



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CLIMA DE ONDA EM UMA PRAIA ESTUARINA NA ZONA  
COSTEIRA AMAZÔNICA**

**Tese apresentada por:**

**JACKELYNNE MAFRA PEREIRA**

**Orientadora: Msc. Thaís Angélica da C. Borba – LAPMAR/UFPA**

**Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic – Faculdade de  
Oceanografia/UFPA**

---

**BELÉM – PARÁ**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CLIMA DE ONDA EM UMA PRAIA ESTUARINA NA ZONA  
COSTEIRA AMAZÔNICA**

**Tese apresentada por:**

**JACKELYNNE MAFRA PEREIRA**

**Orientadora: Msc. Thaís Angélica da C. Borba – LAPMAR/UFPA**

**Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic – Faculdade de  
Oceanografia/UFPA**

---

**BELÉM – PARÁ**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

P436c Pereira, Jackelyne Mafra  
CLIMA DE ONDA EM UMA PRAIA ESTUARINA NA  
ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA / Jackelyne Mafra  
Pereira. — 2019.  
xix, 52 f. : il.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. MSc. Thaís Angélica da Costa  
Borba Coorientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rollnic  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade  
de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade  
Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Hidrodinâmica estuarina. 2. Hidrodinâmica praial. 3.  
Projeto OCA. 4. ondas. I. Título.

CDD 531.1133

---



**Universidade Federal do Pará**

**Instituto de Geociências**

**Faculdade de Oceanografia**

**CLIMA DE ONDA EM UMA PRAIA ESTUARINA NA ZONA  
COSTEIRA AMAZÔNICA**

**Tese apresentada por**


**JACKELYNNE MAFRA PEREIRA**

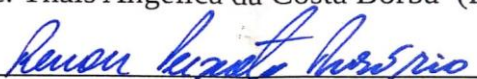
**Como requisito a obtenção de Grau de Bacharel na Área de OCEANOGRAFIA em  
Oceanografia Física**

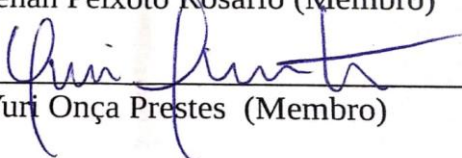
**Data de Aprovação: 04 / 12 / 2019**

**Conceito: EXCELENTE**

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
MSc. Thaís Angélica da Costa Borba (Presidente)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Renan Peixoto Rosário (Membro)

  
\_\_\_\_\_  
MSc. Yuri Onça Prestes (Membro)

*Dedico este trabalho aos meus pais e irmã,  
pelo apoio e incentivo incondicional.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelas oportunidades que me foram concedidas, pelo sustento em momentos de dificuldade sem me deixar fracassar ou retroceder. À minha família por todo apoio, carinho e incentivo, em especial à minha mãe Ana Kellen, que sempre me deu os melhores conselhos nos meus piores momentos, nunca me deixou desistir e, mesmo longe, nunca me deixou só, você me ensinou a ser persistente e estou aqui por você. Ao meu pai Carlos Antônio, que foi meu primeiro orientador na vida, me incentivou mais que todos até mesmo quando meus sonhos mudavam, obrigada pela compreensão e amor.

Em especial à minha vizinha Ana Maria, que sempre orou pelo meu sucesso, se preocupou e cuidou de mim (eu te amo muito). E a minha querida irmã Victória Mafra, pelo apoio incondicional, incentivo, carinho, amor e por acreditar em mim mesmo quando eu não acreditava – *Eu não sei o que faria sem você!*

Aos meus “pais” Sônia Almeida e Zoênio Lobato, pelo amor, carinho e confiança depositada em mim desde muito tempo atrás. E aos amigos Cleide Sousa e Sandro Melo que me apoiavam desde o ensino médio.

Aos professores da graduação que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico, em especial aos professores da FAOC – Faculdade de Oceanografia – os quais são os melhores no que fazem. Principalmente a professora Sury Monteiro, que tem sido não somente um exemplo de profissional, mas também como pessoa, aos professores que indiretamente contribuíram para este trabalho sempre tirando minhas dúvidas – professor Alexandre Casseb e professora Leilanne Ranieri. E ao professor Renan Rosário, que foi fundamental para meu aprendizado com processamento de dados e desenvolvimento de rotinas.

Ao professor Marcelo Rollnic que abriu as portas do LOF (laboratório de Oceanografia Física) quando eu era apenas uma caloura, por acreditar no meu potencial e sempre dar aquela passadinha pra ver como eu estava desempenhando meus trabalhos. Obrigada pelos maiores conhecimentos repassados, pela atenção, confiança e por todas as oportunidades concedidas dentro do laboratório.

A minha orientadora, por todos os ensinamentos e paciência ao longo dos anos que trabalhamos juntas, pela confiança, carinho e amizade, além de ser uma pessoa inspiradora. Sem a qual este trabalho não seria possível.

A todos do atual LAPMAR – Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental e Marinho. Em especial ao Maurício que me ensinou muitas coisas e contribuiu com este trabalho, sendo o primeiro a dar uma olhadinha e se dispondo a ajudar e ao Yuri que também colaborou tirando minhas maiores dúvidas ao longo do semestre.

Aos meus amigos de faculdade da turma de 2016 e aqueles de outras turmas pelo apoio e por acreditar em mim desde sempre. Aos meus amigos Jackson Barros e Fernando Avelino pelas conversas, risadas, incentivo e por serem aqueles ombros que pude chorar. Ao Matheus Santiago, meu companheiro de viagens e de laboratório, obrigada pela ajuda e por todos os momentos de desabafos.

Em especial às minhas melhores amigas, Mayara Rodrigues e Bianca Mescouto, as quais sempre torceram pelo meu sucesso, me apoiaram em meus piores momentos, escutaram meus inúmeros desabafos e desesperos além de me proporcionarem os melhores momentos da graduação (*Amo Vocês!!!*).

E aos demais que direta ou indiretamente participaram desta conquista. Agradeço a Deus pela vida de cada um.

*A certeza não existe, nem a perfeita verdade.  
Mas sempre nos resta a fé, que nos faz confiar no impossível.  
E o impossível, com frequência, se faz concreto.  
- Eduardo Spohr*

## RESUMO

O regime de ondas geradas pelo vento é responsável pelo retrabalhamento de sedimentos e na variação morfológica da zona costeira, sendo importante para as atividades econômicas desenvolvida nesses ambientes. Esse estudo foi realizado no estuário do rio Pará, o qual possui um importante papel socioeconômico e ambiental, fazendo parte do projeto OCA – Observatório da Costa Amazônica – que tem como objetivo a implementação de um sistema de observação para monitoramento dos parâmetros meteoceanográficos na Zona Costeira Amazônica (ZCA), a partir de medições mensais durante os períodos sazonais seco, chuvoso e intermediário ao longo de um ano. A sazonalidade característica dessa região é dividida em estações: chuvosa (dezembro a maio), menos chuvosa (junho a novembro) podendo os meses de janeiro e junho apresentarem comportamento transicional. No período do estudo foi identificada a presença de La Niña de intensidade moderada, a qual aumenta a intensidade de ventos e chuvas no norte do Brasil. As coletas foram feitas na praia do Vai-Quem-Quer, na ilha de Cotijuba localizada à margem direita do estuário do rio Pará. Desta forma, definiu-se dois pontos de coleta, baseados na morfologia e logística local, o primeiro para a instalação da estação meteoceanográfica, e o segundo para o fundeio do sensor de pressão. Os dados de onda foram obtidos no período de setembro (2017) a julho (2018), e os dados de vento de setembro (2017) a maio (2018). O processamento e análise dos dados de onda e vento, foram realizados em ambiente Matlab, definindo-se os parâmetros de altura significativa, altura máxima, período significativo, energia, potência e nível para onda, e intensidade, velocidade e direção do vento. O estudo mostrou que as maiores ondas ocorrem no mês de outubro, período seco, com velocidade do vento de 11 m/s e altura de onda de 0,97 m. Para o período chuvoso, em maio o vento apresentou velocidade de 9 m/s e altura de onda de 0,45 m. O período significativo de ondas variou entre 0 s e 10 s, o que caracterizou as ondas de gravidade do tipo vagas. Além do regime de ventos, as ondas no local de estudo são influenciadas por fatores morfológicos, como a presença de uma barra arenosa que ocorre durante o período seco, e parâmetros meteoceanográficos, de acordo com a influência da ZCIT sobre a região. Os valores máximos de Energia e Potencia ocorreram durante o período seco, em conformidade com a altura significativa de onda. É imprescindível salientar que o estudo contribui para maior conhecimento sobre a hidrodinâmica local, que ainda é escassa, mas de potencial importância para o gerenciamento costeiro, desenvolvimento de projetos de valor econômico e manejo da zona costeira.

Palavras-chaves: Hidrodinâmica estuarina, Hidrodinâmica praial, Projeto OCA, ondas.

## ABSTRACT

The wind wave regime is responsible for sediment rework and morphological variation of the coastal zone, being important for the economic activities developed in these environments. This study was carried out in the Pará river estuary, which has an important socioeconomic and environmental role, as part of the OCA project - Amazon Coast Observatory - which aims to implement an observation system for monitoring meteoroceanographic parameters in the Amazon Coastal Zone (ZCA), based on monthly measurements during the dry, rainy and seasonal periods. intermediate over a year. The characteristic seasonality of this region is divided into seasons: rainy (December to May), less rainy (June to November) and the months of January and June may present transitional behavior. During the study period the presence of La Niña of moderate intensity was identified, which increases the intensity of winds and rains in northern Brazil. The collections were made at Vai-Quem-Quer beach, on the island of Cotijuba, located on the right bank of the Pará river estuary. Thus, two collection points were defined, based on local morphology and logistics, the first for the installation. from the meteoceanographic station, and the second to the pressure sensor base. The wave data were obtained from September (2017) to July (2018), and the wind data from September (2017) to May (2018). The processing and analysis of wave and wind data were performed in a Matlab environment. defining the parameters of significant height, maximum height, significant period, energy, power and wave level, and wind intensity, speed and direction. The study showed that the largest waves occur in October, dry period, with wind speed of 11m / s and wave height of 0.97m. For the rainy season, in May the wind presented a speed of 9m / s and a wavelength of 0.45m. The significant period of waves ranged from 0 to 10 s, or characterized as vague waves of gravity. In addition to the wind regime, the waves at the study site are influenced by morphological factors such as the presence of a sandy bar that occurs during the dry season, and meteoceanographic parameters, according to the influence of the ITCZ on the region. Maximum energy and power values occur during the dry period, in accordance with a significant wave height. It is essential to emphasize that the study contributes to a greater knowledge about local hydrodynamics, which is still scarce but of potential importance for coastal management, development of projects of economic value and coastal zone management.

Keywords: Estuarine hydrodynamics, Beach hydrodynamics, OCA project, waves.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Classificação de ondas baseado em período e frequência. Fonte: Munk (1950) .....	6
Figura 2 – Parâmetros de onda. Fonte: Young (1999).....	6
Figura 3- Movimentos orbitais de partículas de água. Fonte: Adaptado de Holthuijsen (2007).....	8
Figura 4- a) Perfil de energia e morfologia para o estuário dominado por maré; b) perfil de energia e morfologia para o estuário dominado por onda. Fonte: Adaptada de Dalrymple <i>et al.</i> (1992).....	11
Figura 5- Classificação dos estuários de acordo com perfil de salinidade: cunha salina, fracamente estratificado, fortemente estratificado e bem misturado. Fonte: Adaptado de Valle-Levinson (2010).....	14
Figura 6- Praia estuarina do Vai-Quem-Quer localizada na ilha de Cotijuba/ PA, na margem direita do estuário do rio Pará .....	17
Figura 7- Mapa de localização da área de estudo da praia do Vai-Quem-Quer, localizada na ilha de Cotijuba/PA. Em vermelho destaca-se o ponto de fundeio de um sensor de pressão para a coleta dos dados de onda e em azul representa a instalação da estação meteorológica para obtenção dos dados de vento .....	18
Figura 8- Em azul tem-se a precipitação total mensal (mm) para o ano de 2017 e em alaranjado representa a média total mensal (mm) para o ano de 2018, na estação meteorológica de Belém. Fonte: BDMEP/INMET .....	19
Figura 9- Gráfico da normal climatológica mensal para o ano de a) 2017 e b) 2018 da estação de Belém. Os gráficos mostram um aumento no nível de chuvas durante o período chuvoso .....	20

- Figura 10- Sensor de pressão utilizado para a coleta mensais de dados de onda em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará, de 2017 a 2018. Fonte: Google imagens.....26
- Figura 11- a) Estação meteoceanográfica fixa instalada em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará, para a aquisição dos dados de vento referente aos meses de setembro de 2017 a maio de 2018, b) Painel fotovoltaico de 6 watts, c) Data Logger Campbell Scientific e d) Estação meteorológica GMX600 Maxi Met da Gill.....27
- Figura 12- Método do a) zero ascendente e b) zero descendente. Fonte: Holthuijsen (2007).....28
- Figura 13- Pontos de cruzamento do zero ascendente, após a aplicação do método de mesmo nome, no perfil de onda em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará, para o mês de setembro de 2017 .....30
- Figura 14- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de setembro, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....33
- Figura 15- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de outubro, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará ..... 34
- Figura 16- Parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de novembro, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.....35
- Figura 17- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de dezembro, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....36

- Figura 18- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de janeiro, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....35
- Figura 19- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de fevereiro, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....36
- Figura 20- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de março, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....36
- Figura 21- a) Parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de abril, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.....37
- Figura 22- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de maio, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....37
- Figura 23- Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e referentes aos meses de junho e julho, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....38
- Figura 24- Em vermelho representa máximos de Hs e em azul a Hmax de onda para os meses de setembro de 2017 a julho de 2018 em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará. Destacando-se os períodos sazonais, o período seco representado pela linha contínua e o período chuvoso pela linha tracejada .....39
- Figura 25- Velocidade do vento com maior frequência durante o período amostral para os meses de setembro de 2017 a julho de 2018 em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará. Destacando-se os períodos sazonais, o período seco representado pela

linha contínua e o período chuvoso pela linha tracejada .....	39
Figura 26- Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de outubro, durante o período seco, de 2017 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.....	41
Figura 27- Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de janeiro, durante o período chuvoso, de 2018 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.....	42
Figura 28- Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de fevereiro, durante o período chuvoso, de 2018 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.....	42
Figura 29- Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de março, durante o período chuvoso, de 2018 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação de Holthuijsen (2007) dos tipos de onda .....	4
Tabela 2 - Aplicação da teoria linear de Airy para os parâmetros de onda. Fonte: Adaptado de Vieira <i>et al.</i> (2007).....	9
Tabela 3- Delimitação das zonas e setores do estuário. Fonte: Fairbridge (1980) e Kjerfve (1987).....	10
Tabela 4- Classificação do estuário de acordo com a interação de ondas, marés e morfologia. Fonte: Nichols & Biggs (1985).....	13
Tabela 5- Descrição do tipo de estuário de acordo com a descarga fluvial e a maré .....	14
Tabela 6- Classificação dos sedimentos de acordo com a escala de Wentworth. Fonte: Adaptada de McNally & Mehta (2009).....	16
Tabela 7- Principais constituintes harmônicas puras de maré. Fonte: Adaptado de Apel (1987).....	22
Tabela 8- Unidades morfológicas e ambientes costeiros da Amazônia. Fonte: Adaptada de Boulhosa (2007) .....	24
Tabela 9- Informações de aquisição dos dados brutos de onda (data, hora e frequência) para os meses de setembro de 2017 a julho de 2018, onde se padronizou a frequência amostral para 0,5 s .....	26
Tabela 10- Informações de aquisição dos dados brutos de vento (data, hora e frequência) para os meses de setembro de 2017 a maio de 2018, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....	31
Tabela 11- Valores máximos de $H_s$ , $H_{max}$ , $T_s$ de onda associados aos valores máximos de intensidade e direção do vento de setembro de 2017 a julho de 2018 em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará .....	32
Tabela 12- Valores de máximo, média e mínimo para os parâmetros de E e P dos dados de	

onda para os meses de setembro (2017) a maio (2018) exceto para os meses de novembro (2017) e abril (2018) em uma praia estuarina, localizada do rio

Pará.....44

**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E/OU SÍMBOLOS**

ZCA - Zona Costeira Amazônica

OCA - Observatório da Costa Amazônica

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

PCA - Plataforma Continental Amazônica

L - Comprimento de Onda

H - Altura de Onda

a - Amplitude

d - Profundidade

$\eta$  - Nível de Superfície Livre

T - Período

C - Celeridade

Cg - Celeridade de Grupo

g - Gravidade

$\rho$  - Densidade

M2 e O1 - Principal Lunar

S2 e P1 - Principal Solar

N2 e Q1 - Elíptica Lunar

K2 e K1 - Declinação Luni-Solar

Mf - Lunar quinzenal

Mm - Luniar Mensal

Ssa - Energia Solar Semestral

Hs - Altura Significativa

Hmax - Altura Máxima

Ts - Período Significativo

E - Energia

P - Potência

d -Nível de Superfície Livre (maré)

Patm – Pressão Atmosférica

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>EPÍGRAFE</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	x
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiv
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E / OU SÍMBOLOS</b> .....	xvi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVO</b> .....	3
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
3.1 ONDA .....	4
3.1.2 Classificação de Onda.....	4
3.1.3 Teoria Linear de Airy e Teoria Não Linear .....	7
3.2 ESTUÁRIO .....	9
3.2.1 Classificação Quanto a Hidrodinâmica .....	10
3.2.2 Classificação Quanto a Salinidade .....	13
3.2.3 Sedimentação em Estuários .....	15
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	17
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	17
4.1.1 Caracterização Climática .....	18

<b>4.1.2 Caracterização Hidrográfica</b> .....	21
<b>4.1.3 Caracterização Oceanográfica</b> .....	21
<b>4.1.4 Caracterização Geológica</b> .....	23
<b>4.1.5 Caracterização Geomorfológica</b> .....	24
<b>5 AMOSTRAGEM</b> .....	26
<b>6 ANÁLISES LABORATORIAIS</b> .....	28
6.1 ONDA .....	28
6.2 VENTO .....	31
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	32
<b>8 CONCLUSÕES</b> .....	46
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	48

## 1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira Amazônica (ZCA) se estende desde o Amapá até o Maranhão, ocupando cerca de 35% do território brasileiro, onde encontram-se diversos ambientes como praias, estuários, manguezais, ilhas, deltas, dunas e entre outras. É caracterizada pela elevada precipitação anual de até 3.300 mm, temperaturas maiores que 20°C, regime de meso e macromaré, extensa área contínua de manguezal e descargas de diversos estuários incluindo o rio Amazonas com um aporte de aproximadamente 16% de água doce nos oceanos (Pereira *et al.* 2009).

