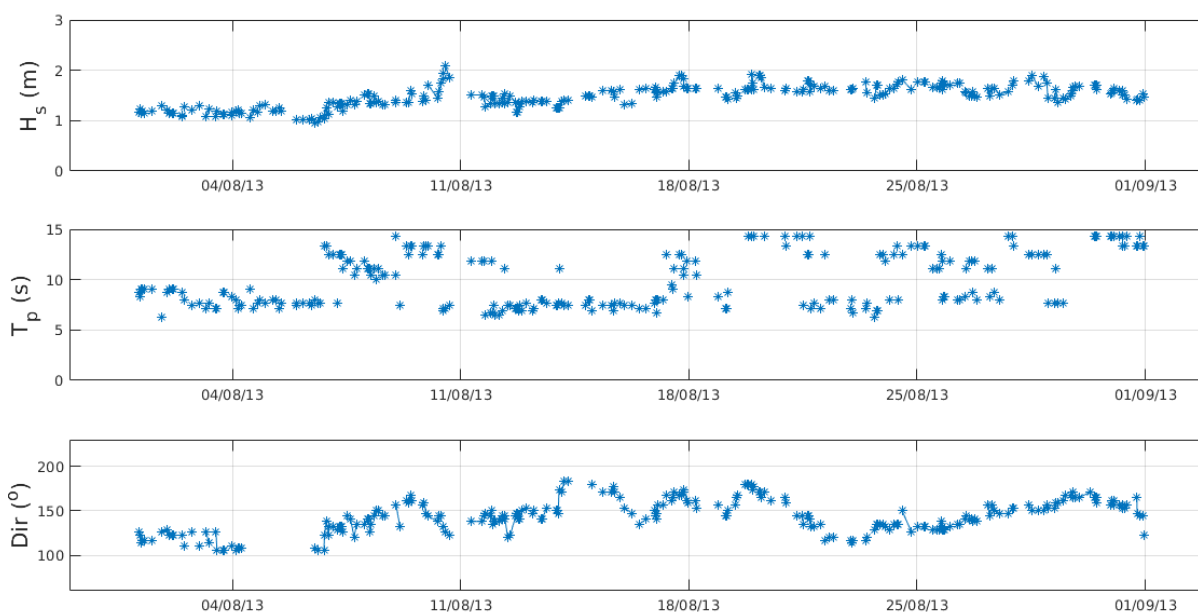
3.1 CONDIÇÕES OCEANOGRÁFICAS DA ÁREA

3.1.1 Dados de onda

Na costa do estado de Pernambucano, o mês de agosto se caracteriza por maior intensidade do vento e eventos de *Swell* (BARBER; URSELL, 1948), significando um momento de maior energia do ambiente e elevada atividade das ondas.

De acordo com a (Figura 11) pode-se perceber que durante o mês de agosto há alguns momentos onde o período de pico das ondas (T_p) se eleva, como entre os dias 8 a 10 e 18 a 22, indicando assim momentos de intensificação das ondas, chegando, nesses momentos, a haver uma elevação na altura significativa (H_s), margeando os 2m de altura. Durante o período estudado a H_s das ondas variou entre 1,1 - 1,7 m, enquanto que o T_p variou entre 7,3 - 14,3 s.

Figura 11 – Dados de onda: H_s (m), T_p (s) e $Dir(^{\circ})$.



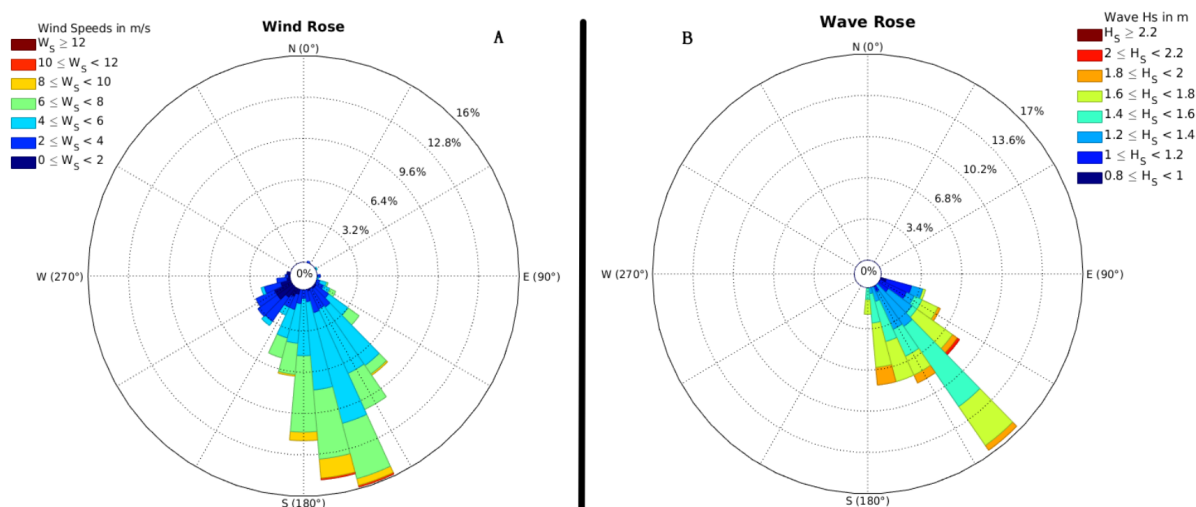
Fonte: O autor, 2013.

Os dados de direção e intensidade do vento (Figura 12 A) e de direção e altura significativa de onda (Figura 12 B), possibilitam a inferência de onde advem essas forças. As ondas tiveram direção SE (sudeste) ou 150° , enquanto os ventos tiveram direção predominante de S/SE (Sul/Sudeste) ou 177° .

3.2 EVOLUÇÃO DAS CÚSPIDES

Através da análise de 31 dias de vídeo monitoramento, a observação das imagens capturadas evidenciaram 4 padrões com a presença ou ausência das cúspides.

Figura 12 – Dados de direção e intensidade do vento (A) e direção e altura significativa de ondas (B), Ambos correspondem à direção de onde vem o vento e as ondas.



Fonte: O autor, 2019.

As cúspides na região sul da praia ocorreram em 18 (dezoito) dias, em 5 (cinco) dias não houve formação das cúspides, durante 4 (quatro) dias houve formação das cúspides nas regiões norte e sul da praia e em 4 (quatro) dias as cúspides ocorreram na porção norte.