Nesse contexto, em áreas mais rasas do estuário e baías, ocorrem as praias estuarinas ou praias arenosas. Estas são caracterizadas por apresentarem um substrato estável para a fixação da fauna e flora, com ação de ondas menores que 0,25 m de altura e de curto período sendo consideradas como “ambientes de baixa energia” (Nordstrom 1992, Jackson *et al.* 2002). Desta forma, o regime de ondas geradas pelo vento é um dos fatores responsáveis pelo retrabalhamento de sedimentos e na variação morfológica da zona costeira (Jackson *et al.* 2002, Hegge *et al.* 1996).

Além da importância do regime de ondas para a morfologia praial, o estudo das ondas é importante para as atividades econômicas, como no âmbito do gerenciamento costeiro e portuário, auxiliando em projetos de dragagem, engorda de praia, contenção de erosão e para a navegação segura.

No estuário do rio Pará tem um importante papel socioeconômico e ambiental, nele estão localizados importantes centros comerciais como a região metropolitana de Belém e Barcarena. Belém é uma das cidades mais populosas do país, com um total de 1,425,922 habitantes segundo o IBGE (2013), e uma importante entrada de produtos transportados por meio marítimo/aquaviário. Barcarena por sua vez é o maior porto da região amazônica por onde alumina e alumínio são exportados. Por se tratar de um importante pólo industrial, a região avança para outras áreas, para além da agricultura, como o turismo e as próprias indústrias que geram crescimento econômico para o município.

O estuário do rio Pará possui uma descarga líquida de aproximadamente  $10^4 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (Prestes *et al.* 2014), cujo aporte de água doce é de fundamental importância para a circulação geral dos oceanos e manutenção do clima. Visto que, trata-se de um grande estuário, o qual possui mais de 300 km de extensão e cerca de 40-50 km entre suas margens na foz (Prestes 2016). Entretanto devido às dificuldades de acesso à região e o alto custo de manutenção dos

equipamentos há muito a se conhecer sobre seus processos morfodinâmicos. Desta forma, este estudo visa contribuir na formação do conhecimento sobre este ambiente auxiliando o gerenciamento das feições naturais e atividades que ocorrem em suas margens.

O estudo faz parte do projeto OCA – Observatório da Costa Amazônica – que tem como objetivo a implementação de um sistema de observação para monitoramento dos parâmetros meteoceanográficos na ZCA.

Este trabalho é apresentado em forma de tese, de acordo com as regras de editoração do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará. O qual é apresentado em oito capítulos e seus, respectivos, subcapítulos. O primeiro capítulo se refere a introdução geral sobre o assunto a ser abordado, o segundo trás nota sobre os objetivos, o terceiro sobre o referencial teórico a fim de dar suporte para o desenvolvimento do trabalho, o quarto aborda a caracterização da área de estudo, o quinto e o sexto referem-se a aquisição de dados e processamento dos mesmos, o sétimo tem enfoque sobre os resultados obtidos e o oitavo termina com as conclusões do trabalho.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar o clima de ondas em uma praia estuarina, localizada na margem direita do estuário do rio Pará à aproximadamente 100 km da foz. A partir de medições mensais durante os períodos sazonais seco, chuvoso e intermediário, bem como correlacionar os dados com o regime de ventos na região e estágio de maré.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar o valor mensal de parâmetros de onda (altura significativa, período significativo, energia, potência e nível de superfície livre - maré);
- Determinar padrões de intensidade e direção do vento mensalmente;
- Correlacionar os dados de vento aos parâmetros de onda verificados;
- Analisar sazonalmente os parâmetros e padrões observados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ONDA

As ondas são entendidas como a atuação de forças sobre um meio fluido que geram deformações no mesmo contra a gravidade e a tensão superficial, as quais juntas tendem manter a superfície do fluido nivelada (Dean & Dalrymple 1991). Desse modo, entende-se que as ondas nos oceanos são o movimento vertical na superfície do mar, as quais transportam energia (Holthuijsen 2007).

As ondas podem ser originadas por diferentes forçantes (forças geradoras), como: vento, efeitos meteorológicos, atração gravitacional ou movimentações na crosta terrestre. Bem como forças restauradoras que empurram esse fluido ao seu estado inicial de equilíbrio, tais como tensão superficial, gravidade e força de Coriolis. As forças geradoras podem ocorrer em diferentes escalas de tamanhos e formas, na qual vai depender da magnitude da força atuante em superfície, ou seja, o comprimento de onda (Dean & Dalrymple 1991).

##### 3.1.1 Classificação de Onda

A origem das ondas, bem como parâmetros característicos destas como comprimento de onda e período, podem ser usados para classificar os tipos existentes de onda. Segundo a classificação de Holthuijsen (2007), as ondas são classificadas em:

Tabela 1- Classificação de Holthuijsen (2007) dos tipos de onda.

TIPO DE ONDA	DESCRIÇÃO
Ondas Capilares	São ondas afetadas pela tensão superficial da água, cujo período é menor do que $\frac{1}{4}$ s e comprimento de onda menor que 10cm.
Ondas Geradas pelo Vento	São ondas cujo período é menor que 30s. Quando estas são dominadas pela gravidade, tendem a apresentar período maior que $\frac{1}{4}$ e são chamadas de ondas gravitacionais. As ondas geradas pelo vento podem ainda ser classificadas em vagas ou <i>windsea</i> , que são aquelas ondas originadas pelo vento local, e marulhos ou <i>swell</i> , as quais não têm relação com o vento de origem e são transportadas para fora da área de formação.

TIPO DE ONDA	DESCRIÇÃO
Ondas Infra-Gravitacionais	Ou também chamadas de <i>surf beat</i> , são ondas formadas por grupos de ondas geradas pelo vento e com períodos de alguns minutos.
Seiches	São ondas estacionárias formadas em mar aberto com origem desconhecida, embora algumas sejam formadas por eventos de tempestades. Apresentam frequência igual a frequência de ressonância da bacia em que ocorrem e amplitude de até 1m em algumas regiões.
Tsunamis	São ondas longas em alto mar formadas a partir de movimentos sísmicos, vulcanismo, deslizamentos de terra submarino ou impacto de meteoritos, cujo período varia em até 30 minutos e o comprimento de onda varia de 10 a 500 km (Silveira & Varriale 2005).
Ondas de Tempestade	São ondas geradas pela baixa pressão atmosférica e ventos de altas velocidades, apresentam comprimento de onda e período menores que os das marés e suas escalas de espaço e tempo são semelhantes aos da tempestade geradora.
Marés	Podem ser classificadas em marés astronômicas, que são ondas geradas a partir da variação gravitacional agindo sobre o sistema Terra-Sol-Lua, e marés meteorológicas, que são aquelas resultantes de eventos meteorológicos; estas ondas apresentam períodos variando de 12h (semi-diurna) a até 24h (diurna) (Pugh 1987).
Onda de Trans-Maré	São ondas de baixa frequência originadas por movimentações na crosta terrestre ou pela força de Coriolis com período superior a 24h (Lima 2016).

Estas ondas também podem ser vistas na Figura 1 dentro de uma classificação de acordo com sua frequência, período e uma escala arbitrária de energia.

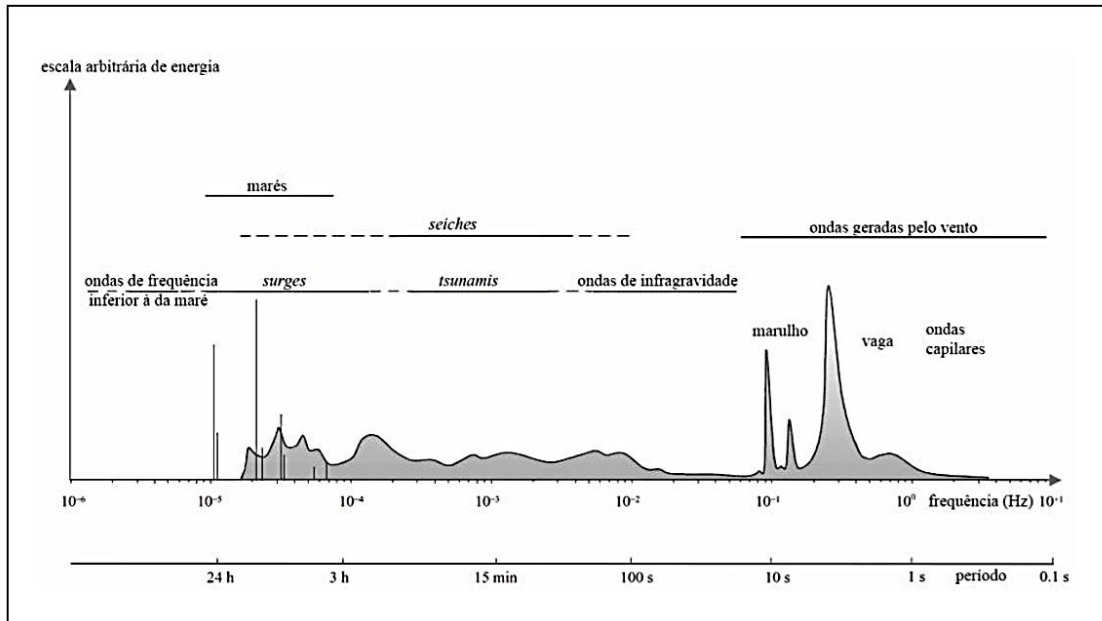


Figura 1- Classificação de ondas baseado em período e frequência. Fonte: Munk (1950).

Além da classificação de onda já citada, existem outros parâmetros relevantes para a descrição de uma onda, como: comprimento ( $L$ ), altura ( $H$ ), amplitude ( $a$ ), profundidade ( $d$ ) e nível de superfície livre ( $\eta$ ). Em uma onda senoidal que se propaga na direção  $X$ , tem-se os seguintes parâmetros (Figura 2):

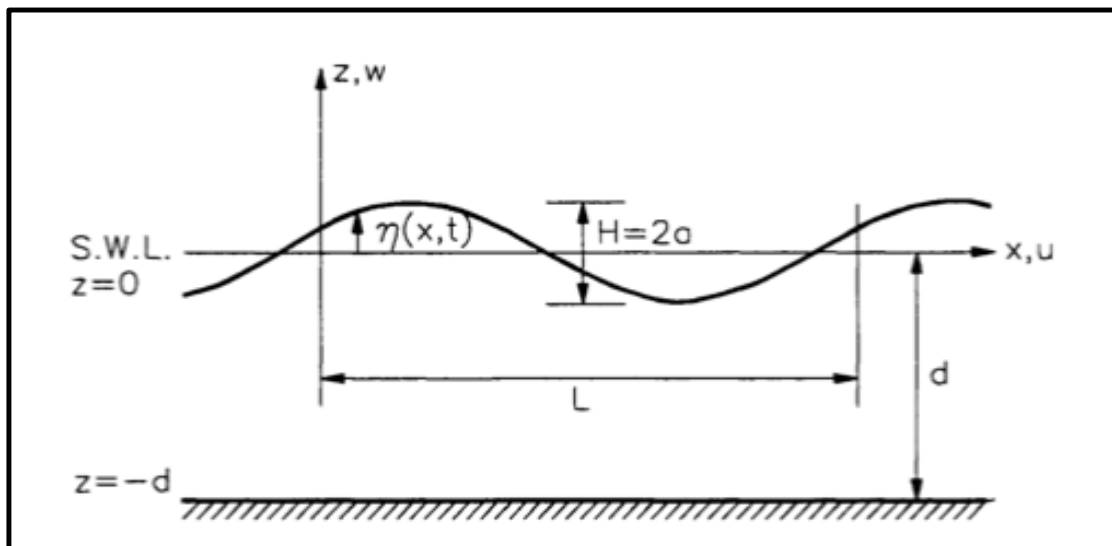


Figura 2 – Parâmetros de onda. Fonte: Young (1999).

Comprimento de Onda (L): que é a distância entre dois pontos consecutivos e semelhantes dentro de uma onda, podendo ser de uma crista a outra, ou um vale a outro;

Altura da onda (H): é a distância vertical de uma cava (ou cavado) até uma crista de uma onda individual;

Amplitude (a): é a metade da altura de onda, ou seja, a distância vertical de uma crista ou uma cava até o nível médio ou de referência da onda;

Profundidade (d): é a distância vertical entre o nível médio ou de referência de uma onda até o fundo oceânico;

Nível de superfície Livre ( $\eta$ ): é a variação da superfície da água do mar onde se propaga uma onda.

### 3.1.2 Teoria Linear de Airy e Teoria Não Linear

Foram desenvolvidas duas teorias para descrever os movimentos das ondas de superfície geradas pelo vento: a Teoria Linear de ondas ou também como teoria linear de Airy (1845) e a teoria não linear de ondas. A teoria linear de Airy consiste em uma função senoidal perfeita aplicável para áreas profundas e com amplitudes baixas, em que a onda é interpretada como uma senóide, apresentando longas cristas e se propaga de forma progressiva com velocidade constante, alturas equidistantes e iguais entre si (WMO 1998). A teoria não linear aplica-se a ondas de maiores amplitudes quando estas se encontram em profundidades rasa com baixo comprimento de coluna d'água, fazendo com que a onda se deforme deixando de ser linear (Aguiar 2011).

Segundo Young (1999) e Holthuijsen (2007), a teoria linear de ondas desenvolvida por Airy (1845) possui alguns princípios fundamentais para sua aplicação:

- A água é considerada um fluido homogêneo, incompressível e irrotacional;
- Viscosidade e turbulência são desconsiderados;
- Profundidade, forma (no tempo e no espaço), comprimento de onda e período de onda são constantes;
- A amplitude de onda é sempre menor em comparação com o comprimento de onda e a profundidade,  $H/L \ll 1$  e  $H/d \ll 1$ ;

- A tensão superficial e a força de Coriolis são desconsideradas, portanto, a única força externa na qual a água está submetida é a gravidade;
- Fundo horizontal, impermeável, fixo e plano.

Durante a propagação de ondas superficiais em regiões profundas, ocorre a movimentação do fluido mais profundo em forma de células orbitais circulares que diminuem exponencialmente com o aumento da profundidade, até que a influência do fundo nas partículas seja desprezível (Laing *et al.* 1998). Para águas rasas, a influência do leito torna-se maior resultando em movimentos orbitais elípticos que não diminuem exponencialmente com a profundidade (Figura 3).

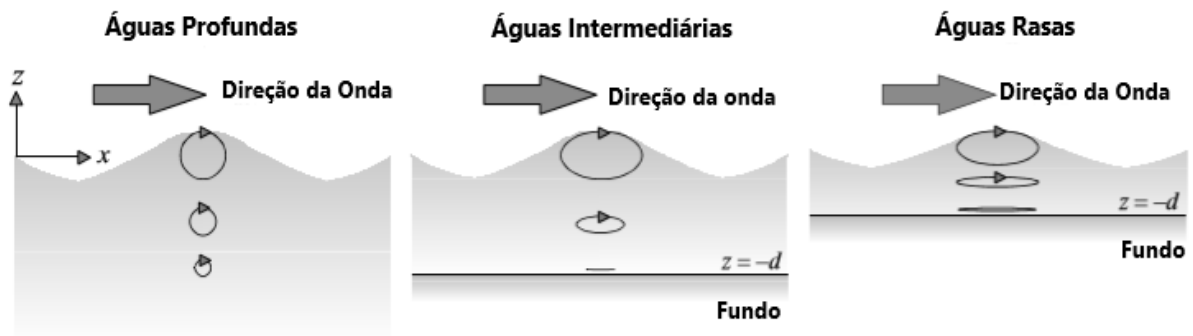


Figura 3- Movimentos orbitais de partículas de água. Fonte: Adaptado de Holthuijsen (2007)

Deste modo, a teoria linear de Airy é aplicável a diferentes profundidades dependendo da relação comprimento de onda e profundidade, na direção em que a onda se propaga, em águas rasas ( $d/L < 1/20$ ), águas intermediárias ( $1/20 < d/L < 1/2$ ) e águas profundas ( $d/L > 1/2$ ). As ondas a serem tratadas no presente estudo são caracterizadas por serem de águas rasas, as quais interagem com a zona costeira e transportam grande quantidade de energia. Os cálculos da teoria de Airy para os parâmetros de onda em diferentes profundidades estão inseridos na tabela abaixo:

Tabela 2 - Aplicação da teoria linear de Airy para os parâmetros de onda.

Profundidade Relativa	Águas Rasas	Águas Intermediárias	Águas Profundas
Celeridade	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Celeridade de grupo	$Cg = C\sqrt{gd}$	$Cg = nC = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right] C$	$Cg = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$
Comprimento de onda	$L = T\sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = C_0T$
Energia	$E = \rho_w * g * \frac{H^2}{8}$	$E = \rho_w * g * \frac{H^2}{8}$	$E = \rho_w * g * \frac{H^2}{8}$
Potência	$P = E * Cg$	$P = E * Cg$	$P = E * Cg$

Fonte: Adaptado de Vieira *et al.* (2007)

### 3.2 ESTUÁRIO

Os períodos de glaciação e interglaciação são responsáveis pela mudança da linha de costa e localização dos estuários, nos últimos dois milhões de anos. Os estuários atuais foram formados no último estágio interglacial, há cerca de 15.000 anos, no qual ocorreu a subida do nível do mar em até 120 m, até o nível do mar atual (Kjerfve 1989a).

Há inúmeras definições do que é estuário, de acordo com suas características físicas, químicas, biológicas e morfológicas. Admite-se que este seja uma zona de transição entre os ambientes de rio e o oceano. Para a oceanografia física, a definição mais aceita é a de Pritchard (1967), no qual o estuário é tratado como um corpo de água costeiro semifechado com livre comunicação com o mar aberto, em que no seu interior, ocorre a diluição da água salgada marinha com a água doce fluvial. Entretanto, essa definição restringe o estuário apenas na zona de influência da água do mar, desta forma, Fairbridge (1980) e Kjerfve (1987) dividem o estuário em setores e zonas, respectivamente. Como sugere Rosário (2016), para o estuário do rio Pará, os setores correspondentes ao baixo, médio e alto estuário sofrem

influência da descarga fluvial, e as zonas correspondentes às zonas de maré de rio, zona de mistura e zona costeira são influenciadas pela ação da maré.

Tabela 3- Delimitação das zonas e setores do estuário.

<b>Fairbridge</b>	<b>Kjerfve</b>	<b>Descrição</b>
Alto Estuário	Zona de Maré de Rio	Não há presença de água salgada do mar apenas das marés.
Médio Estuário	Zona de Mistura	Ocorre a mistura de água doce do aporte fluvial e água de marinha do oceano adjacente.
Baixo Estuário	Zona Costeira	Predominância da água do mar e dos processos oceânicos. Com extensão até a influência da pluma estuarina.

Fonte: Fairbridge (1980) e Kjerfve (1987)

Os estuários ocupam um importante papel ecológico ambiental, estes possuem uma elevada produção primária e por ele passa a maior parte da matéria orgânica em decomposição oriunda do continente para o mar (Schettini 2002), bem como atua como um berçário para diversas espécies de aves, peixes e crustáceos.

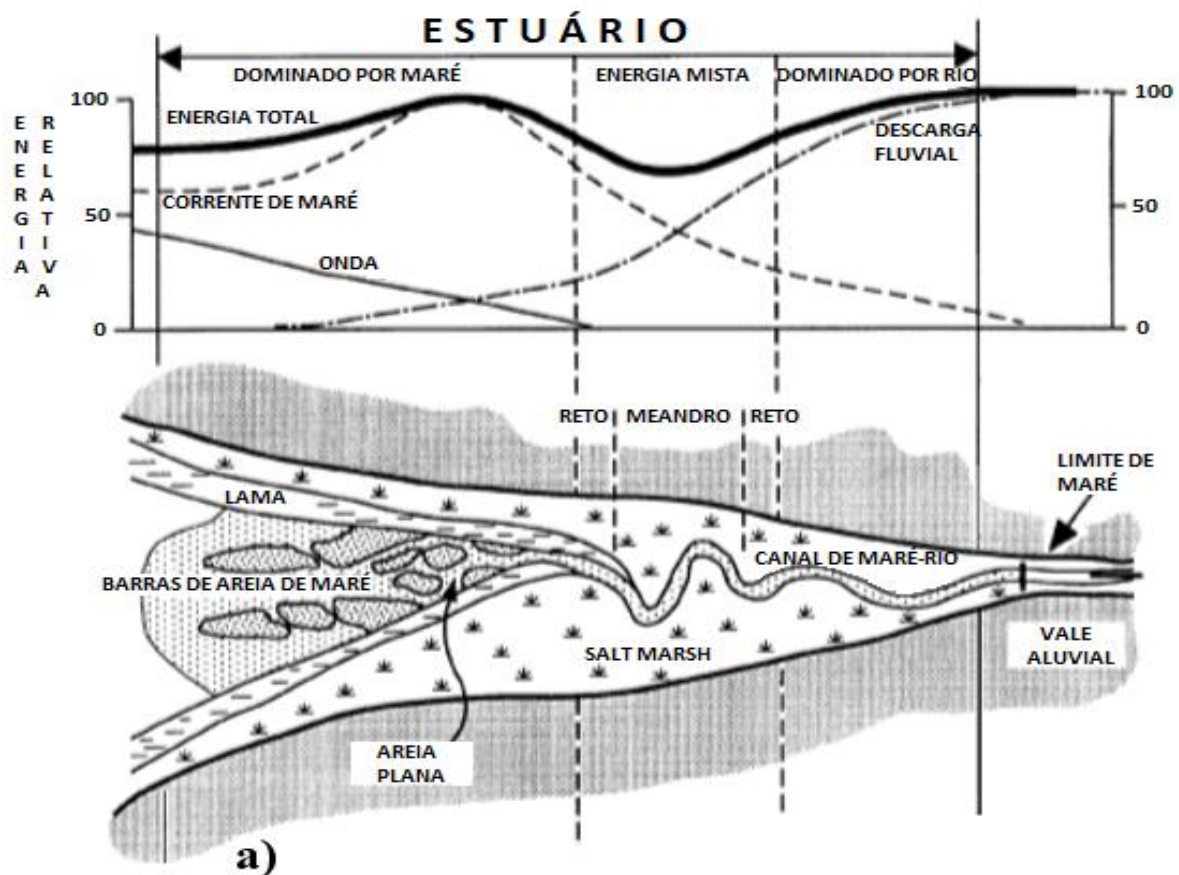
### **3.2.1 Classificação Quanto a Hidrodinâmica**

A ação de forçantes hidrodinâmicas, tais como ondas e marés, são preponderantes para a determinação dos níveis de energia e tipos de circulação de um determinado estuário. Dalrymple *et al.* (1992) propõem dois tipos de modelos de estuário baseados nessas forçantes, são eles: estuário dominado por maré e estuário dominado por ondas.

Nos estuários dominados por maré, a ação de ondas é limitada e a energia de marés é mais alta, os sedimentos são depositados longitudinalmente, paralelos a linha de costa, de

acordo com a entrada e saída da maré. Possui morfologia afunilada, na qual, atenua os efeitos da maré estuário acima devido a interações com a batimetria. A energia fluvial diminui em direção ao oceano devido as interações com a maré. E os pontos de energia mínima estão nos meandros de rios presentes no continente adentro (Figura 4.a).

Nos estuários dominados por ondas, a influência de marés é pequena com alta energia de onda. Os sedimentos são carreados ao longo da costa, onde são depositados originando uma barra arenosa transversal à desembocadura, que impede a entrada de ondas no estuário, bem como dificulta a importação e exportação de sedimentos. As ondas presentes neste estuário são ondas internas, geradas pelo vento local e as correntes de maré dissipam energia ao longo do estuário devido ao atrito na entrada. A energia fluvial é máxima na foz do rio e diminui em direção ao mar, portanto, a parte central do estuário é caracterizada com o mínimo de energia (Figura 4.b).



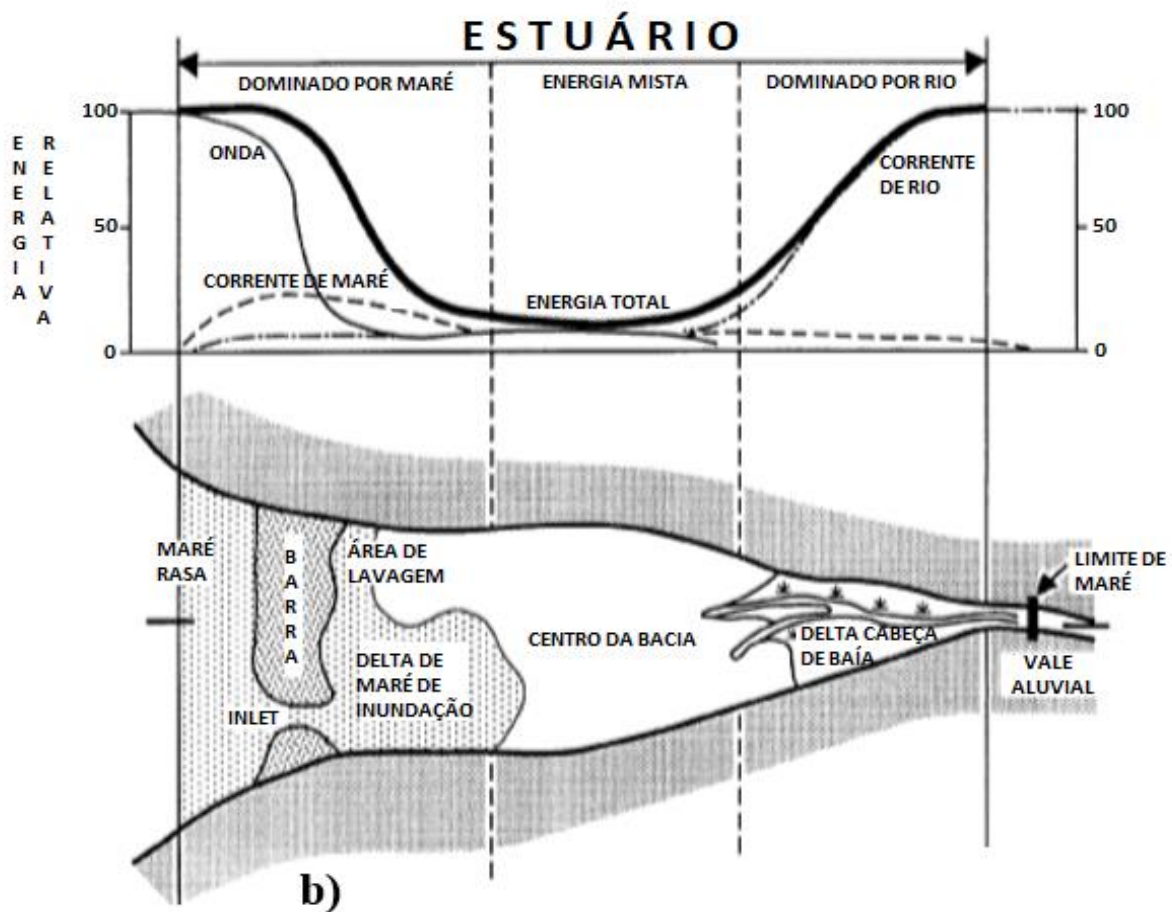


Figura 4- a) Perfil de energia e morfologia para o estuário dominado por maré; b) perfil de energia e morfologia para o estuário dominado por onda. Fonte: Adaptada de Dalrymple *et al.* (1992).

Em regiões costeiras e semifechadas, a altura máxima ( $H_{max}$ ) de maré pode aumentar, em até vários metros, como em baías, enseadas e estuários (Miranda, Castro e Kjerfve 2002). Desta forma, os estuários dominados por maré podem ser classificados de acordo com a altura da mesma, segundo Davies (1964), como estuários de:

Micromaré ( $H_{max} < 2 \text{ m}$ )

Mesomaré ( $2 \text{ m} < H_{max} < 4 \text{ m}$ )

Macromaré ( $4 \text{ m} < H_{max} > 6 \text{ m}$ )

Hipermaré ( $H_{max} > 6 \text{ m}$ )

As marés são imprescindíveis para o desenvolvimento de vegetação em áreas alagáveis do tipo mangue ou *saltmarsh* (da família das gramíneas). As áreas mais elevadas são inundadas periodicamente durante as marés altas com menor aporte de sedimentos e nutrientes, diferente de áreas mais baixas, favorecendo assim o desenvolvimento da vegetação nesses ambientes em uma taxa maior (French 1997, Miranda *et al.* 2002).

Em estuários de micromaré, o volume de água do mar que entra no estuário durante a maré enchente (prisma de maré) é pequeno, além disso a capacidade de renovação da massa de água que ocorre durante um ciclo de maré é menor que em estuários de macromaré e hipermaré (Miranda *et al.* 2002).

A interação de ondas, marés e morfologia do estuário geram variações na altura de maré e intensidade das correntes (Miranda *et al.* 2002). A convergência das margens do estuário comprime lateralmente o fluido, que na ausência de atrito acumula energia e ocorre o aumento da altura de maré, quando há atrito a altura diminui (Dyer 1997). Desta forma, segundo Nichols & Biggs (1985), o estuário pode ser classificado e hipersíncrono, síncrono e hiposíncrono, como na tabela 4.

Tabela 4- Classificação do estuário de acordo com a interação de ondas, marés e morfologia.

<b>Estuário</b>	<b>Descrição</b>
Hipersíncrono	A convergência excede o atrito; A altura aumenta ao longo do estuário;
Síncrono	Atrito e convergência estão em equilíbrio; Altura se mantém constante;
Hiposíncrono	O atrito excede a convergência; A altura de maré diminui ao longo do estuário.

Fonte: Nichols & Biggs (1985).

### 3.2.2 Classificação Quanto a Estratificação de Salinidade

De acordo com estudos feitos por Pritchard (1955) e Cameron & Pritchard (1963), os estuários podem ser classificados quanto ao seu perfil vertical de salinidade. Deste modo, determinam-se: estuário de cunha salina, estuário fracamente estratificado, estuário fortemente estratificado e estuário bem misturado (Figura 5).

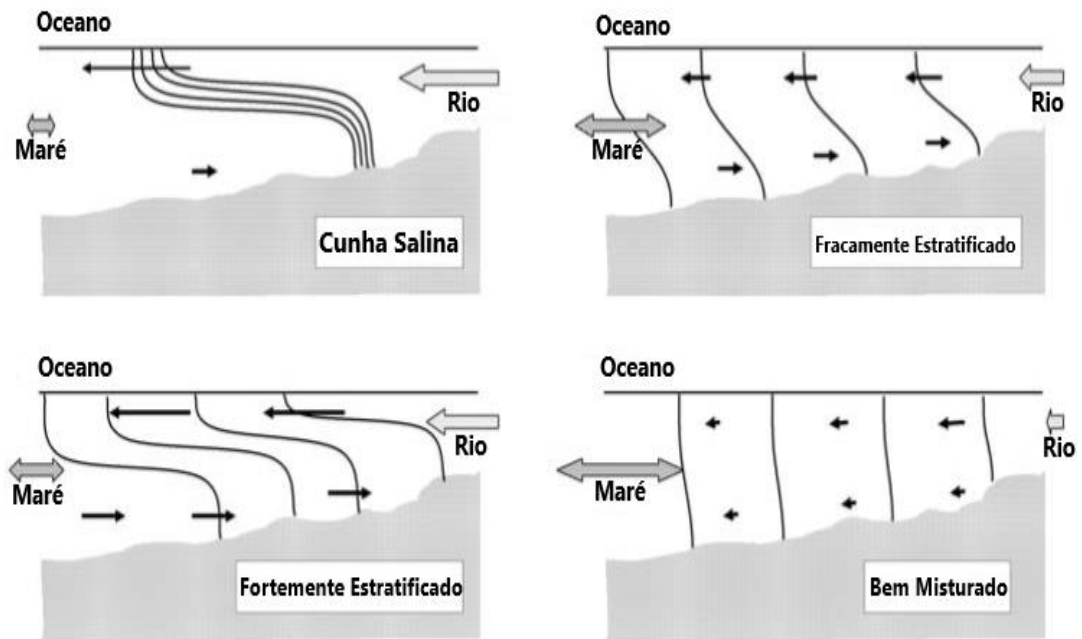


Figura 5- Classificação dos estuários de acordo com perfil de salinidade: cunha salina, fracamente estratificado, fortemente estratificado e bem misturado. Fonte: Adaptado de Valle-Levinson (2010).

O perfil é determinado pela interação entre a descarga fluvial e a maré de cada ambiente, como mostra a tabela 5, e o parâmetro de estratificação é a diferença de salinidade na superfície e no fundo da coluna d'água analisada (Genz 2006). No entanto, essa classificação é variável mensal ou sazonalmente, bem como entre autores (Rosário 2016).

Tabela 5- Descrição do tipo de estuário de acordo com a descarga fluvial e a maré.

<b>Tipo de Estuário</b>	<b>Descarga Fluvial</b>	<b>Maré</b>	<b>Detalhes</b>
Cunha Salina (salt-wedge)	Regime forte	Regime fraco	Estratificado durante a enchente e a entrada da maré gera a cunha salina (Valle-Levinson 2010)
<b>Tipo de Estuário</b>	<b>Descarga Fluvial</b>	<b>Maré</b>	<b>Detalhes</b>
Fracamente Estratificado (weakly stratified)	Regime de baixo para moderado	Regime de moderado para alto	Presença de uma haloclina com fraca variação vertical de salinidade entre a camada superficial e de fundo (Miranda, Castro e Kjerfve 2002)
Fortemente Estratificado (strongly stratified)	Regime de alto para moderado	Regime de fraco para moderado	Presença de uma picnoclina e variação vertical fraca de salinidade acima e abaixo da mesma(Valle-Levinson 2010). Saída de fluxo na camada superficial e entrada de fluxo fraco na camada de fundo devido a densidade (Valle-Levinson 2011)
Bem misturado (well-mixed)	Regime fraco	Regime alto	Se o estuário for largo e raso a entrada e saída de fluxo é lateralmente; já se o estuário for estreito a entrada de salinidade será apenas na enchente de maré (Valle-Levinson 2010)

### 3.2.4 Sedimentação em Estuários

De acordo McNally & Mehta (2009) os estuários são caracterizados pelo alto transporte de sedimentos em uma variedade de tamanhos, cujos grãos mais finos são predominantes na maioria destes ambientes, com pouco transporte de sedimentos maiores e mais grosseiros como cascalhos. O leito e as margens dos estuários são compostos, essencialmente, por lama (material orgânico e inorgânico) e argila, já na sua foz encontram-se areias de maior granulometria. Os sedimentos são classificados de acordo com sua composição e coesão de acordo com a escala de tamanho de Wentworth (1922) em silte ( $> 4 \mu\text{m}$ ), argila ( $< 4 \mu\text{m}$ ) e sedimentos muito fino, fino e médio, como mostra a tabela 6.

Tabela 6- Classificação dos sedimentos de acordo com a escala de Wentworth.

<b>Tamanho (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Classificação Escala de Wentworth</b>	<b>Coesão</b>
$> 2000$	Cascalhos e pedras	Sem coesão
63 - 2000	Areia	Sem coesão
40 - 63	Silte médio a silte grosso	Praticamente sem coesão
20 - 40	Silte fino a silte médio	Coesão cada vez mais importante com tamanho decrescente
2 - 20	Argila grossa a silte muito fino	Coesão importante
$< 2$	Argila muito fina a argila média	Coesão muito importante

Fonte: Adaptada de McNally & Mehta (2009).

Há diversas forçantes no estuário que podem gerar o transporte sedimentar, dentre elas a hidrodinâmica local, as marés, a descarga fluvial e ondas que produzem correntes, além da influência de processos meteorológicos como vento, tempestades e granizo. Em regiões onde tem-se velocidades de fluxo baixo, e a tração exercida sobre o leito for menor que um valor crítico de movimento incipiente, nenhum movimento ocorre. Já em ambientes de alta velocidade de fluxo, quando a tração excede o valor crítico, os grãos começam a se movimentar ao longo do leito (McNally & Mehta 2009). Por fim, o transporte de materiais e sedimentos pode ocorrer de diversas maneiras: em suspensão, solução, saltação ou arrasto.

Tendo em vista os mecanismos de distribuição e transporte de sedimentos dentro do estuário, existem ainda dois processos que podem caracterizar este ambiente (Duarte & Vieira 1997), a importação e exportação de sedimentos. A exportação promove o assoreamento da zona costeira e a distribuição de materiais, sedimentos e poluentes ao longo do sistema fluvial, E a importação promove o transporte de materiais e sedimentos em direção a montante do rio, a partir das ações da maré.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

Esse estudo foi realizado no estuário do rio Pará, onde estão localizados importantes centros econômicos como a região metropolitana de Belém e Barcarena. O município de Belém compreende cerca de 39 ilhas (Silva & Lobato 1997, Segep 2009), dentre as quais está a ilha de Cotijuba localizada à margem direita do estuário do rio Pará (entre as baías de Marajó e do Guajará), ocupando uma área de 16.055 km<sup>2</sup> com aproximadamente 20 km de praia (Mascarenhas *et al.* 2009). Esta é uma posição estratégica para estudos meteoceanográficos, pois está situada em uma das margens do canal principal do estuário sob influência direta de padrões hidrodinâmicos resultado das interações entre a alta descarga fluvial e a maré (Figura 6).



Figura 6- Praia estuarina do Vai-Quem-Quer localizada na ilha de Cotijuba/PA, na margem direita do estuário do rio Pará.