Para interpretar os dados, as imagens digitalizadas (com as cúspides demarcadas) foram sobrepostas e agrupadas em 4 (quatro) grupos: o GRUPO 1, que apresentou formação de cúspides na porção sul da praia (Figuras 13 e 14), o GRUPO 2 que apresentou a formação das cúspides em ambos setores (Figura 15), o GRUPO 3 que não apresentou formação de cúspide (Figura 16) e o GRUPO 4 que apresentou cúspides na porção norte (Figura 17).

De modo a resumir os valores correspondentes às forças hidrodinâmicas e o padrão de ocorrência das cúspides, os dados foram agrupados e expostos nas tabelas (1, 2, 3 e 4).

Na maioria dos dias do mês de Agosto de 2013, as ondas mantiveram-se constantes apresentando valores médios de: $Dir = 145^\circ$, período mensurado $T_0 = 10$ s, período modelado $T_i = 12$ s e $H_s = 1,51$ m. A formação de cúspides, então, concentrou-se na porção sul (Figura 13 14) da praia, apresentando $\lambda = 12,6$ m.

Nos dias 1, 3, 4 e 5, houve a formação das cúspides em todo o trecho praia. Esse padrão corresponde ao GRUPO 2 (Figura 15) com valores médios de: $Dir = 142^\circ$, $T_0 = 7,8$ s, $T_i = 17,5$ s e $H_s = 1,17$ m. Apresentando $\lambda = 28,18$ m. Chamando a atenção para as ainda pequenas oscilações (ao compararmos com o cenário da

Tabela 1 – Evolução dos espaçamentos das cúspides do GRUPO 1, frente as condicionantes hidrodinâmicas.

DIA	λ_{med} (m)	T_0 (s)	T_i (s)	H_s (m)	Dir_{med} onda (°)	A_{mare} (m)	Dir_{med} vento (°)	GRUPO
02/08/13	10,83	8,44	11,13	1,21	188,8	1,8	154,17	1
06/08/13	12,66	10,1	12,04	1,13	136,44	2,2	140,83	1
07/08/13	12,81	11,4	12,11	1,32	153,71	2,3	168,33	1
08/08/13	14,72	11,19	12,98	1,43	139,06	2,3	197,92	1
09/08/13	13,01	12,37	12,2	1,48	128	2,2	156,67	1
10/08/13	12,08	10,01	11,76	1,82	149,43	2,2	152,92	1
11/08/13	13,65	9,59	12,5	1,44	153,93	2,1	171,25	1
12/08/13	12,55	7,58	11,99	1,4	143,75	2,1	159,58	1
13/08/13	12,08	7,54	11,76	1,37	145	2	165,42	1
14/08/13	11,8	8,14	11,62	1,42	148,2	1,9	155	1
15/08/13	13,15	7,33	12,27	1,56	139,44	1,9	155,83	1
16/08/13	9,3	7,4	10,32	1,54	140	1,9	142,5	1
17/08/13	9,79	9,97	10,32	1,74	136,63	2	186,25	1
18/08/13	13,61	10,2	12,48	1,65	138,5	2,2	155	1
19/08/13	11,94	10,97	11,69	1,69	184,28	2,3	220,83	1
20/08/13	12,68	13,97	12,05	1,74	155,4	2,4	166,67	1
21/08/13	14,16	11,26	12,73	1,68	169,79	2,5	163,75	1
27/08/13	7,08	10,87	9	1,63	145,81	1,9	174,17	1

Tabela 2 – Evolução dos espaçamentos entre as cristas das cúspides do GRUPO 2, condicionados pelas forçantes hidrodinâmicas.

DIA	λ_{med} (m)	T_0 (s)	T_i (s)	H_s (m)	Dir_{med} onda (°)	A_{mare} (m)	Dir_{med} vento (°)	GRUPO
01/08/13	25,46	8,55	16,6	1,2	146,2	1,7	165,83	2
03/08/13	28,74	7,88	18	1,14	177,2	1,9	170,43	2
04/08/13	27,63	7,73	17,7	1,18	138,2	2	178,75	2
05/08/13	30,09	7,66	18,5	1,17	133,4	2,1	152,92	2

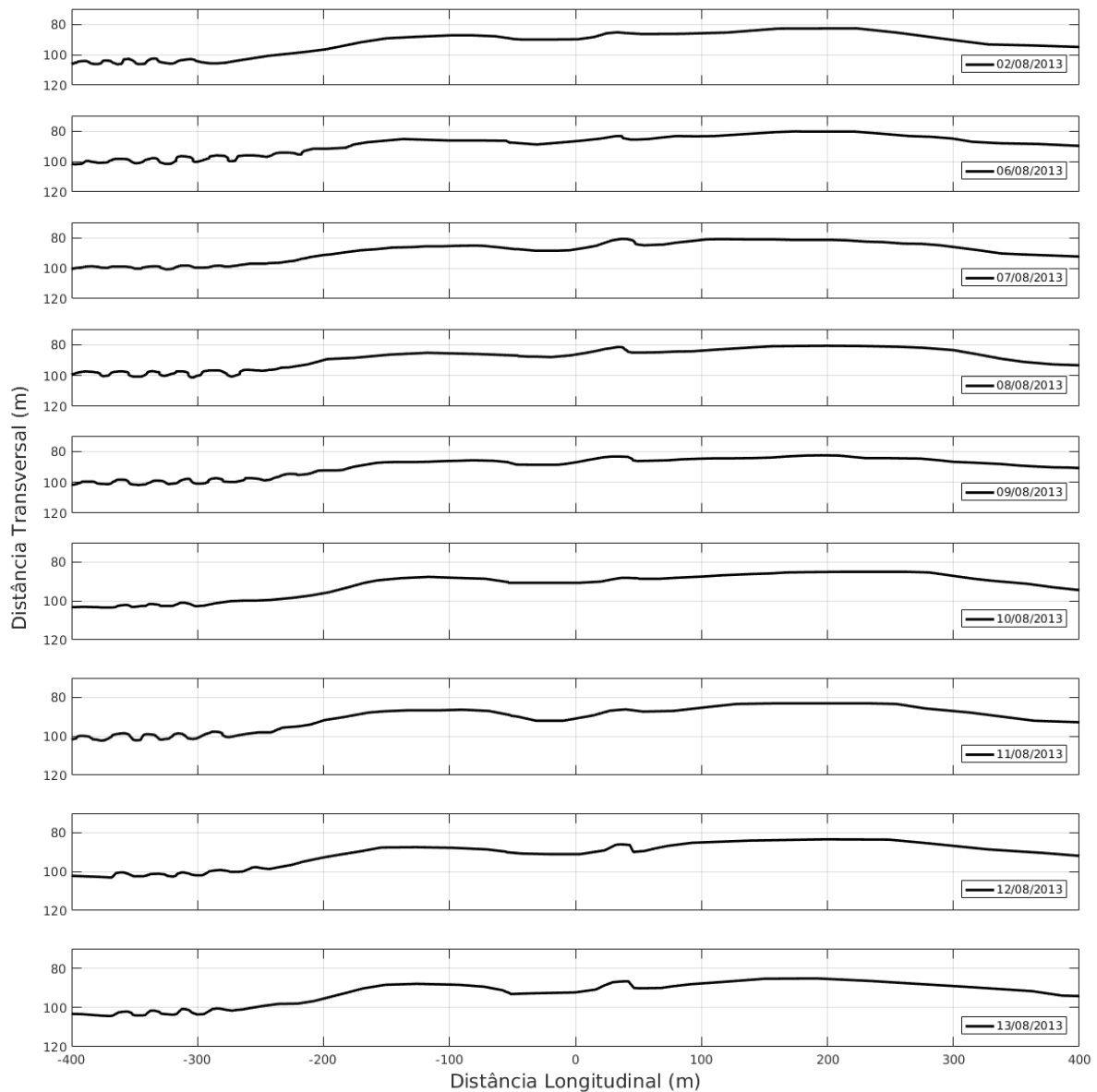
Tabela 3 – Dias correspondentes ao GRUPO 3 e forçantes hidrodinâmicas.