A ilha apresenta um alto potencial turístico, cujas praias mais frequentadas são a praia do Farol, a praia da Saudade e a praia do Vai-Quem-Quer. Nesta última, foram realizadas as coletas mensais de dados, onde foram definidos dois pontos de coleta, baseados na morfologia e logística local, o primeiro para a instalação da estação meteoceanográfica nas

coordenadas  $1^{\circ}13'25.56''\text{S}$  e  $48^{\circ}33'35.28''\text{O}$ , e o segundo para o fundeio do sensor de pressão nas coordenadas  $1^{\circ}13'12,90''\text{S}$  e  $48^{\circ}32'53,63''\text{O}$  (Figura 7).

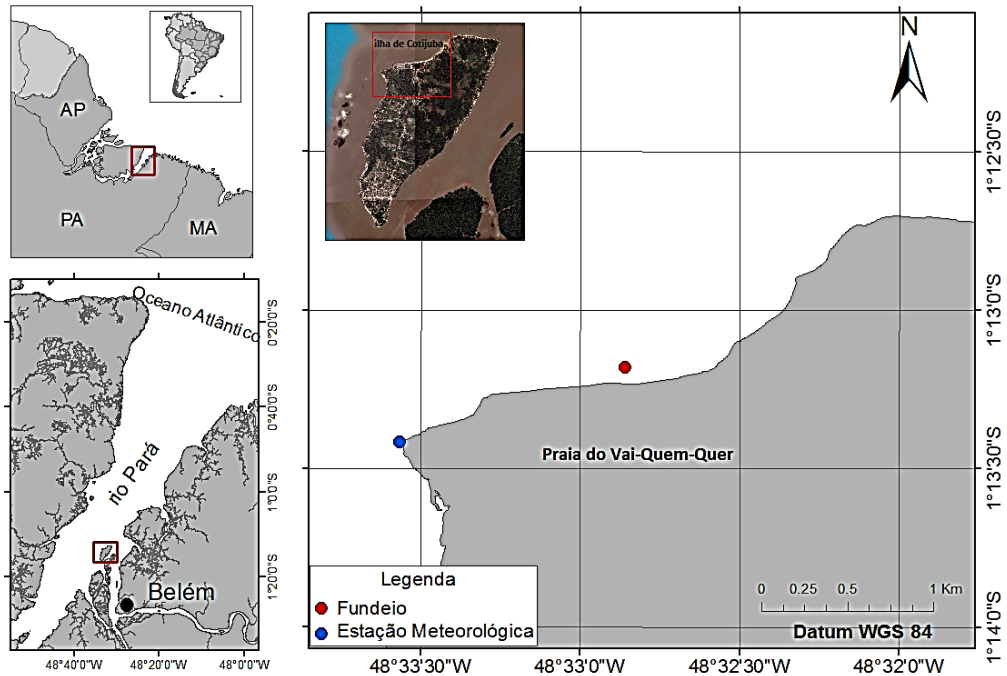


Figura 7- Mapa de localização da área de estudo da praia do Vai-Quem-Quer, localizada na ilha de Cotijuba/PA. Em vermelho destaca-se o ponto de fundeio de um sensor de pressão para a coleta dos dados de onda e em azul representa a instalação da estação meteoceanográfica para obtenção dos dados de vento.

#### 4.1.1 Caracterização Climática

A sazonalidade característica dessa região se dá pelo deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a qual é dividida em estações: chuvosa (dezembro a maio), menos chuvosa (junho a novembro), e os meses de janeiro e junho podem apresentar um comportamento transicional (Figura 8), as quais podem sofrer retardo ou antecipação de chuvas de maior ou menor intensidade, de acordo com a variação atmosférica (Lima *et al.* 2005, Moraes *et al.* 2005). Os meses com maiores índices de pluviosidade são compreendidos entre os meses de fevereiro a abril, e de maior índice de estiagem corresponde aos meses de setembro a novembro (Lima *et al.* 2005). Durante o período chuvoso, ocorre a predominância de ventos alísios constantes e moderados com direção a NE (Costa *et al.* 1996).

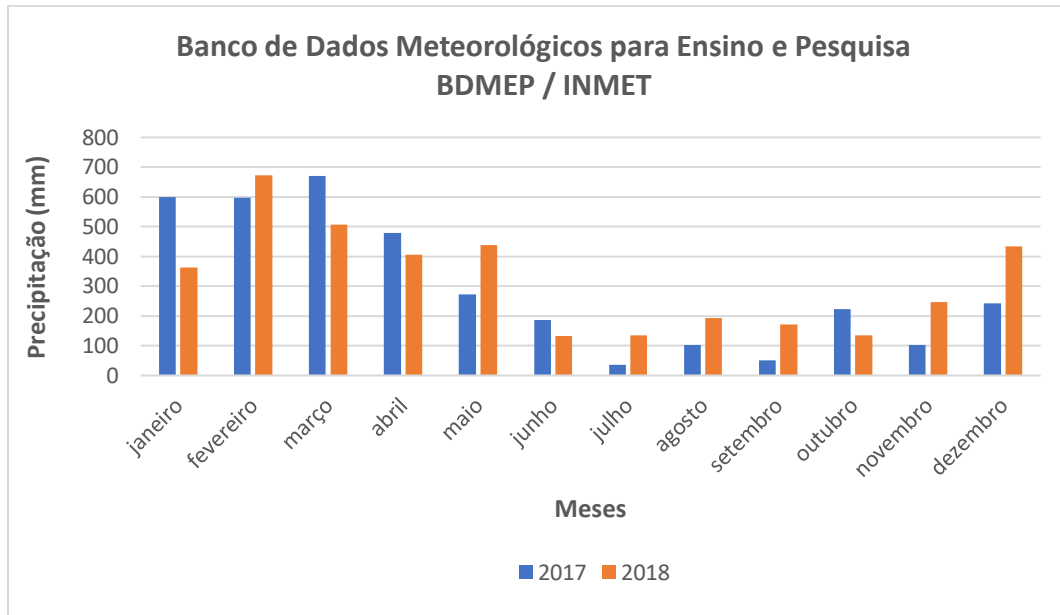


Figura 8- Em azul tem-se a precipitação total mensal (mm) para o ano de 2017 e em alaranjado representa a média total mensal (mm) para o ano de 2018, na estação meteorológica de Belém. Fonte: BDMEP/INMET.

Em síntese com a forte sazonalidade, a ilha de Cotijuba também sofre influência do ENSO – El Niño Oscilação Sul, que pode promover alterações positivas (El Niño) e negativas (La Niña) na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), e, dessa forma, modificar o regime pluviométrico e de ventos da região. No período do estudo foi identificada a presença de La Niña entre agosto de 2017 e julho de 2018 (CPTEC/INPE 2018), de intensidade moderada (com valores superiores à  $-1,5^{\circ}\text{C}$ ). Os impactos gerados por esse fenômeno podem acarretar um aumento na intensidade dos ventos alísios e, para o norte do Brasil, na intensidade das estações chuvosas podendo justificar cheias mais expressivas em alguns rios amazônicos. A Figura 9, mostra a normal climatológica para os anos de 2017 e 2018, para uma análise mensal da precipitação. Nota-se que houve um aumento das chuvas durante o período chuvoso.

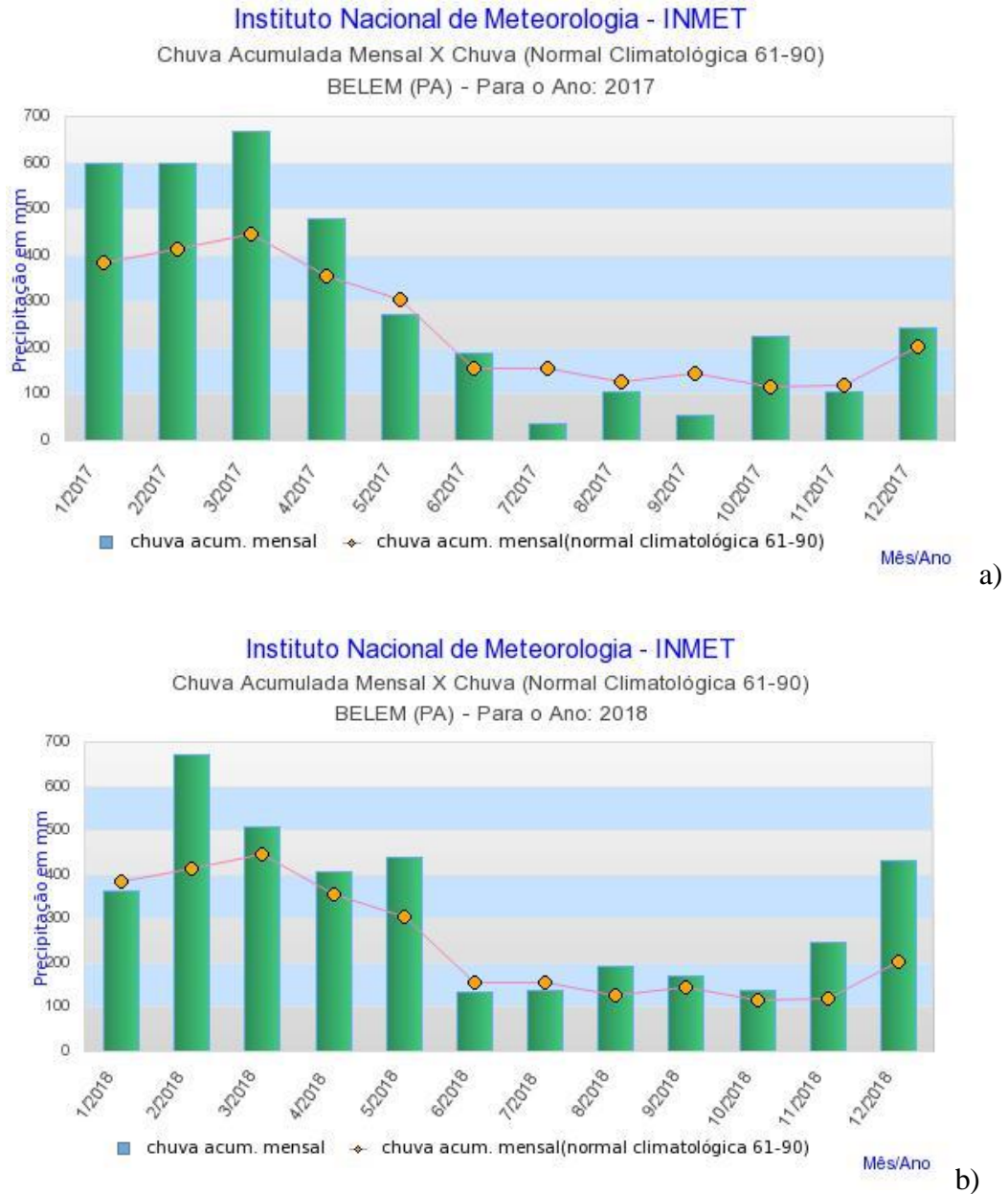


Figura 9- Gráfico da normal climatológica mensal para o ano de a) 2017 e b) 2018 da estação de Belém. Os gráficos mostram um aumento no nível de chuvas durante o período chuvoso.

O clima é tropical chuvoso quente e super-úmido, com altos índices pluviométricos de aproximadamente 3000 mm.Ano-1 (Gille & Mota 2014). A umidade relativa do ar apresenta-se em torno de 90% e 80% para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. A temperatura varia de 24°C a 33°C, atingindo uma média por ano de 26°C.

#### 4.1.2 Caracterização Hidrográfica

O estuário do rio Pará está sob influência de macro e mesomaré semi-diurna de acordo com as condições de sizígia e quadratura, além da localização dentro do estuário. Seus principais tributários são: o rio Tocantins, parte da descarga do rio Amazonas através do Estreito de Breves (em torno de 5% da descarga média), o rio Guamá (Baía do Guajará), o rio Paracauari e pequenos canais que cortam suas planícies alagáveis (Callède *et al.* 2010).

A descarga fluvial que atinge o estuário do rio Pará pode ser dividida em períodos de máxima descarga, referente aos meses de janeiro a junho, e de mínima descarga, referente aos meses de julho a dezembro. A descarga fluvial associada com a maré pode chegar a valores de 300.000 m<sup>3</sup>/s e 200.000 m<sup>3</sup>/s na vazante e enchente, respectivamente (Prestes *et al.* 2014).

Desta forma, o estuário do rio Pará possui um importante papel socioeconômico e ambiental, possuindo uma descarga líquida de aproximadamente 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup> (Prestes *et al.* 2014) cujo aporte de água doce é de fundamental importância para a circulação geral dos oceanos e manutenção do clima. Este estuário também possui mais de 300 km de extensão e cerca de 40-50 km entre suas margens na foz (Prestes 2016).

#### 4.1.3 Caracterização Oceanográfica

As ondas de marés podem ser definidas como a variação vertical na superfície do mar. Estas são geradas através das forças gravitacional e centrífuga. A força gravitacional é ocorre a partir da interação da lua (em maior intensidade) e do sol (em menor intensidade) com a Terra (Miguens 1995). E a força centrífuga é gerada pela rotação da Terra e da Lua (Lalli & Parsons 1997).

O movimento dos astros no sistema Terra-Lua-Sol promove variações nas forças gravitacionais, os quais são traduzidos em movimentos harmônicos compostos, que se decompostos tornam-se movimentos harmônicos simples (Miguens 1995). Esses componentes expressam as variações na posição da Terra, Lua e Sol (Simonetti 2016).

O comportamento da maré, bem como as correntes geradas por elas, associadas dentro de um sistema estuarino são preponderantes para o desenvolvimento de diversos processos, como a mistura de água oceânica e estuarina, o transporte de sedimentos e renovação de águas internas (Miayo & Harari 1989). Quando as marés adentram os estuários, ou zonas mais rasas da plataforma continental, a interação da maré com a batimetria gera

distorções na sua propagação (Miayo & Harari 1989) que podem ter seu efeito ampliado ou atenuado ao longo do estuário.

As marés oceânicas são classificadas em diferentes padrões, cada qual distingue-se por seus determinados constituintes principais, como mostra a Tabela 7. Na Plataforma Continental Amazônica (PCA) ocorre a predominância da maré semi-diurna, ou seja, duas preamares e duas baixa-mares no dia e um regime de macromaré (Beardsley 1995). Desta forma, a grande extensão da PCA é propícia para ampliações das componentes semi-diurnas da maré (Fontes 2000). Segundo Beardsley (1995), as componentes harmônicas predominantes na PCA são:  $M_2$ ,  $S_2$  e  $N_2$ , as quais são responsáveis por 85% da variação de nível, entre as quais Rosário *et al.* (2016) destacaram a componente  $M_2$ , responsável por aproximadamente 40% da amplitude total de maré astronômica.

A amplitude da onda de maré que entra no estuário é amplificada na foz, e atenuada em até 70% ao longo do estuário (até o Estreito de Breves). Desta forma, a maré, ao adentrar a porção interna do estuário, passa de macro para micromaré (Rosário *et al.* 2016).

Tabela 7- Principais constituintes harmônicas puras de maré.

<b>Componente Harmônica</b>	<b>Modo de Maré</b>	<b>Período T (h)</b>
Maré Semi-diurna		
* $M_2$	Principal Lunar	12.421
* $S_2$	Principal Solar	12.000
* $N_2$	Elíptica Lunar	12.658
$K_2$	Declinação Luni-Solar	11.967
Maré Diurna		
$K_1$	Declinação Luni-Solar	23.935
$O_1$	Principal Lunar	25.819
$P_1$	Principal Solar	24.066
$Q_1$	Elíptica Lunar	26.868

<b>Componente Harmônica</b>	<b>Modo de Maré</b>	<b>Período T (h)</b>
Maré de Longo Período		
Mf	Lunar Quinzenal	327.86
Mm	Lunar Mensal	661.31
Ssa	Energia Solar Semestral	4383.04

Fonte: Adaptado de Apel (1987).

De acordo com estudos feitos por Prestes (2016) para a propagação das componentes de maré M2 e M4 (componente quarti-diurna), o estuário do rio Pará é caracterizado por possuir assimetria positiva em relação aos estados de enchente e vazante da maré. A componente M4 de maré, portanto, vai indicar o aumento da amplitude e presenças de oscilações secundárias neste ambiente.

#### **4.1.4 Caracterização Geológica**

A bacia do Marajó, localizada ao norte do Brasil, é conhecida como um complexo geológico denominado “sistema de rifte do Marajó”, segundo Galvão (1991). Com limites definidos pela bacia do Amazonas, bacia de São Luís-Grajaú e as plataformas Bragantina e do Pará (Nascimento 2002). A porção centro-ocidental da ilha de Marajó, a qual compõe o Golfão Marajoara, tem origem no período Pleistoceno, antes da grande regressão do nível do mar durante o Pré-Holoceno (Martins 2010).

A geologia local, de acordo com Martins (2007), é composta por sedimentos do Terciário (formação Barreiras) e Quaternário (formação Pós-Barreiras). Sendo a primeira presente na porção continental de Barcarena (Martins & Mendes 2011), e a segunda comumente encontrada nas margens dos rios, apresentando afloramentos lateríticos e argilosos, os quais compõem barrancos que constituem um sistema de terras caídas em síntese com seus terraços (Martins 2010).

O estuário do rio Pará, assim como em outras regiões da bacia do Marajó, é caracterizado por apresentar uma batimetria irregular, com formação de bancos arenosos

causados pela intensa sedimentação e transporte de sedimentos pelas correntes de marés (Prestes 2016) compostos por areia, silte, argila e matéria orgânica.

Os níveis topográficos da região são baixos em áreas de ilhas e nas margens dos canais dos rios, no entanto, o município de Barcarena apresenta um alto nível de aproximadamente 15 m (Prestes 2013). No âmbito da classificação de relevos, as praias fluviais apresentam cota inferior a 2 m, as Terras Firmes Emersas com cota de 2 a 5 m, as Terras Altas com cota acima de 5 m e os Platôs com cota superior a 10 m (Boulhosa 2007). Nesse contexto, segundo Boulhosa (2007), são reconhecidas duas unidades morfológicas e quatro unidades de paisagem segundo a metodologia proposta por Ross (1996) para classificação morfológica, estabelecidas na tabela 8, a qual possui sua configuração atual condicionada aos regimes de fluxo e refluxo da maré astronômica.

Tabela 8- Unidades morfológicas e ambientes costeiros da Amazônia.

<b>Unidades Morfológicas</b>	<b>Unidades de Paisagem</b>
Planalto Rebaixado da Amazônia	Regiões de Terra Firme
Planície Amazônica	Planície Aluvial
	Praias Fluviais
	Canais Fluviais

Fonte: Adaptada de Boulhosa (2007).