DIA	λ_{med} (m)	T_0 (s)	T_i (s)	H_s (m)	Dir_{med} onda (°)	A_{mare} (m)	Dir_{med} vento (°)	GRUPO
22/08/13	0	8,45	0	1,63	227,21	2,5	187,92	3
23/08/13	0	8,79	0	1,7	144,25	2,4	177,08	3
24/08/13	0	11,34	0	1,68	147,5	2,4	166,25	3
25/08/13	0	10,88	0	1,72	149,64	2,3	173,33	3
26/08/13	0	9,78	0	1,62	143,86	2,1	185	3

maioria dos dias do mês), destacando a semelhança morfológica entre as cúspides que ocorreram nos dois setores.

Ocorreu nos dias 22, 23, 24, 25 e 26, o chamado *set reset* (Figura 16), definição técnica quando não há formação das cúspides praiais. Esse padrão corresponde ao GRUPO 3 (Tabela 3). Foi um período adverso em comparação com os dois anteriores, pois apresentou as maiores oscilações quanto ao T_p e a Dir , mas mantendo a altura média (H_s med) das ondas entre 1.5-1.8_m, Dir = 170°(SSE), T_p = 12-18_s. Verificou-

Figura 13 – Evolução diária das cúspides do GRUPO 1 (formadas na porção sul) entre os dias 02/08 a 13/08.

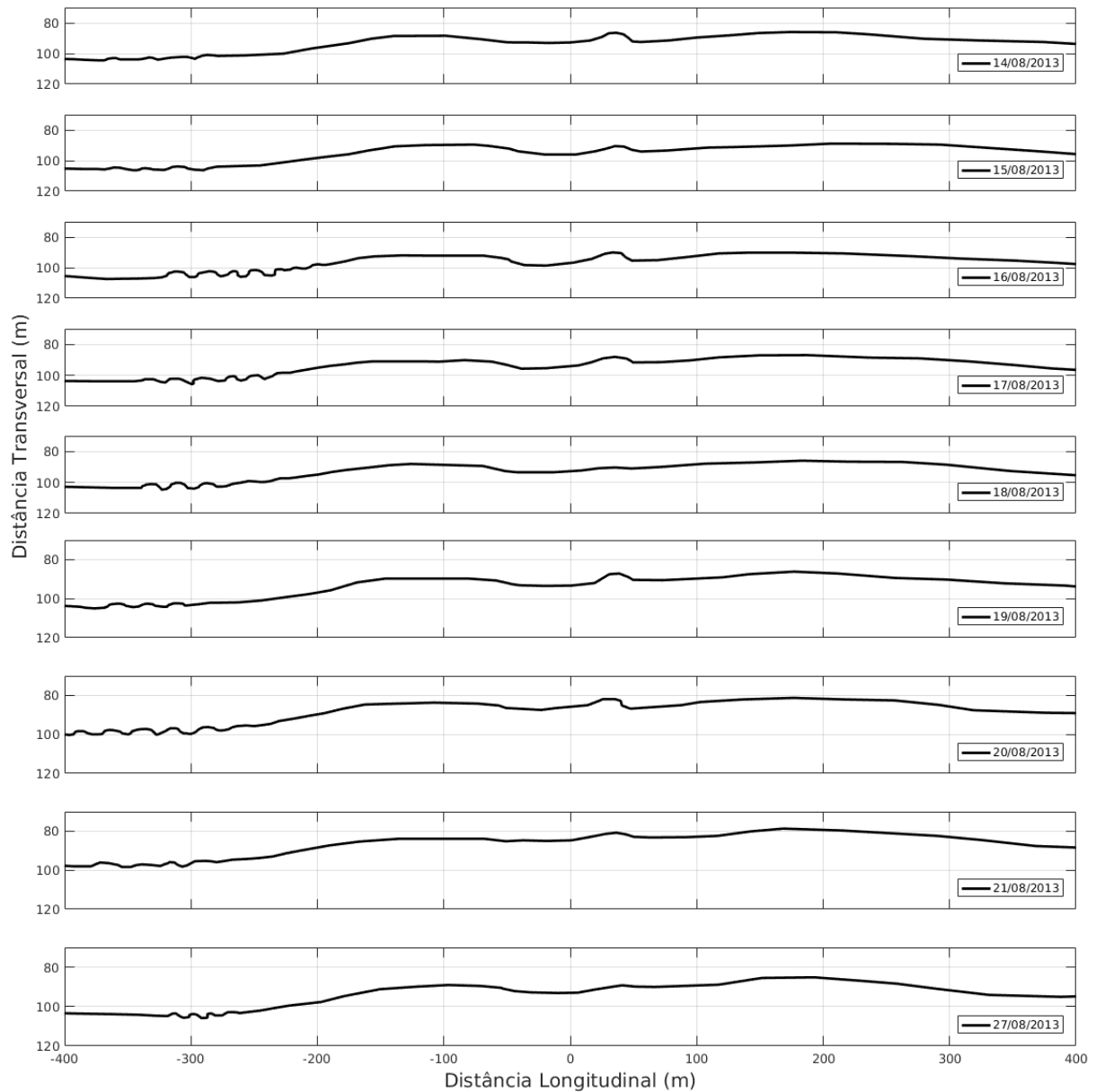


Fonte: O autor, 2019.