#### **4.1.5 Caracterização Geomorfológica**

O estuário Amazônico, do qual faz parte o estuário do rio Pará, é caracterizado por apresentar a forma de um funil, podendo ser classificado como um estuário de planície costeira dominado por marés, predominantemente semi-diurnas (Borba 2014).

A distribuição de salinidade ao longo do tempo no estuário está em função da dinâmica entre maré e descarga fluvial, sendo esta última mais importante. Deste modo, a intrusão salina no estuário do rio Pará ocorre em períodos de baixa descarga fluvial (Bezerra *et al.* 2011, Baltazar *et al.* 2011) o qual produz processos de estratificação, advecção e difusão. Entretanto, as marés astronômicas constituem o papel principal para os processos ocorridos neste estuário.

No período de alta descarga, aplicando-se o modelo numérico observou-se que, a intrusão salina pode chegara até 70 km, em período de média descarga a intrusão chega até 110 km e em períodos de baixa descarga a intrusão salina se propaga até 130 km da foz do estuário em direção a montante (Rosário *et al.* 2016).Em análises feitas por Prestes *et al.* (2014) pode-se concluir que o estuário do rio Pará é dominado pelo regime de marés e a vazante não apresenta transporte de sal, ou seja, este estuário não possui um perfil longitudinal de alta salinidade, ficando em torno de 0-5.

O fator determinante para o gradiente lateral de salinidade no rio Pará é dado pela geomorfologia e largura dos canais, visto que este estuário está localizado na região equatorial, o que indica o efeito quase nulo de Coriolis (Rosário 2016). Desta forma, Bezerra *et al.* (2011) classificaram o estuário do rio Paracauari, no Marajó, como bem misturado ou levemente estratificado, de acordo com a classificação de Hansen & Rattray (1966) e a mesma classificação foi proposta por Baltazar *et al.* (2011) para o rio Pará.

## 5 AMOSTRAGEM

A coleta de dados de onda ocorreu no período de setembro (2017) a julho (2018), obtidos a partir de um sensor de pressão modelo Infinity-WH da JFE Advantech fundeado após a linha de baixa mar de sizígia (Figura 10). O sensor foi programado para fazer leituras a cada 0,5 s, ao longo de dois ciclos semidiurnos de maré de sizígia (25 horas), com campanhas mensais ao longo de nove meses (Tabela 9). Dessa forma as ondas de alta frequência foram identificadas, bem como sua variação ao longo do ciclo de maré e sazonalidade. No entanto, devido a problemas logísticos ocorreu variação da frequência de amostragem, a qual foi padronizada a partir da interpolação de dados.



Figura 10- Sensor de pressão utilizado para a coleta mensais de dados de onda em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará, de 2017 a 2018. Fonte: Google imagens.

Tabela 9- Informações de aquisição dos dados brutos de onda (data, hora e frequência) para os meses de setembro de 2017 a julho de 2018, onde se padronizou a frequência amostral para 0,5 s.

Meses	Início		Fim		
	Data	Hora	Data	Hora	Frequência (s)
Setembro	18/09/17	16:00:00	19/09/17	20:09:59	0,1
Outubro	17/10/17	16:00:00	18/10/17	19:42:42	1
Dezembro	17/12/17	04:00:00	18/12/17	06:36:48	0,5
Janeiro	15/01/18	16:00:00	16/01/18	18:59:48	2
Fevereiro	16/02/18	16:00:00	17/02/18	22:32:56	0,5
Março	18/03/18	14:30:00	19/03/18	07:27:06	0,5
Maior	14/05/18	16:00:00	15/05/18	18:02:48	0,5
Junho	13/06/18	16:00:00	14/06/18	18:09:59	0,5
Julho	11/07/18	16:00:00	12/07/18	21:09:59	0,5

A coleta de dados de vento ocorreu simultaneamente aos dados de onda a partir de estação meteoceanográfica fixa constituída por uma estação meteorológica GMX600 Maxi Met da GILL, alimentada por luz solar através de painéis fotovoltaicos de 6 watts, um Data Logger da Campbell Scientific e um Modem GSM (Figura 11). A estação foi instalada na margem direita do estuário do rio Pará, na ilha de Cotijuba, durante o período de setembro de 2017 a maio de 2018, fazendo a medição de dados a cada 5 minutos, armazenados no Data Logger e disponibilizados em tempo real via transmissão GSM.

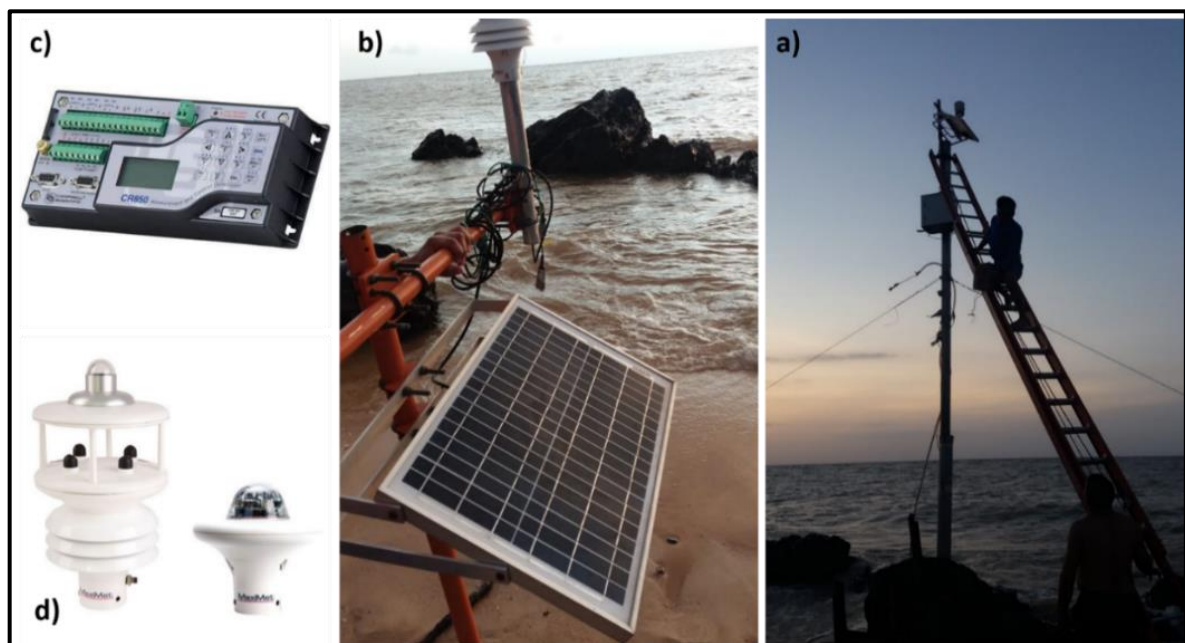


Figura 11- a) Estação meteoceanográfica fixa instalada em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará, para a aquisição dos dados de vento referente aos meses de setembro de 2017 a maio de 2018, b) Painel fotovoltaico de 6 watts, c) Data Logger Campbell Scientific e d) Estação meteorológica GMX600 Maxi Met da Gill.

## 6 ANÁLISES LABORATORIAIS

### 6.1 ONDA

Durante o processamento e análise dos dados de onda, realizados em ambiente Matlab no Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental e Marinho – LAPMAR, as ondas unitárias foram definidas segundo metodologia proposta por Holthuijsen (2007) pelo método do zero ascendente (Figura 13). Este método considera a onda como a elevação da superfície do mar entre dois cruzamentos de zero ascendente ou descendente, observados na Figura abaixo, cujo zero é a média das elevações da superfície (Holthuijsen 2007).

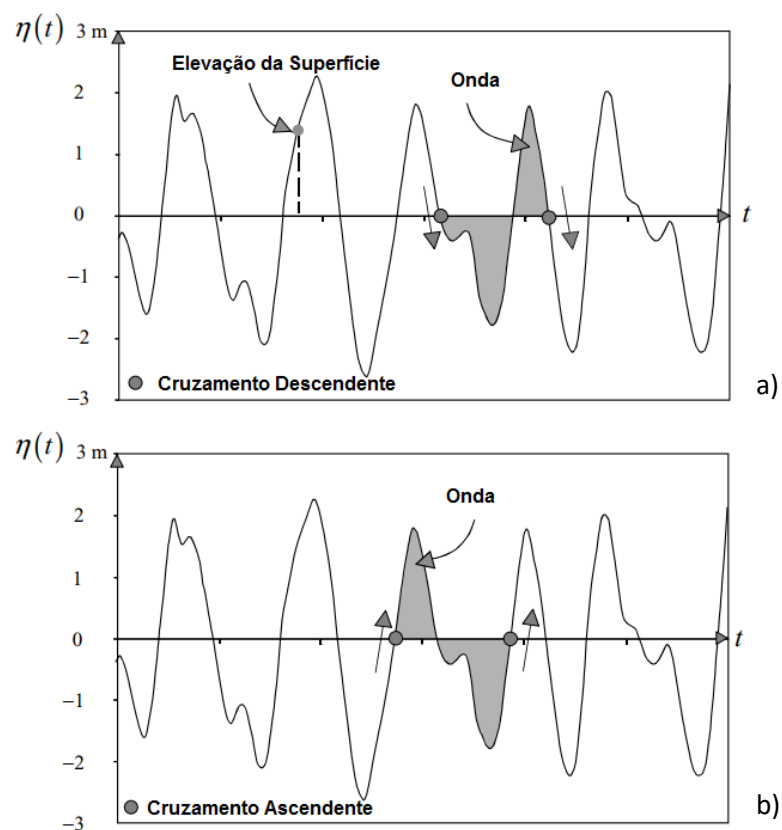


Figura12- Método do a) zero ascendente e b) zero descendente. Fonte: Holthuijsen (2007).

A partir das ondas definidas, a altura e período significativo foram calculados através da metodologia de 1/3, na qual se considera apenas o 1/3 das ondas de maior amplitude para fazer médias de altura e período (Equação 1). A metodologia computacional utilizada na função em linguagem Matlab para todo o tratamento de dados de onda foi desenvolvida por Lima (2016).

$$\text{Altura Significativa} = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_{0,j} \quad 1)$$

Onde: N é igual ao número total de registros de alturas de onda, j representa o número de classificação da onda, com base na altura (sendo j = 1 a onda mais alta, j = 2 a segunda onda mais alta, etc.), e  $H_0$  a altura da onda calculada pelo ponto mais alto da crista menos o ponto mais baixo do cavado de onda, definidos a partir do método de zero ascendente. A altura de onda é dada em metros.

$$\text{Período Significativo} = T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_{0,j} \quad 2)$$

Onde: N é igual ao número total de registros de períodos, j representa o número de classificação da onda com base na altura (sendo o mesmo j da definição da altura significativa) e  $T_0$  o período da onda como o intervalo de tempo entre o início e o fim definidos a partir do método de zero ascendente. O período de onda é dado em segundos.

Durante o processamento dos dados foram determinados os seguintes parâmetros: altura significativa ( $H_s$ ), altura máxima ( $H_{max}$ ), período significativo ( $T_s$ ), energia ( $E$ ), potência ( $P$ ) e nível de superfície livre – maré ( $d$ ). Os parâmetros de  $E$  e  $P$  foram calculados segundo Holthuijsen (2007) para águas rasas conforme as equações 2 e 3, respectivamente:

$$\text{Energia} = E = \rho_w * g * \frac{H^2}{8} \quad 3)$$

Onde:  $\rho_w$  é a densidade da água (considerando  $125 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  representa a gravidade (considerando  $10 \text{ m/s}$ ) e  $H$  é a altura significativa de onda. A energia é dada em Joules.

$$\text{Potência} = P = E * C_g \quad 4)$$

Onde:  $E$  é a energia de onda e  $C_g$  é a celeridade de grupo, calculada a partir da teoria linear de Airy. A potência é dada em Watts.

Considerando a pequena amplitude de ondas, aplica-se a teoria linear de Airy, (Piccoli 2005) a fim de se definir celeridade de grupo e assim calcular a energia e potência das ondas. A teoria é aplicada a ondas que ocorrem em regiões profundas, mas seu uso é permitido nesse estudo visto as pequenas amplitudes de onda observadas na região, como é o caso da praia do Vai-Quem-Quer em Cotijuba/PA.

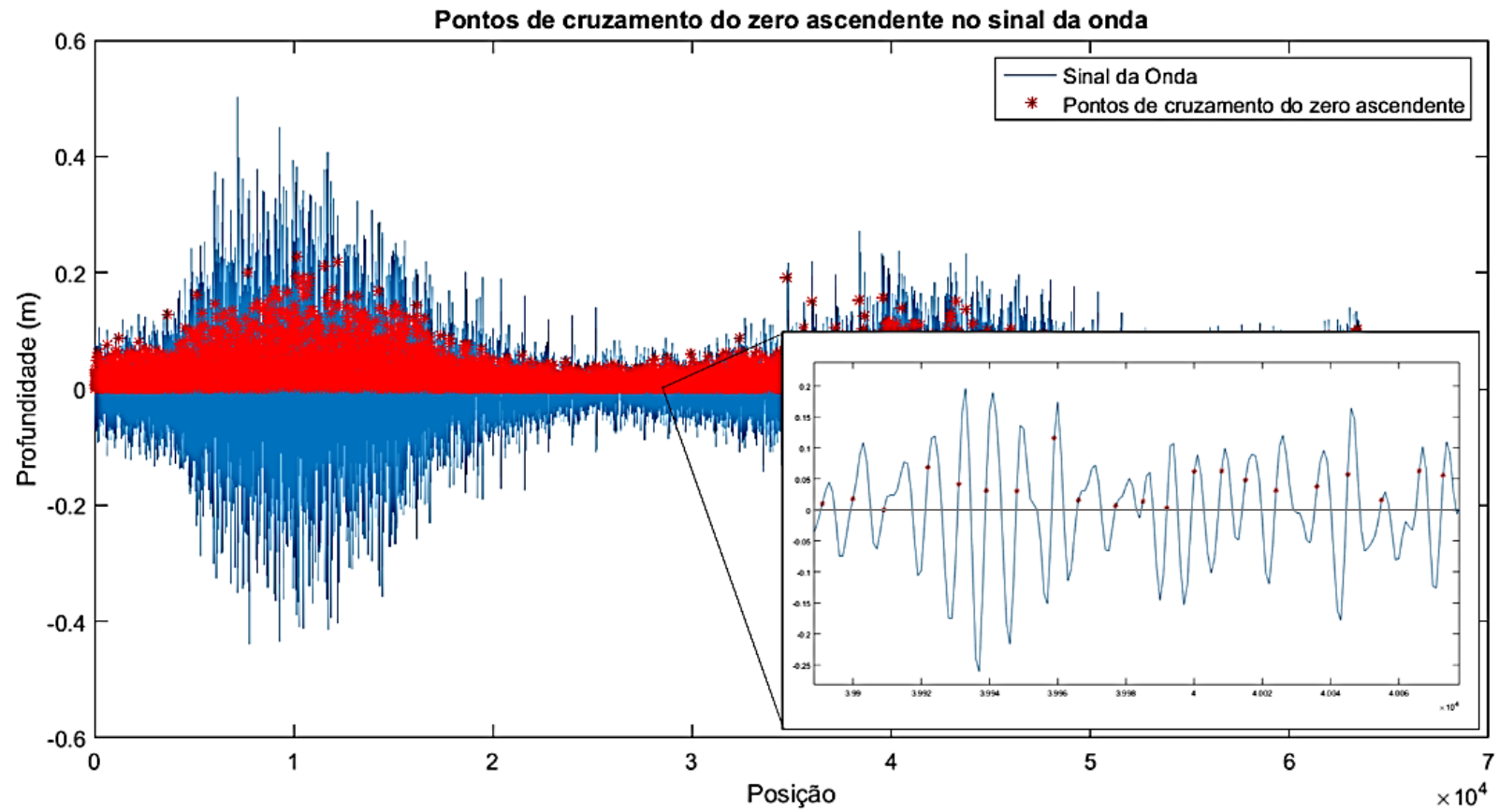


Figura 13- Pontos de cruzamento do zero ascendente, após a aplicação do método de mesmo nome, no perfil de onda em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará, para o mês de setembro de 2017.

## 6.2 VENTO

Em laboratório, os dados foram submetidos à análise de frequência onde se definiu a velocidade e direção do campo de vento com maior frequência durante o período de amostragem, a partir de cálculos realizados em ambiente Matlab. Este dado por sua vez foi correlacionado com os dados de onda observados (Tabela 2).

Tabela 10- Informações de aquisição dos dados brutos de vento (data, hora e frequência) para os meses de setembro de 2017 a maio de 2018, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

Meses	Início		Fim		
	Data	Hora	Data	Hora	Frequência de amostragem (min)
<b>Setembro</b>	20/09/17	00:00:00	30/09/17	23:55:00	5
<b>Outubro</b>	01/10/17	00:00:00	31/10/17	23:55:00	5
<b>Novembro</b>	01/11/17	00:00:00	30/11/17	23:59:00	0,5 - 5
<b>Dezembro</b>	30/11/17	11:04:00	27/12/17	12:10:48	1
<b>Janeiro</b>	01/01/18	00:00:00	31/01/18	23:59:00	1
<b>Fevereiro</b>	01/02/18	00:00:00	28/02/18	23:59:00	1
<b>Março</b>	01/03/18	00:00:00	31/03/18	23:59:00	1
<b>Abril</b>	31/03/18	09:04:00	01/05/18	15:04:00	1
<b>Mai</b>	30/04/18	09:04:00	15/05/18	16:00:00	1

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os parâmetros de onda e vento estão organizados na tabela 11. Esta contém a variação dos valores máximos para cada parâmetro de onda e vento referentes a todos os meses de medição. No entanto, alguns meses não mostraram registros.

Tabela 11- Valores máximos de Hs, Hmax, Ts de onda associados aos valores máximos de intensidade e direção do vento de setembro de 2017 a julho de 2018 em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

Meses	Onda			Vento	
	Hs (m)	Hmax (m)	Ts (s)	Velocidade (m/s)	Direção (°)
Setembro	0,53	0,82	5,58	5	15 / NNE
Outubro	0,55	0,97	5,67	5	15 / NNE
Novembro	<i>Sem Registro</i>			3	30 / NNE
Dezembro	0,60	0,85	5,09	3	30 / NNE
Janeiro	0,32	0,56	8,34	3	30 / NNE
Fevereiro	0,40	0,66	5,35	3	30 / NNE
Março	0,33	0,60	4,89	3	30 / NNE
Abril	<i>Sem Registro</i>			1	30 / NNE
Maio	0,28	0,45	5,45	1	30 / NNE
Junho	0,13	0,23	5,13	<i>Sem Registro</i>	
Julho	0,59	0,96	5,26	<i>Sem Registro</i>	

De acordo com os dados de período significativo (Ts), obtém-se que as ondas são geradas pelo vento e ficam abaixo de 30 segundos, ondas que ultrapassam esse valor são chamadas de ondas gravitacionais (Holthuijsen 2007). As ondas registradas no estudo durante os meses de medição variaram de 0 a 10 segundos. Com maior período no mês de janeiro (8,34 s). Esse parâmetro é importante para se determinar o tipo de força geradora de onda e como ela vai atuar na morfologia e hidrodinâmica da praia.