se uma grande variação (de até 30°) da direção das ondas como dito anteriormente, começando então um comportamento na direção SSE (sul/sudeste). É importante destacar os maiores valores quanto a amplitude de maré, chegando a preamares de até 2.5_m .

Os dias 28, 29, 30 e 31, correspondem ao GRUPO 4 (Tabela 4), momento em que a formação das cúspides concentrou-se na região norte da face praial (Figura 14). da praia, pois houve uma mudança no período de pico e na Direção de incidência das ondas, com valores médios de: $Dir = 147^\circ$, $T_0 = 13,15\text{ s}$, $T_i = 14,5\text{ s}$ e $H_s = 1,63\text{ m}$. Apresentando $\lambda = 19\text{ m}$.

Figura 14 – Evolução diária das cúspides do GRUPO 1 (formadas na porção sul) entre os dias 14/08 a 21/08 e o dia 27/08.



Fonte: O autor, 2019.

3.3 PERÍODO CALCULADO

Através do espaçamento entre as cristas das cúspides (λ), foi possível a obtenção do valor do período (T) de onda.

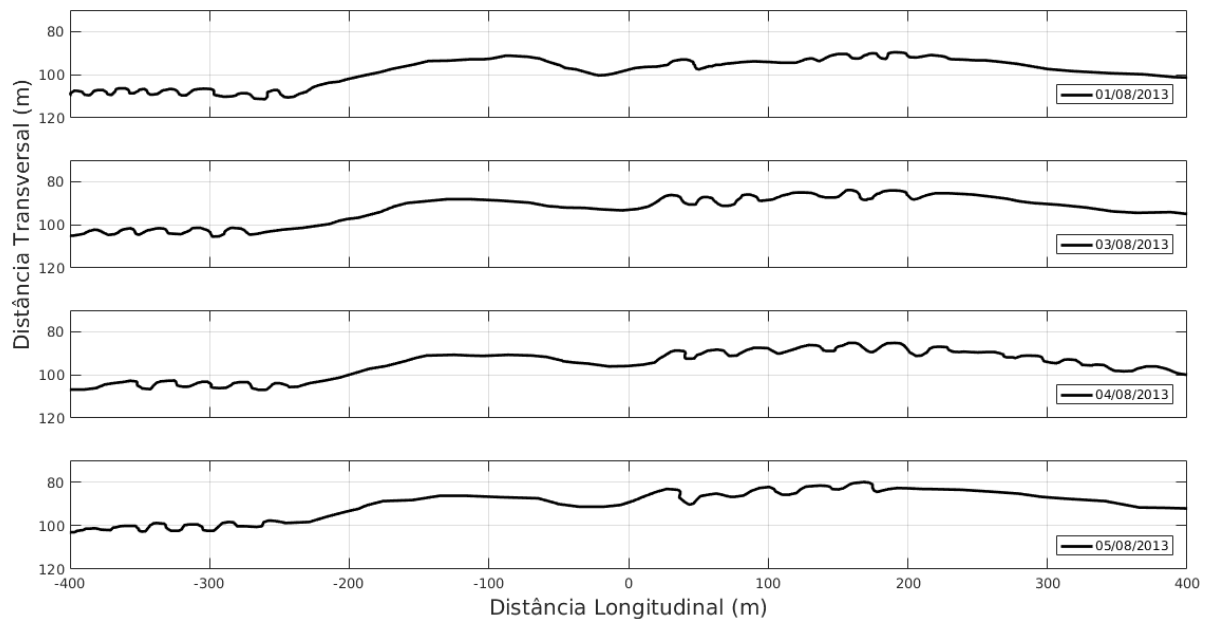
A determinação do período se faz importante, pois é através dela que podemos corroborar ou refutar a teoria da formação de cúspides, essas condicionadas pelas *Edge Waves*, bem como reafirmar a teoria da auto-organização como sendo formador das cúspides praias.

Debruçando-se sobre os valores obtidos do período, foi possível montar um

Tabela 4 – Evolução dos espaçamentos das cúspides do GRUPO 4, frente as condicionantes hidrodinâmicas.

DIA	λ_{med} (m)	T_0 (s)	T_i (s)	H_s (m)	Dir_{med} onda (°)	A_{mare} (m)	Dir_{med} vento (°)	GRUPO
28/08/13	18,16	12,5	14,4	1,8	145,81	1,7	204,17	4
29/08/13	12	8,38	11,7	1,63	152,43	1,6	187,5	4
30/08/13	19,5	14,3	14,6	1,64	137,63	1,6	180	4
31/08/13	25,56	13,8	17	1,55	148,79	1,7	165	4

Figura 15 – Evolução diária correspondentes ao GRUPO 2, indicando os dias em que ocorreram formação das cúspides nos setores sul e norte da área de estudo.