O padrão de comportamento dos parâmetros de onda e vento mostraram significativas diferenças de valores para os períodos seco e chuvoso. Desta forma, a análise destes foi feita de acordo com o perfil de Hs, Hmax, Ts, intensidade e direção do vento para ambos os períodos. Os resultados de altura de onda (Hs e Hmax) para os meses estudados indicam maiores ondas no período seco, com altura significativa média de 0,45 m e altura

máxima média de 0,74 m. No período chuvoso, as ondas foram de menor altura, com média de 0,38 m para altura significativa e média de 0,62 m para altura máxima.

A análise dos resultados das maiores alturas de ondas mostrou que estas foram obtidas no período de enchente, todavia, para o mês de junho as maiores ondas foram relativas ao período de estufa de preamar. As análises foram feitas de acordo com a variação mensal da superfície livre – maré (d) para os dois períodos. Em síntese, o comportamento da altura máxima e altura significativa de onda esteve em concordância com o padrão de elevação da maré, apresentando valores máximos na enchente e preamar, e valores mínimos na vazante e baixa-mar.

De acordo com Silva Junior *et al.* (2006), as maiores velocidades de vento ocorrem na estação seca devido ao maior aquecimento diferencial da superfície. Na estação chuvosa ocorre um retardamento dos seus valores máximos de velocidade associada às características de precipitação da estação. Oriundo das análises feitas durante o processamento dos dados de vento, observou-se que as ondas maiores foram devido à intensidade dos ventos. Ventos mais intensos e direcionais ocorreram durante o período seco e menos intensos (Figuras 14, 15, 16 e 23) e sem direção preferencial durante o período chuvoso ((Figuras 17, 18, 19, 20, 21 e 22).

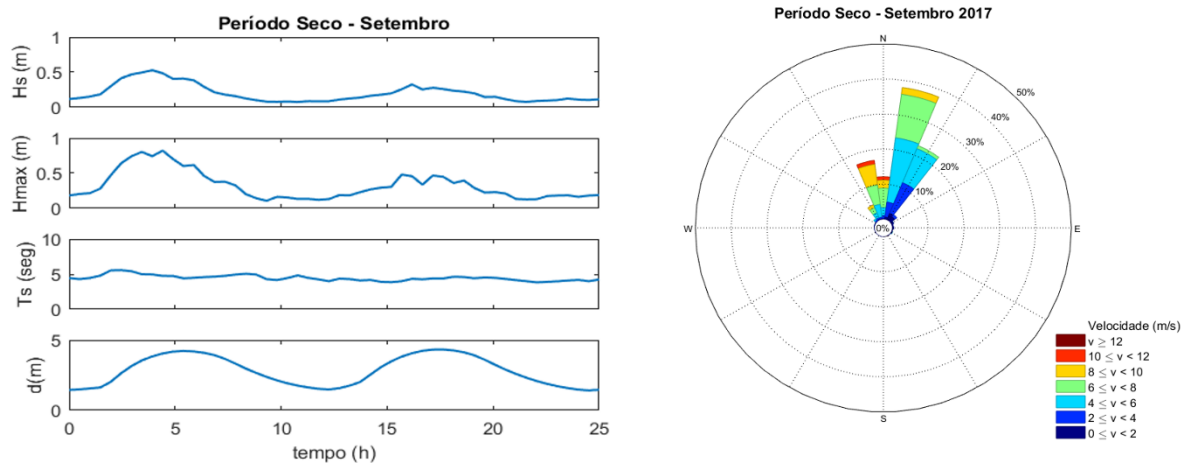


Figura 14- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de setembro, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

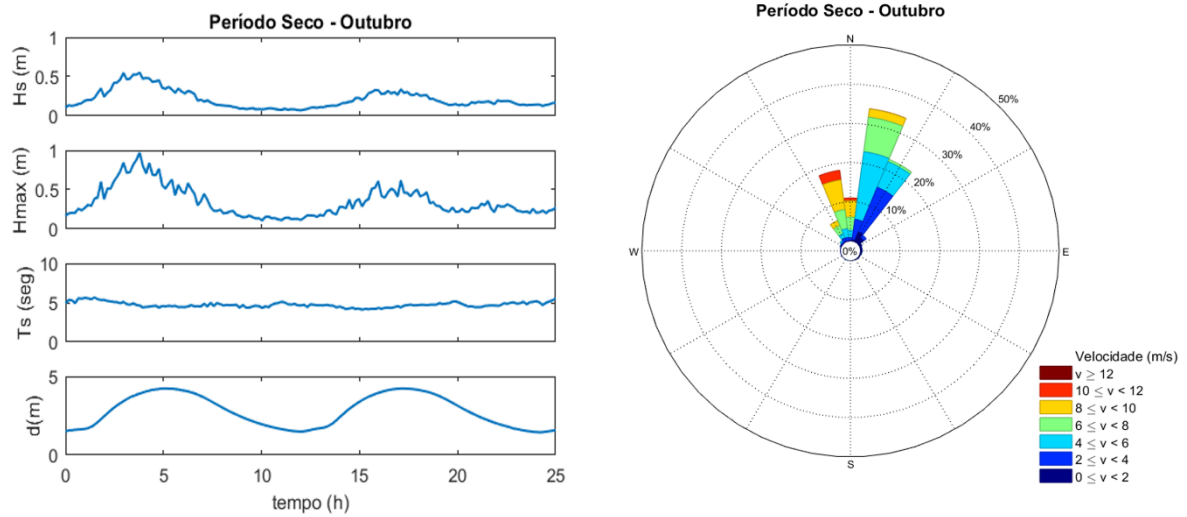


Figura 15- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de outubro, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

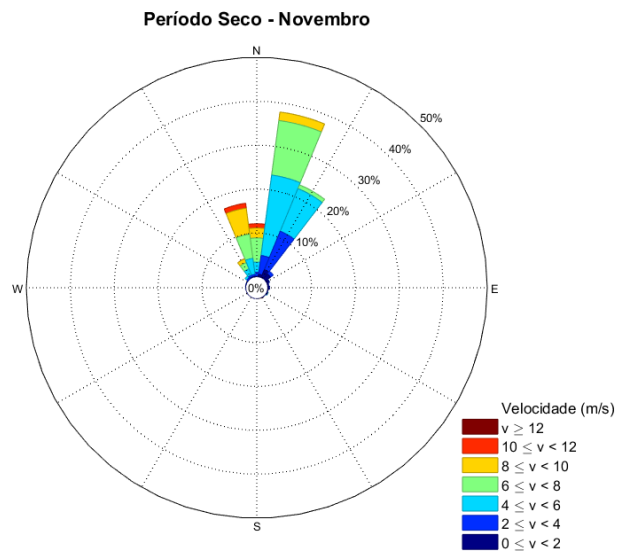


Figura 16- Parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de novembro, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará. Neste mês não houve coleta de dados de onda.

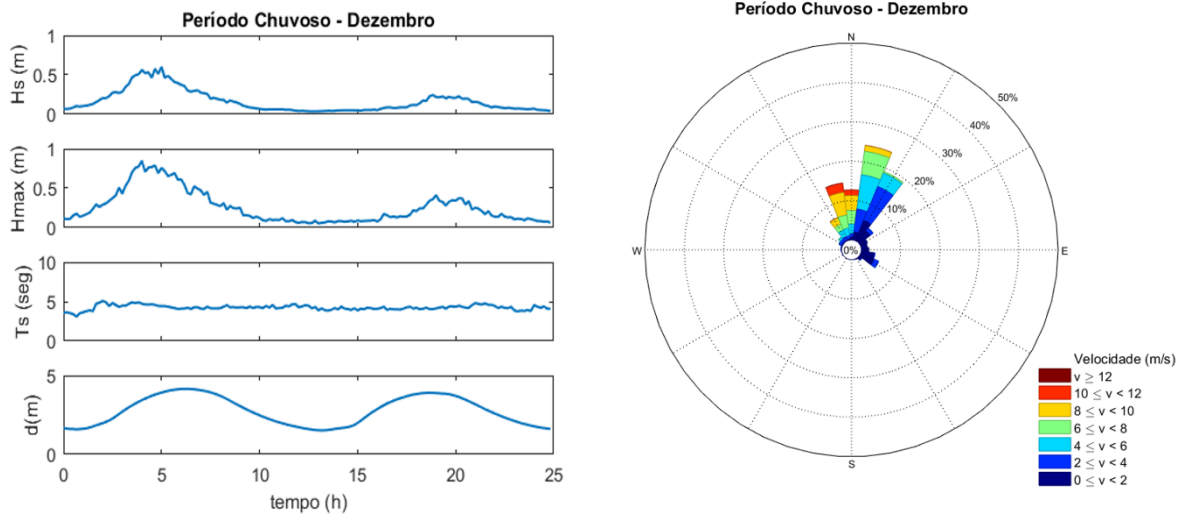


Figura 17- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de dezembro, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

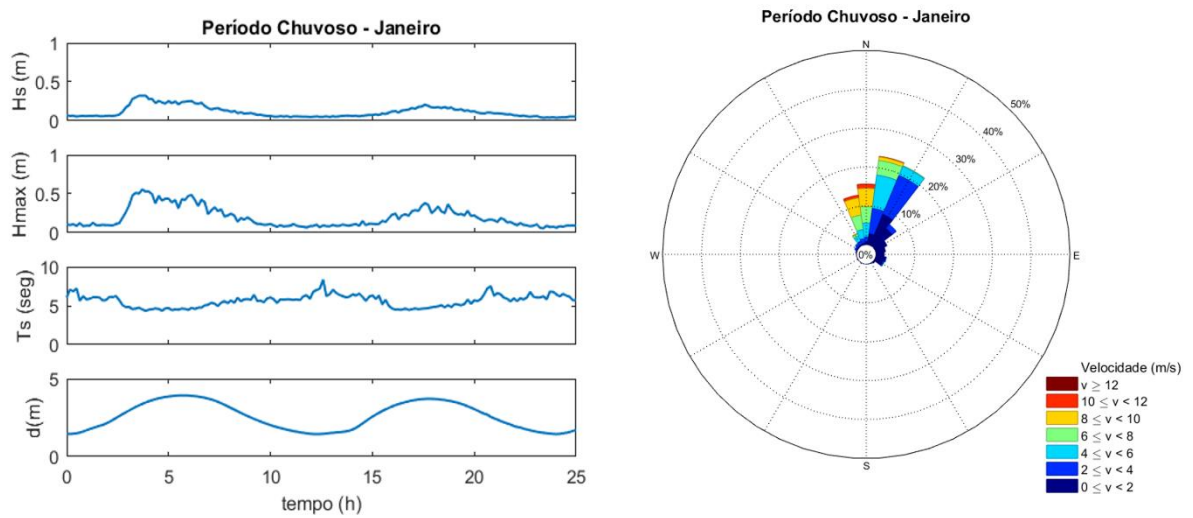


Figura 18- a) Parâmetros de Hs, Hmax, Ts e d para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de janeiro, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

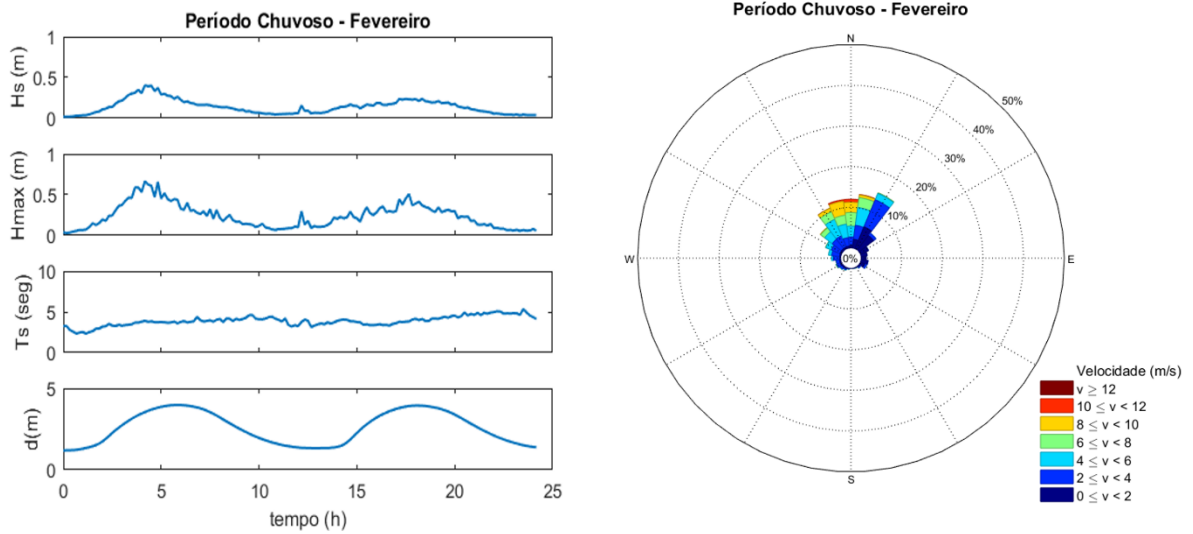


Figura 19- a) Parâmetros de  $H_s$ ,  $H_{max}$ ,  $T_s$  e  $d$  para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de fevereiro, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

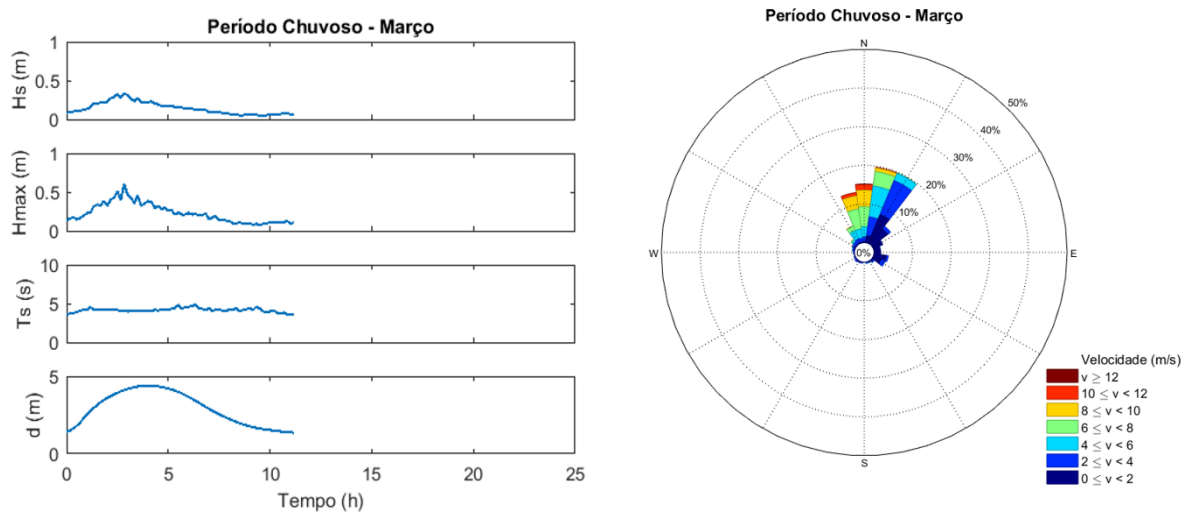


Figura 20- a) Parâmetros de  $H_s$ ,  $H_{max}$ ,  $T_s$  e  $d$  para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de março, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

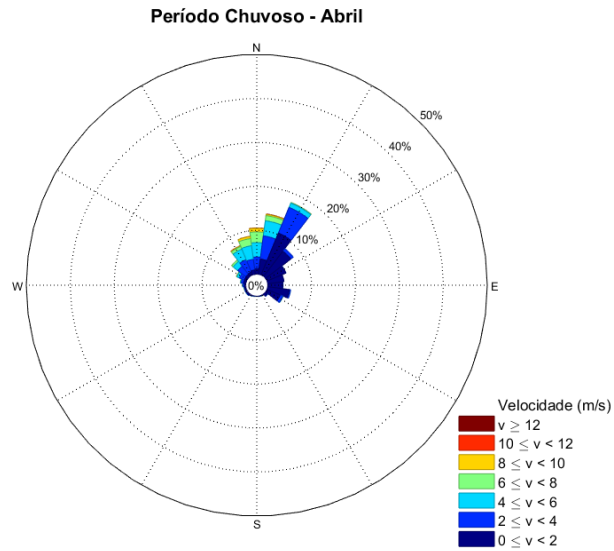


Figura 21- a) Parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de abril, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará. Neste mês não houve coleta de dados de onda.

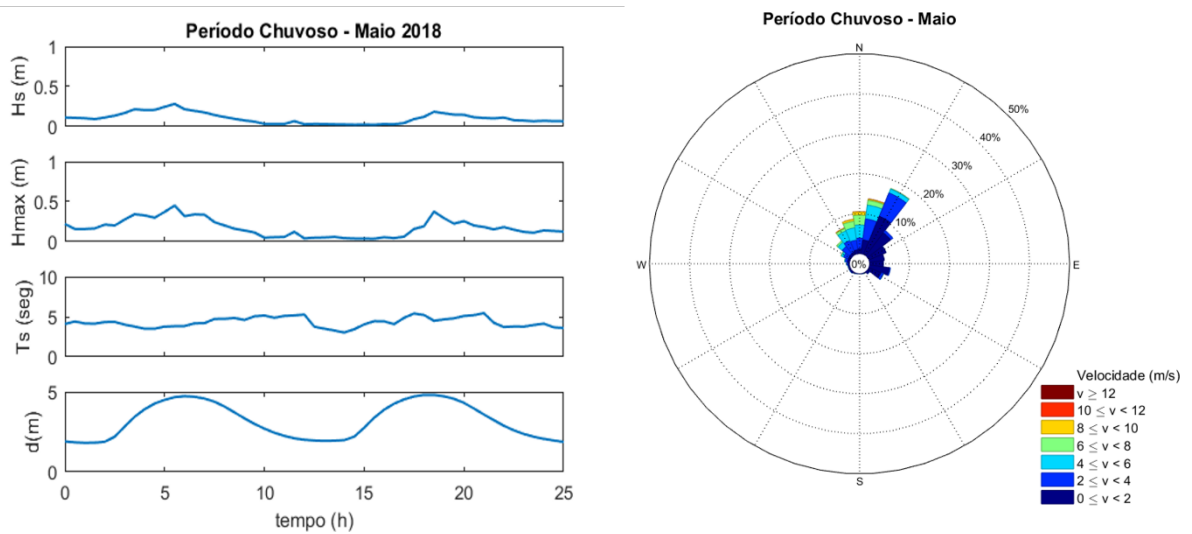


Figura 22- a) Parâmetros de  $H_s$ ,  $H_{max}$ ,  $T_s$  e  $d$  para dados de onda e b) parâmetros de intensidade, direção e frequência de vento referentes ao mês de maio, durante o período chuvoso, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará.