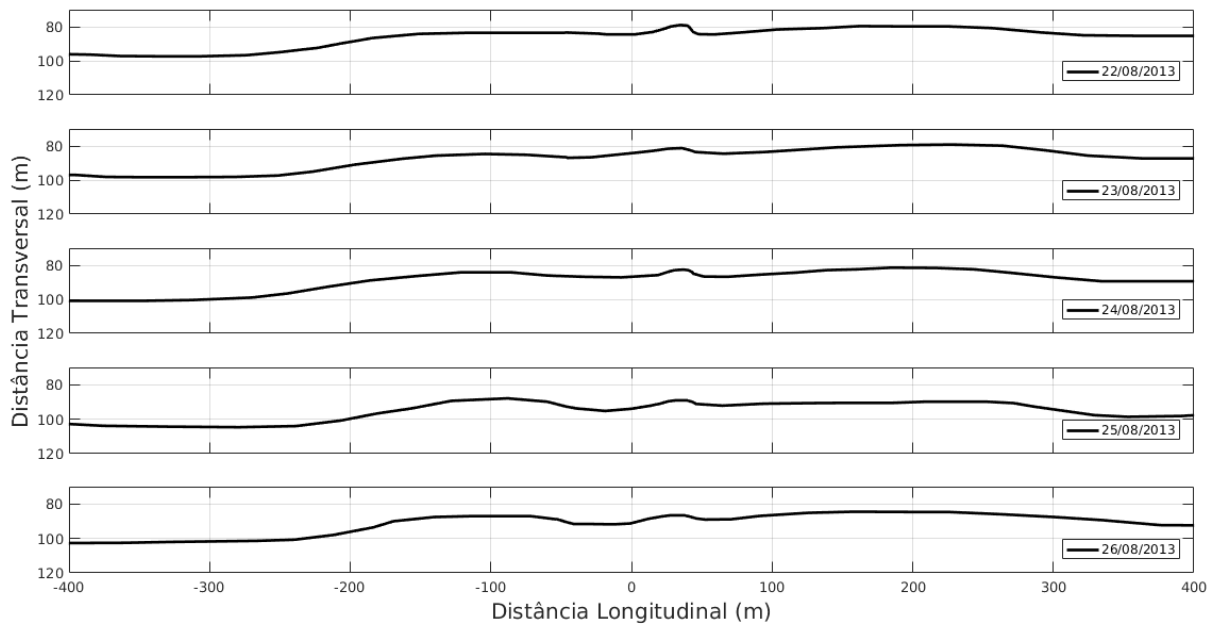


Fonte: O autor, 2019.

esquema (Figura 18) para representar graficamente os valores e o desvio padrão (DP) dos períodos constantes nas tabelas anteriores.

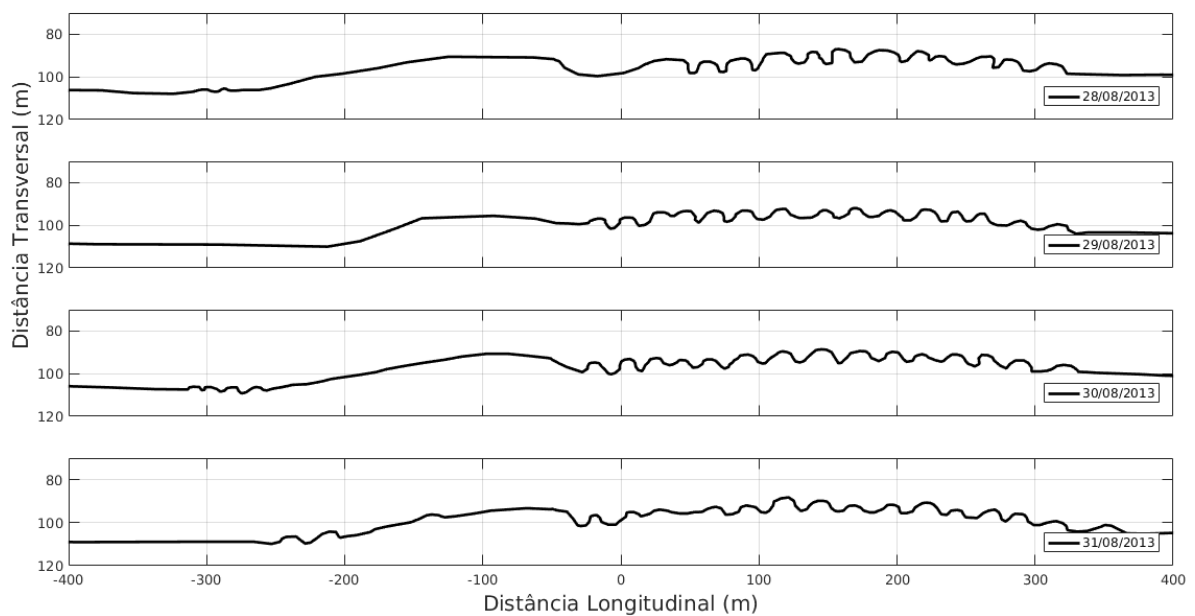
O período médio modelado ($\bar{T}_i$) foi de 10,91 s e o período médio mensurado ($\bar{T}_0$) foi de 9,95s com Desvio Padrão (DP) de $\pm 2,03$. Evidentemente, pode-se notar a nulidade nos valores dos períodos modelados (Figura 18) em 5 dias do mês de estudo (22/08, 23/08, 24/08, 25/08 e 26/08), corresponde exatamente aos dias em que há ausência na formação das cúspides, impossibilitando assim a mensuração do espaçamento entre as cristas a fim de determinar o período.

Figura 16 – Evolução diária do GRUPO 3, correspondentes aos momentos em que não houve formação de cúspide ao longo da face praial.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 17 – Evolução diária das cúspides do GRUPO 4, que ocorreram na porção Norte da área de estudo.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 18 – Evolução do período mensurado e modelado ao longo do mês de estudo, tendo uma medida por dia.

Fonte: O autor, 2019.

4 DISCUSSÃO

4.1 EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DAS CÚSPIDES

De modo que possibilite um melhor entendimento da discussão, os valores quanto ao o setor de ocorrência das cúspides, a Dir^o , T_0 , H_s e a amplitude média de maré foram expostos na tabela a seguir:

Setor	Dir^o	$T_0(s)$	$H_s(m)$	$A_{mare}(m)$
SUL	110	7	0,5	2
NORTE	$\approx 120-130$	$\approx 10-15$	$\approx 1,5$	1,6
RESET	≈ 170	$\approx 12-18$	$\approx 1,5-1,8$	2,4
AMBOS	≈ 100	≈ 7	1	1,95

Tabela 5 – Resumo dos setores de ocorrência das cúspides e seus respectivos valores de direção de onda, período de pico e altura significativa.

Dos 4 padrões morfológicos, 3 padrões das cúspides ocorreram em regiões distintas da praia, devendo-se, principalmente, pelo regime de ondas (GAALLEN et al, 2011). As variações de ondas e a modulação da maré atuam sobre o sistema, causando a formação das cúspides sobre duas regiões da face praial, não necessariamente de maneira concomitante, formam-se, então, na parte superior da face praial e na parte inferior da face praial (VOUSDOKAS, 2012). No presente estudo, a análise da morfologia se ateve à região superior da face praial.

A formação de cúspides concentrou-se na porção sul da praia, em virtude, principalmente, da incidência de ondas com direção Sudeste (SE), de maneira praticamente oblíqua (SANTOS, 2015), ou seja, a maior parte da energia sobre o ambiente praial foi concentrado na porção sul, além de destacar o baixo período de pico. É importante salientar a proximidade entre as cristas das cúspides (HOLLAND, 1998) $\lambda = 12,6$ m, verificada através da análise visual e medição digital, nas imagens geradas. Este aspecto se deve também à constância dos parâmetros condicionantes das cúspides (HOLLAND, 1998), à exemplo da direção de onda (que também foi, praticamente, constante).

Em momentos de baixa energia, como visto na maioria dos dias correspondentes ao período estudado, a modulação da face superior da praia é fortemente condicionada pela ação da maré e sua respectiva relação com a morfologia da praia (AAGAARD; GREENWOOD; HUGHES, 2013).

Foi possível identificar que com a manutenção da baixa energia do sistema, ocorreu uma mudança nos padrões das cúspides que ocorreram na porção sul da praia, diminuindo a quantidade de cristas, seus respectivos comprimentos e a variação da faixa coberta por essa feição. Fato semelhante foi descrito por Ortega-Sánchez et al (2008), mostrando que em momentos de baixa energia do sistema e decréscimo

do T_p , há uma mudança no sistema de formação das cúspides, diminuindo o tamanho das cristas e a área de ocorrência.

O tempo em que essas mudanças ocorrem (para momentos de baixa energia) pode levar até 2 (dois) dias completos (ORTEGA-SÁNCHEZ et al., 2008). Ilustrando o que fora descrito, é possível visualizar esse padrão ao comparar as cúspides formadas entre os dias 02/08 ao dia 13/08 (Figura 13), por exemplo.

Em outros dias de análise, pode-se observar a formação de cúspides na porção norte da praia, pois houve uma mudança no período de pico e na Direção de incidência das ondas. A oscilação da direção das ondas proporcionou o deslocamento das cúspides, assim como o evidente aumento na distância das cristas (GAALLEN et al., 2011) medidos como as do primeiro grupo. A direção passou a ter comportamento advindo de S/SE (sul/sudeste), praticamente incidindo na direção normal à praia. Principalmente devido ao incremento da altura das ondas e a elevação do T_p houve um aumento da energia do sistema, alterando o padrão de ocorrência das cúspides e consequente modificação de sua forma (MASSELINK; PATTIARATCHI, 1998; MASSELINK; HEGGE; PATTIARATCHI, 1997).

Ortega-Sánchez et al. (2008) também atentam para a necessidade de se manterem constantes o regime de ondas, para que hajam efetivas mudanças na morfologia da face superior da praia. Então, deixa claro que nos momentos de elevação da energia, ainda que não esteja em condições extremas (WRIGHT et al., 1979), as ondas determinam a morfologia das cúspides (VOUSDOKAS, 2012).

Outro momento muito importante observado entre os dias 22/08 a 26/08 foi a ausência das cúspides praias, o chamado *set reset* (VOUSDOKAS, 2012; MASSELINK; HEGGE; PATTIARATCHI, 1997). Esse momento, foi um período adverso em comparação com os dois anteriores, pois apresentou as maiores oscilações quanto ao T_p e a Dir, mas mantendo a altura média (H_s med) das ondas. Verificou-se uma grande variação (de até 30°) da direção das ondas como dito anteriormente, começando então um comportamento na direção S(sul), acarretando assim na não formação de cúspides na praia.

São dois pontos importantes de discussão: a não formação das cúspides e a erosão completa da feição (WRIGHT; SHORT, 1984; VOUSDOKAS, 2012; GAALLEN et al., 2011; CALLIARI et al., 2013). Ortega-Sánchez et al. (2008) já atentavam para tal fato e Garnier et al. (2010) concluíram que sob condições de elevada a extrema energia, os processos que se condicionam na zona de surfe, atuam sobre as feições rítmicas (como o caso das cúspides) e provocam sua destruição.

Já Masselink, Hegge e Pattiaratchi (1997) salientam que o espraiamento ocasionado em momentos de elevada energia gera a erosão das cristas das cúspides

devido a convergência de fluxos. [Ortega-Sánchez et al. \(2008\)](#) e [Masselink, Hegge e Pattiaratchi \(1997\)](#) também atentam para a manutenção de uma morfologia completamente diferente em relação à anterior, outro motivo pelo qual há a destruição das cúspides. Como também foi dito por [Gaaen et al. \(2011\)](#), nos momentos de elevada energia, combinado à alta amplitude de maré, toda interação ocorre na face superior da praia, levando também a uma desconstrução da feição rítmica, corroborando assim com o que ocorre no setor de estudo.

Outra ocorrência constatada, são dos momentos em que há formação das cúspides em ambos os setores da face praial e sua ausência no embaçamento da região de face superior. Isso ocorre devido a alternância das condições energéticas, causando assim uma inconsistência temporal e modificação das cúspides, da mesma forma que observado por [Ortega-Sánchez et al. \(2008\)](#).

Nesse momento, a incidência das ondas teve uma $Dir = 100^\circ$, ou seja, foram ondas de direção E/SE (leste/sudeste), tendo comportamentos de ondas praticamente de direção leste, atingindo de maneira praticamente igualitária todo o sistema praial e contando com o espraçamento atenuado pela linha de recifes ([COSTA et al., 2016](#)) e também a alteração da direção do espraçamento, ocasionando assim a formação de cúspides apenas nos setores norte e sul e não formação no ramo central do trecho de estudo, nesse ocorrendo apenas o embaçamento da face praial.

Em momentos de oscilação da formação das cúspides, [Wright e Short \(1984\)](#), [Vousdoukas \(2012\)](#), [Gaaen et al. \(2011\)](#) chamam a atenção para análise do vento superficial, onde na maioria das vezes é o fenômeno responsável por condicionar o regime de ondas atuantes na face praial.