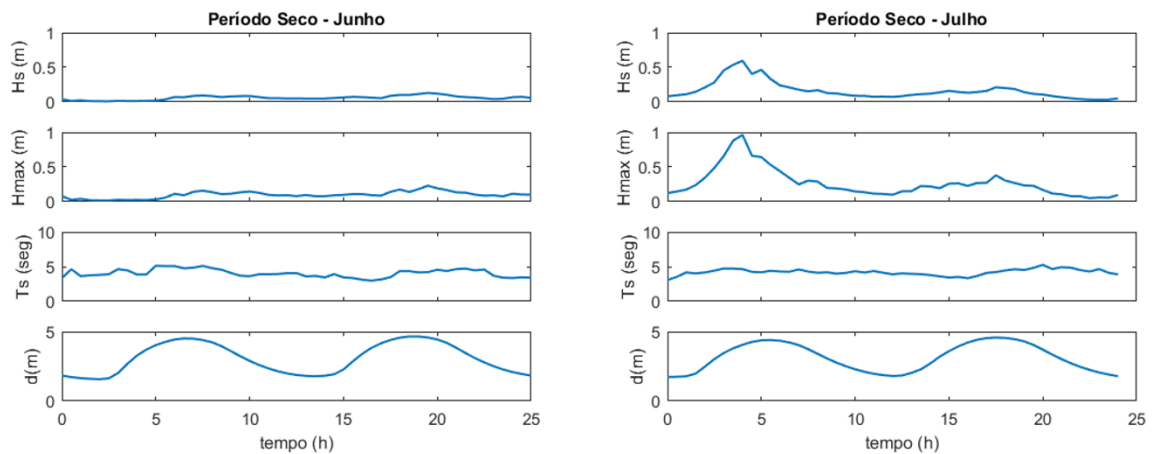


Figura 23- Parâmetros de  $H_s$ ,  $H_{max}$ ,  $T_s$  e  $d$  para dados de onda e referentes aos meses de junho e julho, durante o período seco, em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará. Nesses meses não houveram coletas de dados de vento.

Os resultados dos parâmetros de onda foram semelhantes para os meses de setembro e outubro, pois foram medidas no mesmo período sazonal seco, com ventos de maior velocidade. O mesmo ocorre para os meses de janeiro, fevereiro, março e maio, com as medições relativas ao período chuvoso com ventos de menor velocidade.

O mês de junho apresentou características significativamente diferentes com os valores dos parâmetros de onda muito abaixo do que foi apresentado no restante dos meses, pois trata-se do período transicional (Valentim 2017). E na transição do período seco para o chuvoso, relativos ao mês de janeiro, verificou-se também uma atenuação dos mesmos parâmetros para onda.

De acordo com os estudos realizados por Lobo (2018), as menores alturas de onda para o período seco podem ter sido influenciadas pela formação de uma barra arenosa, presente de acordo com a sazonalidade, na praia do Vai-Quem-Quer, em frente ao ponto de amostragem. Essa, por sua vez, apresenta-se como um agente atenuante das forças hidrodinâmicas locais, minimizando os parâmetros de altura de onda.

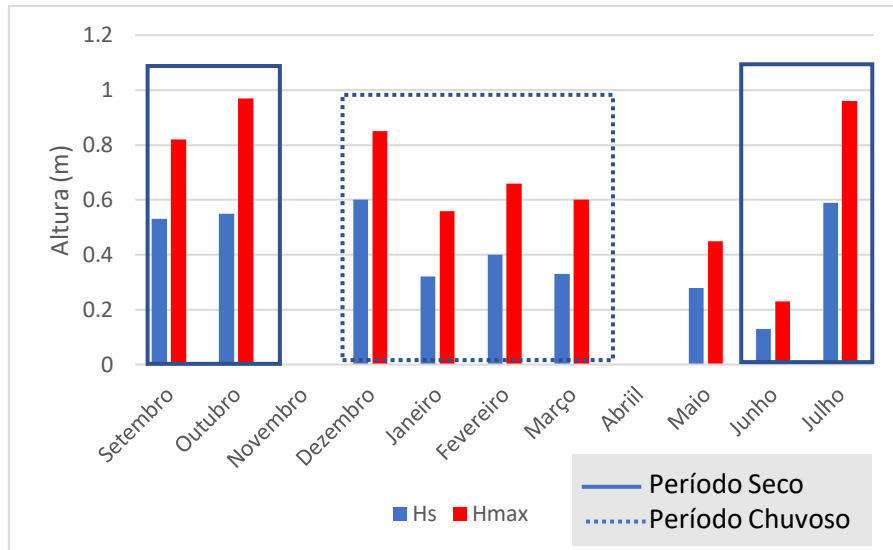


Figura 24- Em vermelho representa máximos de Hs e em azul a Hmax de onda para os meses de setembro de 2017 a julho de 2018 em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará. Destacando-se os períodos sazonais, o período seco representado pela linha contínua e o período chuvoso pela linha tracejada.

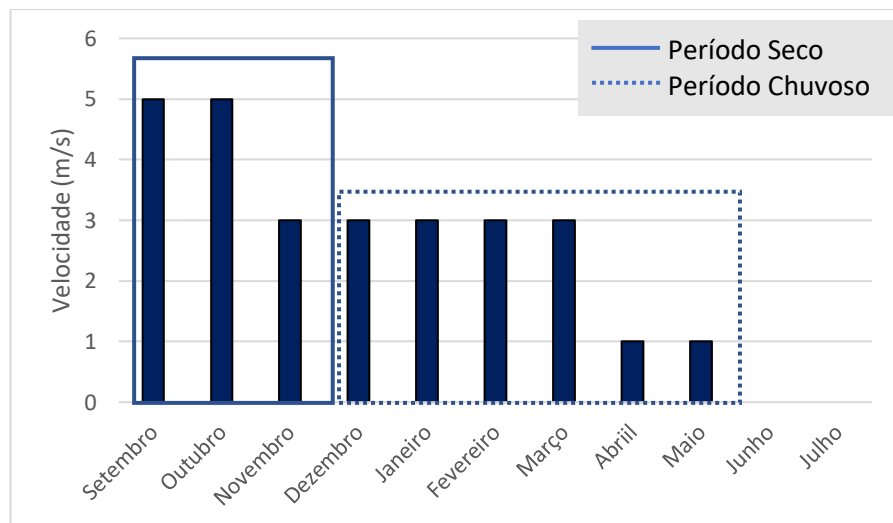


Figura 25- Velocidade do vento com maior frequência durante o período amostral para os meses de setembro de 2017 a julho de 2018 em uma praia estuarina, no estuário do rio Pará. Destacando-se os períodos sazonais, o período seco representado pela linha contínua e o período chuvoso pela linha tracejada.

Em síntese com as análises supracitadas, realizou-se uma análise com base na relação de onda (Hs e Ts) com vento (velocidade e pressão atmosférica) apenas para os meses que apresentaram dados simultâneos das mesmas forçantes. Para o período seco, obteve-se essa análise para o mês de outubro de 2017, e para o período chuvoso, aplicou-se aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2018.

Segundo Truccolo (2011), o regime de ventos é influenciado por processos atmosféricos de diferentes escalas espaciais e temporais. Destaca-se neste estudo a pressão atmosférica (Patm) como um fenômeno que, quando atinge altos valores, impede a formação de nuvens e, conseqüentemente, chuvas sobre a região. Segundo Truccolo (1998) a Patm é diretamente proporcional aos ventos, sendo estes mais intensos quando a pressão é maior. Deste modo, pode-se avaliar sazonalmente o que ocorre no estuário do rio Pará, durante os períodos seco (Figura 26) e chuvoso (Figuras 27, 28 e 29).

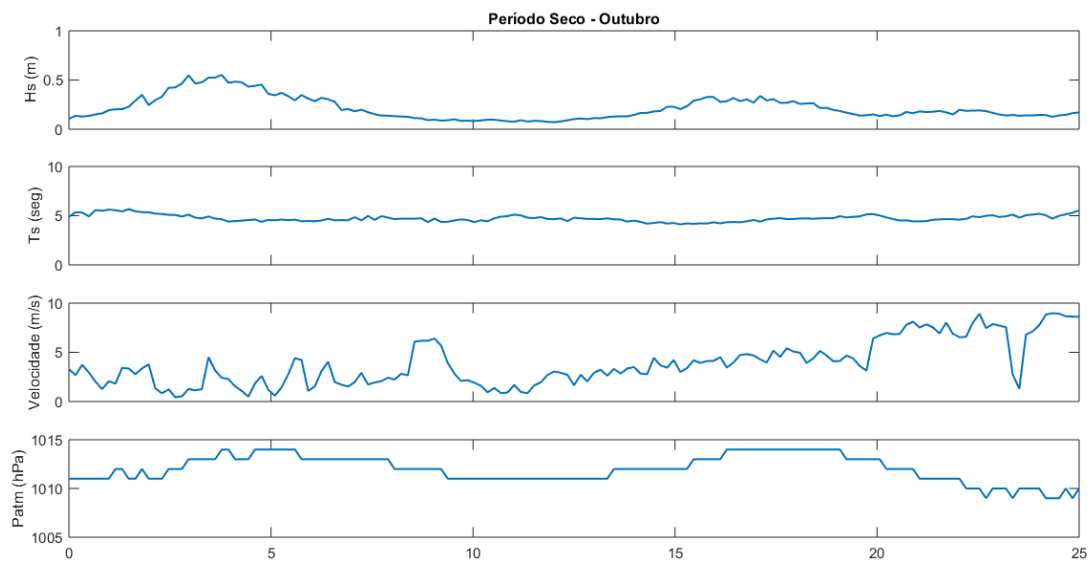


Figura 26- Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de outubro, durante o período seco, de 2017 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.

Para o mês de outubro de 2017, durante o período seco, os ventos são de maiores velocidade, com média de 3,85 m/s, o qual produz ondas de maiores alturas (média para Hs, de 0,21m). Obteve-se, em concordância com os valores de velocidade de vento, uma maior Patm, com média de aproximadamente 1012 hPa.

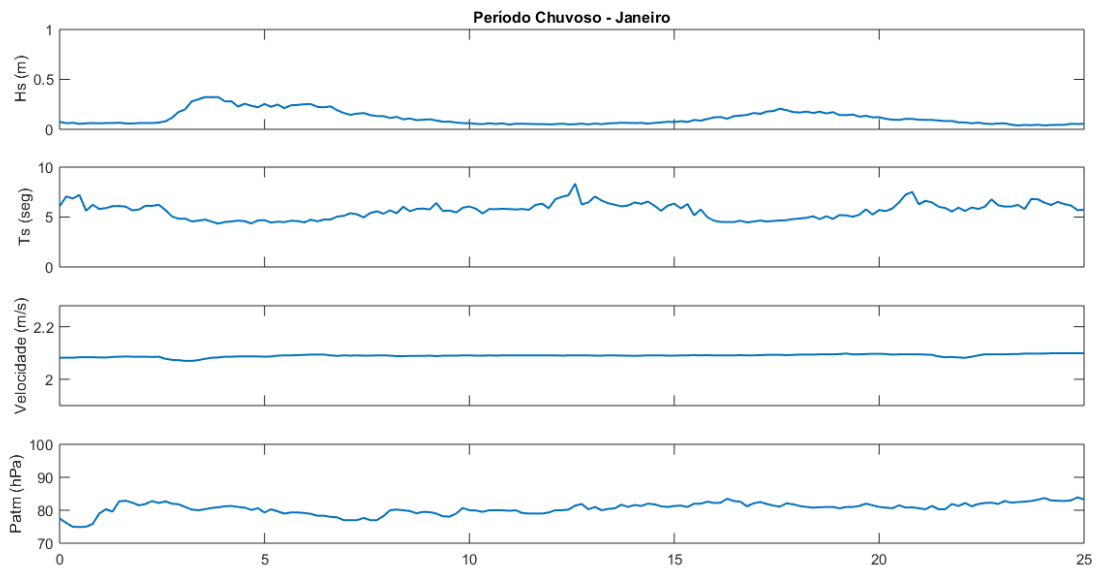


Figura 27: Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de janeiro, durante o período chuvoso, de 2018 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.

Para o mês de janeiro, durante o período chuvoso, os ventos apresentaram menores valores de velocidade com média de 2,09 m/s, o qual gera ondas de menor altura, com valor médio para Hs de 0,11m. A análise de Patm mostrou valores reduzidos, em concordância com os valores de velocidade de vento, com média de aproximadamente 80 hPa.

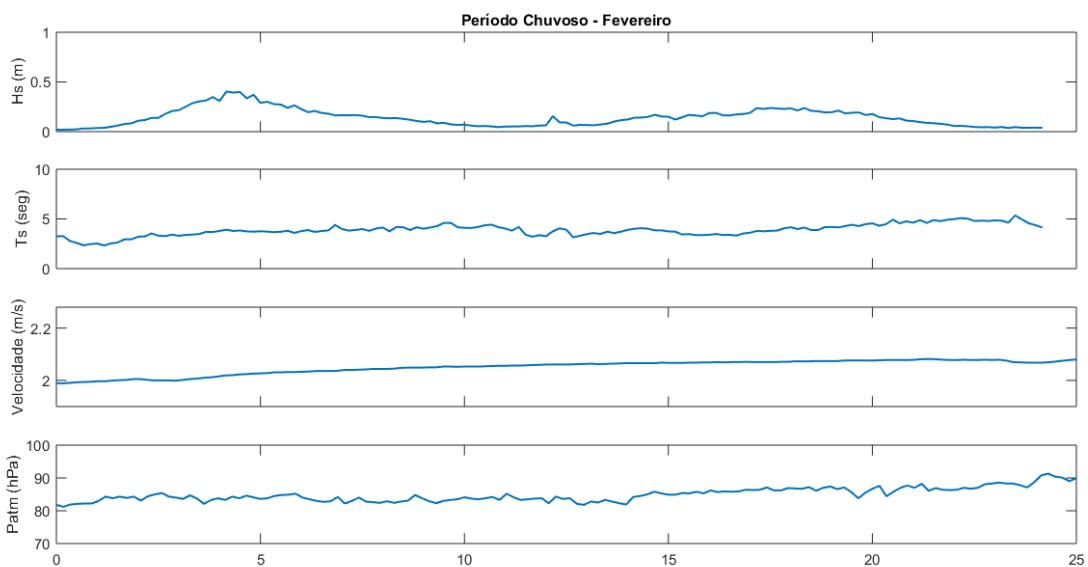


Figura 28: Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de fevereiro, durante o período chuvoso, de 2018 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.

Para o mês de fevereiro, ainda durante o período chuvoso, os ventos apresentaram velocidade com média de 2,05 m/s, variando em 0,4 m/s com relação ao mês anterior. As ondas geradas pelo vento apresentaram uma média para Hs de 0,14m e para Patm observa-se uma média de aproximadamente 80 hPa.

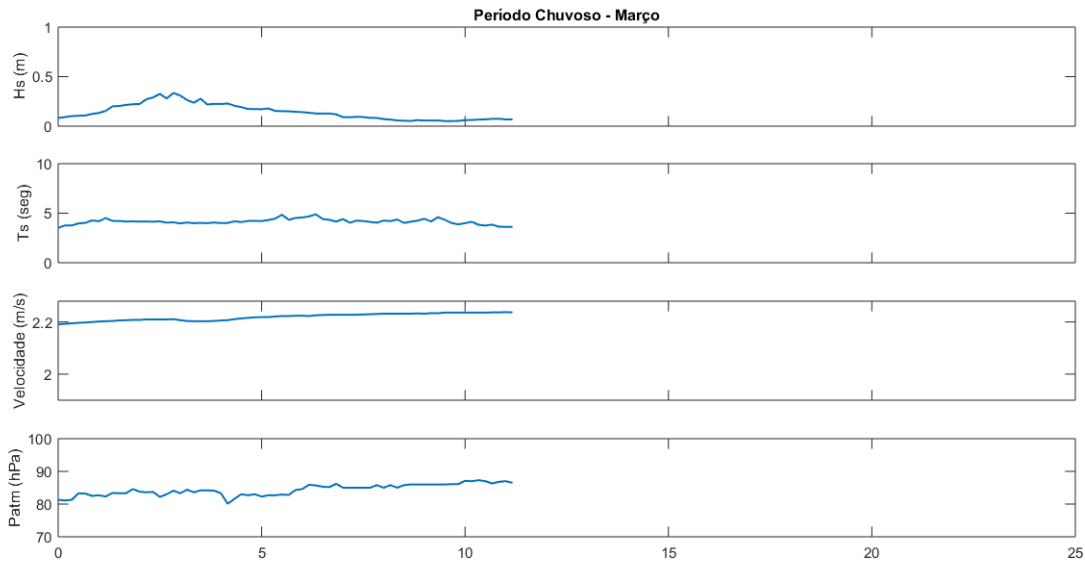


Figura 29: Comparação de Hs, Ts com velocidade do vento e Patm para o mês de março, durante o período chuvoso, de 2018 em uma praia estuarina no estuário do rio Pará.

O mês de março apresentou apenas um ciclo semidiurno de maré, de forma que os dados de vento foram ajustados para coincidir com os dados de onda. Ainda durante o período chuvoso, os valores de velocidade de vento apresentaram uma média de 2,22 m/s, com ondas de Hs média de 0,14 m e, em concordância com os valores de vento e, a Patm apresentou valores médios de aproximadamente 84 hPa.

Desta forma, a Patm foi maior durante o período seco, inibindo a formação de nuvens de chuva e favorecendo a ocorrência de ventos mais fortes, o qual ocasionou ondas maiores e, no período chuvoso, a Patm foi reduzida favorecendo a formação de nuvens e chuvas sobre a região, produzindo ondas de menor altura. Durante ambos os períodos, o Ts variou entre valores médios de 3,89 s para o mês de fevereiro à 5,63 s em janeiro.

Os resultados de onda de acordo com sua Energia e Potência são representadas na Tabela 13, para todos os meses de estudo. Nota-se que durante o período seco obteve-se os maiores valores de E e P, máximo no mês de outubro, e os valores atenuantes durante o período chuvoso, com mínimo no mês de junho, em concordância com os valores de Hs.

Tabela 12- Valores de máximo, média e mínimo para os parâmetros de E e P dos dados de onda para os meses de setembro (2017) a maio (2018) exceto para os meses de novembro (2017) e abril (2018) em uma praia estuarina, localizada do rio Pará.