4.2 PERÍODO DE PICO T

Isto posto, [Ortega-Sánchez et al. \(2008\)](#) descrevem o período de pico (T_p) como sendo uma das variáveis de onda responsáveis por corroborar com as teorias não só de morfologia, mas também da formação das cúspides. Dessa maneira, a partir do valor médio do período mensurado e modelado, foi possível determinar que as ondas incidentes em interação com a topografia local, condicionaram a morfodinâmica das cúspides ([COCO et al., 2003](#); [COCO; HUNTLEY; O'HARE, 2000](#); [WERNER; FINK, 1993](#); [VOUSDOKAS, 2012](#)). Não é possível, para o presente trabalho, atribuir a formação das cúspides ou predizer seus respectivos espaçamentos com base nas teorias das *Edge Waves* ou Auto-Organização, pois essas implicam em um estado de equilíbrio que em praias de marés muito dinâmicas, a exemplo da praia de Boa Viagem, é difícil de alcançar, uma vez que a maré condiciona o tempo de exposição da face superior da praia ([VOUSDOKAS, 2012](#)).

Através da digitalização das imagens, foi possível a obtenção do período das ondas. Dessa maneira foi possível identificar o padrão da oscilação do período, ao compararmos com o período mensurado (obtido através do ondógrafo direcional), possibilitando ilustrar a tendência do período para o mês em questão, como pode-se constatar na (Figura 18). Também é citado por Ortega-Sánchez et al. (2008) as dificuldades em analisar dados de período, fato semelhante ocorreu na área de estudo, haja visto que os dados de onda foram obtidos de um ondógrafo a aproximados 60km de distância da costa, mas, mesmo que de forma indireta, a ferramenta de obtenção do período de maneira inversa, por meio da digitalização, se mostrou eficaz a critério de análise do comportamento oscilatório do T_p .

5 CONCLUSÕES

As análises técnicas das imagens de vídeo evidenciaram 4 padrões distintos de cúspides praias: as cúspides que ocorreram na parte norte da praia, provam uma maior energia do sistema, bem como a direção característica de ondas no local. Já as cúspides que ocorreram na porção sul da praia, são de menor comprimento e espaçamento. Em outro momento, com a manutenção da baixa energia, mas com a incidência de ondas na direção E (leste), as cúspides se formaram em ambos os setores da praia. Em momento de elevada energia do sistema, combinado com as maiores amplitudes de maré (2,4m), houve a erosão das cúspides em todo o sistema praial.

As cúspides da porção norte, apresentaram espaçamento maior do que em relação as formadas na região sul da praia. Esse padrão de espaçamento entre as cúspides, deixa claro o processo dinâmico que atua sobre toda face praial, mostrando também que em determinados momentos do período estudado, a intensidade da formação das cúspides indicam eventos mais energéticos, evidenciando assim que: Durante a atuação intensa das ondas e toda energia vinda da zona de surf, as cúspides aumentam em comprimento e espaçamento entre as cristas e, ao haver a manutenção desses momentos de elevada energia, combinados com a elevada amplitude de maré, ocorre a destruição da feição ritmica. A partir do momento em que se inicia a atenuação desse evento, há uma diminuição das cúspides, bem como seu deslocamento dentro do sistema praial.

Além do que fora citado, o presente estudo identificou que as ondas incidentes e a interação entre o espraçamento e a morfologia foram os grandes mecanismos de formação das cúspides na praia de Boa Viagem.

Atribuir a formação e condicionamento das cúspides às teorias de auto-organização e ondas de borda, implicam num estado de equilíbrio extremamente difícil de se encontrar num ambiente dinâmico como a praia de Boa Viagem, que está constantemente exposto às ondas, sujeito à modulação pela maré etc. Devido a isso, é difícil comparar os espaçamentos medidos entre as cristas e prever espaçamentos futuros, pois aí se faz necessário uma abordagem espaço-temporal com maior resolução do que a do presente estudo e dessa forma, será possível tentar chegar num consenso quanto ao processo formador das cúspides.

REFERÊNCIAS

- AAGAARD; GREENWOOD; HUGHES. Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches. **Earth-Science Reviews, Elsevier B.V.**, v. 124, p. 32–50, 2013. ISSN 00128252. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.05.002>>.
- ALI, S.; DARSAN, J.; WILSON, M. Cusp morphodynamics in a micro-tidal exposed beach. **Journal of Coastal Conservation**, v. 21, n. 6, p. 777–788, 2017. ISSN 18747841.
- ALMAR et al. Video observations of beach cusp morphodynamics. **Marine Geology**. v. 254. 216–223 p. ISSN 00253227. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002532270800159X>>.
- BARBER, N. F. and; URSELL, F. The generation and propagation of ocean waves and swell. I. Wave periods and velocities. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, n. 824, p. 527–560, 1948.
- CALLIARI, L. J. et al. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, n. unico, p. 63–78, 2013.
- CIRIANO. Field observations of swash zone infragravity motions and beach cusp evolution. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. C2, p. C02018, 2005. ISSN 0148-0227. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-19844363792&partnerID=tZOtx>>.
- COCO, G. et al. Test of self-organization in beach cusp formation. **Journal of Geophysical Research C: Oceans**, v. 108, n. 3, p. 46–1, 2003. ISSN 01480227. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0142123923&partnerID=tZOtx>>.
- COCO, G.; HUNTLEY, D. A.; O'HARE, T. J. Investigation of a self-organization model for beach cusp formation and development. **Journal of Geophysical Research: Oceans, Blackwell Publishing Ltd**, v. 105, n. C9, p. 21991–22002, 2000. ISSN 21699291. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0033674350&partnerID=tZOtx>>.
- COSTA, M. B. S. F. et al. Geomorphology Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology, Elsevier B.V.**, v. 253, p. 318–327, 2016. ISSN 0169-555X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.Geomorph.2015.11.001>>.
- GALEN et al. Observations of beach cusp evolution at Melbourne Beach, Florida, USA. **Geomorphology, Elsevier B.V.**, v. 129, n. 1-2, p. 131–140, jun 2011. ISSN 0169555X. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169555X11000481>>.

GARNIER, R. et al. Beach cusps and inner surf zone processes: growth or destruction? A case study of Trafalgar Beach (Cádiz, Spain). **Scientia Marina**, v. 74, n. 3, p. 539–553, 2010. ISSN 0214-8358.38

GREGÓRIO, M. d. N. **Sedimentologia e Morfologia das Praias do Pina e da Boa Viagem, Recife (PE) Brasil**. p. 1-46. Dissertação de mestrado, Pós graduação em Oceanografia, UFPE, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/8944>>.

GUEDES, R. M. et al. Short-term sandbar variability based on video imagery: Comparison between Time-Average and Time-Variance techniques. **Marine Geology**, Elsevier B.V., v. 289, n. 1-4, p. 122–134, 2011. ISSN 00253227. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2011.09.015>>.

GUZA, R. T.; INMAN, D. L. Edge Waves and Beach Cusps. **Journal of Geophysical Research** v. 80, n. 21, p. 1378–1393, 1975.

HOLLAND, K. T. Beach cusp formation and spacings at Duck, USA. **Continental Shelf Research** v. 18, n. January, p. 1081–1098, 1998.

HOLLAND, K. T.; HOLMAN, R. A. Field observations of beach cusps and swash motions. **Marine Geology**, v. 134, n. 1-2, p. 77–93, 1996. ISSN 00253227.

HOLLAND, K. T. et al. Practical Use of Video Imagery in Nearshore Oceanographic Field Studies. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 22, n. 1, p. 81–92, 1997.

HOLMAN, R. A.; STANLEY, J. The history and technical capabilities of Argus. **Coastal Engineering**, v. 54, n. 6-7, p. 477–491, 2007. ISSN 03783839.

INMAN, D. L.; GUZA, R. T. The origin of swash cusps on beaches. **Marine Geology**, v. 49, n. 1-2, p. 133–148, 1982. ISSN 00253227.

KOMAR, P. D. Observations of Beach Cusps at Mono Lake, California. **Geological Society of America Bulletin**, v. 84, n. 11, p. 3593, 1973. ISSN 0016-7606. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0000629030{&}partnerID=tZOtx3y1https://pubs.geoscienceworld.org/gsabulletin/article/84/11/3593-3600/186>>.

LEAL, M. M. V. **Percepção dos usuários quanto à erosão costeira na praia da Boa Viagem, Recife (PE), Brasil**. p. 1-108. Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Oceanografia, UFPE, 2006.

MANSO, V. d. A. V. **Definição dos Pontos de Contorno da Linha de Preamar Máxima Atual do Litoral do Município de Ipojuca - PE**. TERMO DE REFERÊNCIA MMA/PNMA II - SECTMA No 249, 2003.

MASSELINK, G.; HEGGE, B. J.; PATTIARATCHI, C. B. Beach cusp morphodynamics.

Earth Surface Processes and Landforms, v. 22, n. 12, p. 1139–1155, 1997. ISSN 01979337.

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, apr 1998. ISSN 00253227. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025322797001291>>.

MUEHE, D. Erosion in the Brazilian coastal zone: an overview. **Journal of Coastal Researches (Special Issue)**, v. 2004, n. 39, p. 43–48, 2006. Disponível em: <http://siaiacad09.univali.br/ics2004/arquivos/07\{}_dieter.>39

NOLAN, T.; KIRK, R.; SHULMEISTER, J. Beach cusp morphology on sand and mixed sand and gravel beaches, South Island, New Zealand. **Marine Geology**, v. 157, n. 3-4, p. 185–198, may 1999. ISSN 00253227. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025322798001509>>.

ORTEGA-SÁNCHEZ, M. et al. Relation between beachface morphology and wave climate at Trafalgar beach (Cádiz, Spain). **Geomorphology**, v. 99, n. 1-4, p. 171–185, 2008. ISSN 0169555X.

PEREIRA, P. D. S. et al. **Brazilian Beach Systems**. In: . [s.n.], 2016. v. 17, p. 251–279. ISBN 978-3-319-30392-5. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-30394-9>>.

SALLENGER, A. H. Beach-Cusp Formation. **Elsevier Scientific Publishing Company**, Amsterdam – Printed in The Netherlands BEACH-CUSP, v. 29, p. 23–37, 1979.

SANTOS, H. T. H. dos. **Dinâmica de cúspides praias e fatores condicionantes : Massaguaçu, SP**. p. 1-112, Dissertação de Mestrado, Pós Graduação em Oceanografia, IO-USP, 2015.

SENECHAL, N. et al. Observed destruction of a beach cusp system in presence of a double-coupled cusp system: the example of Grand Popo, Benin. **Journal of Coastal Research**, v. 70, n. 70, p. 669–674, 2014. ISSN 0749-0208.

SOUZA, C. Regina de Gouveia et al. **Quaternário do Brasil**. [S.l.: s.n.], 2005. 131–152 p. ISBN 8586699470.

SOUZA, P. L. de. **Dinâmica da Zona de Surfe de uma Praia Com Recifes**. p. 1-53, Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Oceanografia, UFPE, 2017.

VOUSDOKAS. Erosion/accretion patterns and multiple beach cusp systems on a meso-tidal, steeply-sloping beach. **Geomorphology**, v. 141-142, p. 34–46, mar 2012. ISSN 0169555X. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84856417256&partnerID=tZOtx>>.

VOUSDOKAS et al. Wave run-up observations in microtidal, sediment-starved pocket beaches of the Eastern Mediterranean. **Journal of Marine Systems**, Elsevier B.V., v. 78, p. S37–S47, nov 2009. ISSN 09247963. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924796309001389>>.

WENTWORTH, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. **The University of Chicago Press Stable**, v. 30, n. 5, p. 377–392, 1922.

WERNER, B. T.; FINK, T. M. Beach cusps as self-organized patterns. **Science**, v. 260, n. 5110, p. 968–971, 1993. ISSN 00368075. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0027337817&partnerID=tZOtx>>.

WRIGHT, L.; SHORT, A. D. Morphodynamic Variability of surf zones and beaches : Virginia Institute of Marine Science , School of Marine Science , College o f William and Surf zones and beaches are interesting because they are not all the same . They vary in time with changing wave. **Marine Geology**, v. 56, n. 1135, p. 93–118, 1984. ISSN 0025-3227.40

WRIGHT, L. D. et al. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. **Marine Geology**, v. 32, n. 1-2, p. 105–140, 1979. ISSN 00253227.

WRIGHT, L. D.; THOM, B. G. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography**, p. 412 – 459, 1977.