<b>Setembro</b>			<b>Outubro</b>			
<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	
<b>Energia (J)</b>	349,3	69,8	7,4	379,7	73,5	6,5
<b>Potência (W)</b>	2162,9	410,8	30,9	2373,8	429,7	25,2
<b>Dezembro</b>			<b>Janeiro</b>			
<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	
<b>Energia (J)</b>	449,4	57,4	1,6	130,2	22,9	1,9
<b>Potência (W)</b>	2812,2	339,3	6,5	767,3	132,1	7,3
<b>Fevereiro</b>			<b>Março</b>			
<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	
<b>Energia (J)</b>	202,9	34,6	0,5	140,0	33,1	3,2
<b>Potência (W)</b>	1210,5	199,2	1,7	897,3	201,0	12,8
<b>Maio</b>			<b>Junho</b>			
<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>	
<b>Energia (J)</b>	100,4	19,0	0,7	21,3	5,7	0,1
<b>Potência (W)</b>	685,9	117,9	3,4	144,1	34,3	0,5
<b>Julho</b>						
<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mínimo</b>				
<b>Energia (J)</b>	442,2	54,5	1,3			
<b>Potência (W)</b>	2815,2	335,1	5,9			

O estudo de ondas relacionada ao seu potencial energético é de extrema importância para a obtenção de energia elétrica a partir de conversores ondomotrizes, devido ao intenso avanço nas pesquisas e procura pelo desenvolvimento de fontes renováveis de energia. Um exemplo de desenvolvimento desse tipo de usina foi implementada em 2012 no porto de Pecém, no estado do Ceará em um projeto piloto do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe), para fins de testar o potencial energético de ondas que podem gerar energia elétrica limpa e de baixo custo (Dantas 2015).

Segundo Dantas (2015), a obtenção de energia ondomotriz está relacionada a alguns parâmetros de onda já anteriormente citados: a conservação de energia, da qual se vai obter o potencial energético através do somatório de energia cinética (velocidade) e energia potencial (altura); a potência de ondas, baseada no fluxo de energia ao longo de sua propagação; e a análise espectral de ondas, levando em conta a distribuição e direção das ondas de acordo com a sua frequência.

Alguns países já têm implementado esse sistema e se mostrado promissores, entre eles: Portugal, Holanda, Noruega, Reino Unido, Dinamarca e entre outros, com seus respectivos modelos já em funcionamento, dentre eles os sistemas OWC (de Portugal), LIMPET (do Reino Unido), WAVE DRAGON (da Dinamarca) e o desenvolvido no Brasil pela Coppe.

Em estudos realizados por Aragão (2019), a Zona Costeira Amazônica não apresenta um bom potencial para a geração de energia ondomotriz devido às pequenas amplitudes de onda na região, sendo ideais ondas constantes com valores superiores a 1 m em relação a  $H_s$ . No porto de Pecém, as ondas possuem 1,5 m e períodos compatíveis, mesmo não sendo muito altas apresentam uma constância de 40% ao longo do ano (Moreira 2015).

## 8 CONCLUSÕES

O presente estudo aponta que o regime de ondas em uma praia estuarina na margem direita do rio Pará, está diretamente relacionado com a sua variabilidade sazonal e climática. Com as maiores ondas destacadas referentes ao período de estiagem, pois apresentaram maiores intensidades de vento atuando como força motriz para a geração dessa forçante hidrodinâmica. E as menores ondas referentes ao período chuvoso, a qual apresenta ventos com menor intensidade e sem direção predominante.

As maiores ondas durante todo o estudo ocorreram durante o período de enchente da maré e apresentaram períodos significativos menores que 10s, o que classifica as ondas de gravidade do tipo vagas (ou *windsea*) caracterizadas por serem ondas curtas, irregulares e geradas pelo vento localmente.

É importante ressaltar que as coletas realizadas foram feitas simultaneamente com a ocorrência do fenômeno ENSO - La Niña, a qual altera o regime pluviométrico e gera chuvas mais intensas e uma vazão mais significativas dos rios, desta maneira é possível afirmar a atenuação de ondas no período chuvoso, contribuindo com os dados amenos de vento obtidos para o mesmo período.

Com base na morfodinâmica da praia do Vai-Quem-Quer, nota-se a presença sazonal de uma barra arenosa, a qual pode ser um fator causal para os menores valores de altura de onda, mesmo em durante o período seco, onde a velocidade do vento é mais intensa. Desta forma, sugere-se a coleta de dados de onda e vento em outros locais para análise mais efetiva destes sem interferência da barra arenosa.

A partir de análises feitas de Patm, foi possível observar que esta foi maior durante o período seco, ocasionando ventos mais fortes e, no período chuvoso, foi reduzida favorecendo a formação de nuvens e chuvas sobre a região. A Patm esteve em concordância com os valores de velocidade de vento, sendo estes diretamente proporcionais.

Os maiores valores de E e P ocorreram durante o período seco e os menores durante o período chuvoso, estes parâmetros estavam em conformidade com a altura significativa de ondas que também apresentaram valores máximos no mesmo período. O valor máximo de energia ocorreu no mês de outubro e o valor mínimo no mês de junho, este último caracterizado no estudo como mês transicional.

Sugere-se ainda que, para uma análise mais completa e minuciosa, sejam feitas coletas por um maior período de tempo em uma frequência amostral padrão de 0,1s para a obtenção aprimorada de ondas.

É imprescindível salientar que o estudo contribui para maior conhecimento sobre a hidrodinâmica local, que ainda é escassa, mas de extrema importância para o gerenciamento costeiro, desenvolvimento de projetos de valor econômico e manejo da zona costeira.

## REFERÊNCIAS

- Aguiar D. F. 2011. *Modelagem de ondas geradas pelo vento no terminal portuário de Vila do Conde – Pará*. Monografia, Graduação em Oceanografia, Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Itajaí, 97 p.
- Airy G. B. 1845. Tides and waves. *Encyclopaedia Metropolitana*. SL. **192**: 241-396.
- Apel J.R. 1987. *Principles of ocean physics*. New York, Academic Press. **38**: 16-654
- Aragão J. D. S. 2019. *Estudo de uso de energia renovável nas zonas costeiras por ondas, mares e ventos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Oceanografia, Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, xiv. 71 p.
- Baltazar L. R. S., Menezes M. O. B., Rollnic M. 2011. Contributions to the understanding of physical oceanographic processes of the Marajó Bay - PA, North Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI **64**: 1443 – 1447. (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium).
- BDMEP/INMET. 2019. *Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 07 de agosto de 2019.
- Beardsley R. C., Candela J., Limeburner R., Geyer W. R., Lentz S. J., Castro B. M., Cacchione D., Carneiro N. 1995. The M2 tide on the Amazon shelf. *Journal of Geophysical Research*, **100** (C2): 2283–2319.
- Bezerra M. O., Medeiros C., Krelling A. P. M., Rosário R. P., Rollnic M. 2011. Physical oceanographic behavior at the Guama/Acara-Moju and the Paracauari river mouths, Amazon coast (Brazil). *Journal of Coastal Research*, SI **64**: 1448 – 1452. (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium).
- Borba T. 2014. *Sediment transport modelling in Para River estuary (Amazon-Brazil)*. PhD Thesis, UNESCO-IHE. 64p.
- Boulhosa M. B. M. 2007. Morfologia, sedimentologia e índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na região portuária de Vila do Conde – Barcarena – PA. Relatório do Programa de Capacitação Institucional – PCI/MPEG. 53p.
- Callède J., Cochonneau G., Ronchail J., Alvez F. V., Guyot J. L., Guimares V. S., Oliveira E. de. 2010. Les apports en eau de l'Amazonie à l'océan Atlantique. *Revue des sciences de l'eau*, Quebec, **23** (2): 247-273.
- Cameron W.M. & Pritchard D.W. 1963. Estuaries. In: Hill M. N. (ed.). *The sea*. New York. **2**: 306-324.
- Costa A.C.L., Ribeiro J.B.M., Filho J.D.C. 1996. *Estudo micrometeorológico em manguezais*. Belém-Pará, MADAM/UFPA/ZMT. 9p. Projeto de Pesquisa.
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INEP. 2018. *Ocorrência do La Niña*. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em 14 de julho de 2019.
- Dalrymple R. W., Zaitlin B. A., Boyd R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis e stratigraphic implications. *Journal of Sediment Petrology*, **62** (6) : 1130-1146.

- Dantas C. E. B. 2015. *Estudo dos conversores de energia ondomotriz em energia elétrica*. Projeto de Graduação, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, DF. ix, 51p.
- Davies J. L. 1964. A morphogenic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphology*. Mortensen Sonderheft, **8**: 127-142.
- Dean R. G. & Dalrymple R. A. 1991. *Water wave mechanics for engineers and scientists*. New Jersey, World Scientific. (Advanced Series on Ocean Engineering, v.2).
- Duarte A. A. & Vieira J. M. 1997. Caracterização dos ambientes estuarinos: mistura em estuários. *Engenharia Civil Um*, (6):41-55.
- Dyer K. 1997. *Estuaries: a physical introduction*. 2° ed. New York, 195p.
- Fairbridge R. W. 1980. The estuary: its definition and geodynamic cycle. In: Olausson E. & Cato I. (ed.). *Chemistry and biochemistry of estuaries*. Wiley, Chichester, 1-37.
- Fontes C. R. F. 2000. *Estudo numérico da circulação na Plataforma Continental Amazônica (PCA)*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 176p.
- French P. W. 1997. *Coastal and estuarine management*. London, Routledge. 251p. (Environmental Management Series).
- Galvão M. V. G. 1991. *Evolução termodinâmica da Bacia do Marajó, Estado do Pará, Brasil*. Ouro Preto, 193 p.
- Genz F. 2006. *Avaliação dos efeitos da barragem Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape*. PhD Thesis, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, xviii, 245p.
- Gille F. do S. de S. & Mota M.A. S. da. 2014. Importância das condições termodinâmicas nos eventos extremos de precipitação na cidade de Belém e região metropolitana. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **29** (esp.):73 - 82.
- Hansen D. V. & Rattray Jr. M. 1966. New dimensions in estuary classification. *Limnology and Oceanography*, University of Washington, Seattle, **11** (3): 319-326.
- Hegge B., Eliot I., Hsu J. 1996. Sheltered sandy beaches of Southwestern Austrália. *Journal of Coastal Research*, University of Western, Australia, **12** (3): 748-760.
- Holthuijsen L. H. 2007. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge, UK, Cambridge University Press. 387 p.
- IBGE. 2013. *Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2013*. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2013/estimativa\\_dou.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2013/estimativa_dou.shtm). Acesso em: 12 de julho de 2019.
- Jackson N., Nordstrom K., Eliot I., Masselink G. 2002. Low energy' sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, **48**: 147-162.
- Kjerfve B. 1989a. Estuarine geomorphology and physical oceanography. Davis Jr. John W., Hall Charles A. S., Kemp W. Michael, Yáñez Aranciba Alejandro (ed). *Estuarine ecology*. John Wiley & Sons, Inc. p. 47-78.

- Kjerfve B. 1987. Estuarine geomorphology and physical oceanography. *In*: Day Jr., Hall Charles A. S., Kemp W. Michael, Yáñez-Aranciba, A. (eds.). *Estuarine ecology*. New York, Wiley, p. 47-78
- Laing A., Gemmill W., Magnusson A. K., Burroughs L., Reistad M., Khandekar M., Holthuijsen L., Ewing J. A., Carter D. J. T. 1998. *Guide to wave analysis and forecasting*. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 159 p.
- Lalli C. & Parsons T.R. 1997. *Oceanografia biológica: uma introdução*. 2° ed. University of British Columbia, Vancouver, Canada. Elsevier. xii. 320.
- Lima A. P. Y. 2016. *Desenvolvimento de rotina em linguagem matlab para processamento de dados de ondas geradas pelo vento*. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém, xiii. 86p.
- Lima A. M. M. de, Oliveira L. L. de, Fontinhas R. L., & Silva Lima R. J. de. 2005. Ilha do Marajó: Revisão histórica, hidroclimatologia, bacias hidrográficas e propostas de gestão. *Holos Environment*, Belém, **5**(1), 65-80.
- Lobo F. C. 2018. *Influência hidrodinâmica no balanço sedimentar: estudo de caso das praias estuarinas na ilha de Cotijuba*. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém, x. 37p.
- Martins S. E. M. 2007. *Caracterização sedimentológica de fundo da área de influência do porto de Vila do Conde – margem Leste do rio Pará, Barcarena/PA*. Trabalho de conclusão de curso, Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 69p.
- Martins S. E. M. 2010. *Geomorfologia e sedimentologia dos depósitos sedimentares recentes da porção superior do estuário do rio Pará (baía de Marajó, Amazônia)*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências. xiii. 122p.
- MARTINS S. E. M., & MENDES A. C. 2011. Caracterização de depósitos sedimentares recentes da porção superior da Baía de Marajó (margem leste do estuário do Rio Pará, Amazônia). *Pesquisas em Geociências*, **38**(2): 168-180.
- Mascarenhas B. M., Guimarães D. G., Brígida M. S., Pinto C. S., Gomes Neto H. A., Pereira J. D. B. 2009. Estudo de anofelinos antropofílicos peridomiciliares da Praia da Saudade na Ilha de Cotijuba: uma área endêmica de malária em Belém, Pará. *Acta Amazonica*, **39**(2): 453-458.
- McNally W. H. & Mehta A. J. 2009. Sediment transport in estuaries. *In*: Federico Ignacio Isla and Oscar Iribarne (ed.). *Coastal zones and estuaries*, 106-134.
- Miguens A. P. 1995. Marés e correntes de maré; correntes oceânicas. *In*: Navegação: a ciência e a arte. *Navegação costeira, estimada e em águas restritas*. Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, Niterói, **1**:227-274.
- Miranda L. B. D., Castro Filho B. M. D., Kjerfve B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. 2° ed. São Paulo, 432 p.
- Miyao S. Y. & Harari J. 1989. Estudo preliminar da maré e das correntes de maré da região estuarina de Cananéia (25°S-48°W). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, **37**(2): 107-123.

- Moraes B. C. de, Costa J. M. N. da, Costa A C L da, Costa M. H. 2005. Variação Espacial e Temporal da Precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazônica*, **35**(2): 207 – 214.
- Moreira, L. D. S. 2015. *Estudo comparativo de ondas superficiais geradas através de simulação numérica e experimento para a geração de energia ondomotriz*. Monografia, Bacharelado em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama. Brasília, 105p.
- Munk W. H. 1950. Origin and generation of waves – Proceedings first Conference Coastal Engineering. *Coastal Engineering Proceedings*, University of California, California. **1**(1): 1 - 4.
- Nascimento M. S. 2002. *Minerais pesados das formações ipixuna e barreiras, região de Ipixuna, Leste da sub-bacia de Cameté – NE do Pará*. Dissertação de Tese de Doutorado. PhD Thesis, Universidade Federal do Pará, Belém, 86p.
- Nichols M.M. & Biggs R.B. 1985. Estuaries. In: Davis Jr R.A. (ed.). *Coastal sedimentary environments*. 2° ed. New York. 77-186.
- Nordstrom K. F. 1992. *Estuarine Beaches: an introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords*. Institute of Marine and Coastal Studies, Rutgers University, New Jersey, USA. 226p.
- Pereira L. C. C., Dias J. A., do Carmo J. A., Polette, M. 2009. A zona costeira amazônica brasileira. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **9**(2), 3-7.
- Piccoli F. P. 2005. *Interação de ondas monocromáticas com batimetria de fundo e recifeartificial*. Monografia, Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 88p.
- Prestes Y. O., Rollnic M., Silva M. S., & Rosário R. P. 2014. Volume transport in the tidal limit of the Pará River, Brazil. *Proceedings of the 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas conference*, Porto de Galinhas, Pernambuco, 19 – 24.
- Prestes Y. O. 2016. *Interações físicas entre o estuário do Rio Pará e a Plataforma Continental no norte do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, 122p.
- PRITCHARD D.W. 1955. Estuarine Circulation Patterns. *Proc. Amer. Soc. Civil Eng.* **81**(717): 1-11.
- Pritchard D.W. 1967. What is an estuary? Physical viewpoint. In: Lauff, G.H., ed., *Estuaries. American Association for the Advancement of Science*, (83)3-5.
- Pugh D.T. 1987. *Tides, surges and mean sea level*. New York, 472p.
- Rosário R. P. 2016. *Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará*. Tese de doutorado. PhD Thesis. Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica. 139p.
- Rosário R. P., Borba T. A., Santos A. S., Rollnic M. 2016. Variability of Salinity in Pará River Estuary: 2D Analysis with Flexible Mesh Model. *Journal of Coastal Research*, **75**: 128-133.
- Ross J. L. S. 1996. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: S. B Cunha & A. J. Guerra. *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro, 291-336p.

- Schettini C. A. 2002. Caracterização física do estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **7**(1):123-142.
- SEGEP - Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão. 2009. *PMB. Departamento de Pesquisa e Informática*.
- Silveira F. L. D. & Varriale M. C. 2005. Propagação das ondas marítimas e dos tsunamis. *Caderno brasileiro de ensino de física*. Florianópolis. **22**(2): 190-208.
- Silva, I.D. & Lobato L. A. 1997. *Impactos do Ecoturismo na Belém Insular: análise comparativa das ilhas do Combú e Cotijuba*. Universidade Federal do Pará, Núcleo de meio Ambiente, Programa de Formação Interdisciplinar em Meio Ambiente, **3**: 65p.
- Simonetti B. L. S. 2016. *Modelagem Numérica Da Maré Astronômica Nas Baías De Florianópolis*. Monografia, Bacharelado em Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 49p.
- Truccolo, E. C. 1998. *Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul-SC*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 100p.
- Truccolo, E. C. 2011. Estudo do comportamento do vento no litoral centro-norte de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **26**(3): 451-460.
- Valentim M. M. 2017. *Relação da salinidade e turbidez nos limites de um estuário amazônico*. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Oceanografia. Universidade Federal do Pará. Belém. 48p.
- Valle-Levinson, A. 2010. Definition and classification of estuaries. *Contemporary issues in estuarine physics*, **1**:1-10.
- Valle-Levinson A. 2011. 1.05 Classification of estuarine circulation. In: Wolanski E. & McLusky D. S. (ed.). *Treatise on estuarine and coastal science*. Amsterdam, Elsevier, Academic Press Waltham, 75-86.
- Vieira L. A. A., Pitombeira E. S., Souza R. O. 2007. Análise estatística do regime de ondas ao longo da região marítima do porto do Pecém. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, 2007, São Paulo, *Anais[...]*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Recursos Hídricos, p. 1-20.
- Wentworth C. K. 1992. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.* **30**: 377-392.
- World Meteorological Organization-WMO. 1998. *Guide to wave analysis and forecasting*. Genebra, Suíça, Secretaria da Organização Meteorológica Mundial.
- Young I. R. 1999. Wind generated ocean waves. *Amsterdam, Elsevier (Elsevier Ocean Engineering Book Series)*, **2**.