



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DE ONDAS GERADAS PELO VENTO: DA FOZ DO RIO AMAZONAS AO DELTA DO PARNAÍBA

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

RAYSSA CARDOSO DA SILVA

Orientadora: Msc. Thaís Angelica da Costa Borba (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)

BELÉM

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO DE ONDAS GERADAS PELO VENTO: DA FOZ DO RIO AMAZONAS AO DELTA DO PARNAÍBA

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

RAYSSA CARDOSO DA SILVA

BELÉM
2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPa

Silva, Rayssa Cardoso da, 1992-

Estudo de ondas geradas pelo vento: da foz do rio Amazonas ao delta
do Parnaíba / Rayssa Cardoso da Silva . – 2017.

xiii, 51 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientadora: Thaís Angelica da Costa Borba

Coorientador: Marcelo Rollnic

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do
Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2017.

1. Ondas oceânicas. 2. Costa- Brasil 3. Ventos. I. Título.

CDD 22. ed. 551.463



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

**ESTUDO DE ONDAS GERADAS PELO VENTO: DA FOZ DO
RIO AMAZONAS AO DELTA DO PARNAÍBA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

RAYSSA CARDOSO DA SILVA

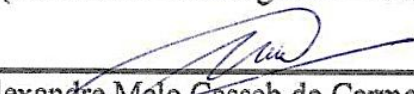
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em OCEANOGRAFIA

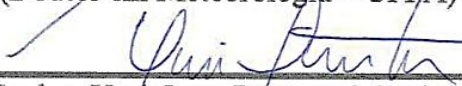
Data de Aprovação:

Banca Examinadora:


Senhora Thaís Angelica da Costa Borba – Orientadora
(Mestre em Geofísica Marinha– UFPA)


Prof. Marcelo Rollnic - Coorientador
(Doutor em Oceanografia – UFPA)


Prof. Alexandre Melo Casseb do Carmo - Membro
(Doutor em Meteorologia – UFPA)


Senhor Yuri Onça Prestes - Membro
(Mestre em Oceanografia – UFPE)

Aos meus queridos pais Antônio Cardoso e Odinea Silva,
Minha avó Conceição e tia Ray (*in memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, Fora Temer!

Segundo, Agradeço à Deus por toda força, glória, saúde e benção que ele me dá nesses dias de luta! Por guiar meus caminhos e me ajudar a alcançar minhas vitórias.

Agradeço aos melhores pais do mundo Antônio Cardoso e Odinea Silva por me ajudarem a realizar esse sonho, por todo o incentivo, amor, dedicação e esforço. Vocês são a minha vida e tudo isso é por vocês.

Agradeço à minha orientadora Thaís Borba, por toda paciência, dedicação e por ter confiado em mim. Muito obrigada.

Ao prof. Marcelo Rollnic, que além de coorientador é um grande amigo, sempre acreditou em mim desde o início da graduação, me ajudando e me dando oportunidade de efetuar vários projetos. Muito obrigada por tudo!

Ao meu companheiro, melhor amigo e amor Danilo, por todo o apoio e incentivo durante essa caminhada e por estar ao meu lado em todos os momentos.

A todos meus amigos do Laboratório de Oceanografia Física, em especial ao Adriel, Leandroini, Jp, Arthur e Cláudia pelas ajudas do tcc e pela amizade.

Aos meus amigos que a oceanografia me deu, da equipe vai que vai o maluco do samba (Ítalo Ratz), David Lima, Rodrigo Pontes vulgo tucannabis e Annanda Sant's por toda a camaradagem e amizade durante esses anos.

Aos meus amigos da turma da oceanografia 2012, em especial minha amiga Yara, que mesmo longe, sempre me manda boas energias.

A toda minha família, em especial ao meu grande amor Lana, por ser a bebê mais fofa do mundo! A minha tia Joelma por todo apoio desde sempre, ao meu tio Renato, a minha prima Bianca pelas ajudas nos cálculos, minha avó Creuza por deixar meus dias mais felizes e a minha Tia Célia pelas boas vibrações no terreiro.

"Você pode prender um revolucionário, mas não pode prender uma revolução."
(Fred Hampton, integrante do partido Os Panteras Negras)

RESUMO

As ondas superficiais de gravidade atuam no transporte de energia na zona costeira. Os parâmetros de onda são aplicados em diversos projetos de navegação e o seu conhecimento são de substancial relevância no manejo e gerenciamento das atividades em regiões costeiras e oceânicas. Este trabalho tem como objetivo principal descrever e analisar parâmetros de ondas geradas pelo vento na costa norte e nordeste brasileira e observar as possíveis variações entre regiões com morfologia e hidrodinâmica distintas. Para a obtenção de dados de ondas foram realizadas coletas de campo onde foi utilizado equipamento com sensor de pressão para dados de variação de superfície livre e bússola para identificação da direção de onda. Os dados foram submetidos a cálculo de altura significativa, período significativo, aos cálculos referentes à teoria de Airy e a cálculos de energia e potência. A partir da análise dos resultados, constatou-se variações nos parâmetros de onda em função da morfologia e hidrodinâmica para cada ambiente.

Palavras-chave: Ondas. Litoral brasileiro. Praias amazônicas. Maré.

ABSTRACT

The gravity superficial waves act at the energy transportation in coastal zone. The parameters of waves are applied in several projects of navigation and their knowledge is of substantial relevance to the management of activities in coastal and oceanic regions. This paper has as a principal objective describes and analyses wave's parameters generated from wind at north and northeast Brazilian coast and observed the possible variations between the regions with different morphology and hydrodynamic. To obtain the wave's data, field collections are realized using equipment with pressure sensor for variation of free surface's data and a compass to identify the waves's directions. The data was submitted to a significant higher calculation, significant periods, calculation refers to Airy's Theory and energy and potential calculations. From result analysis, was verify variations on waves's parameters in function of morphology and hydrodynamic from each environmental.

Keywords: Waves. Brazilian coast. Beaches Amazonian. Tide.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da Setorização	16
Figura 2 – Parâmetros de Onda	15
Figura 3 – Demonstração qualitativa das órbitas das partículas de ondas que se propagam em águas profundas	17
Figura 4 – Demonstração qualitativa das órbitas das partículas de ondas que se propagam em águas rasas	18
Figura 5 – Mapa da área de estudo	22
Figura 6 – Sensor de pressão e bússola	23
Figura 7 – Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 1	38
Figura 8 – Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 2	39
Figura 9 – Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 3	40
Figura 10 – Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 4	40
Figura 11 – Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 5	41
Figura 12 – Comparação da Hs	42
Figura 13 – Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 1	43
Figura 14 – Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 2	44
Figura 15 – Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 3	44
Figura 16 – Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 4	45
Figura 17 – Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 5	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de ondas	14
Tabela 2 - Equações da Teoria de Airy	28
Tabela 3 - Dados dos pontos de coleta	23
Tabela 4 - Dados de Caviana.....	25
Tabela 5 - Dados de Mexiana.....	26
Tabela 6 - Dados de Chaves.....	26
Tabela 7 - Dados de Joanes	28
Tabela 8 - Dados de Belém	29
Tabela 9 - Dados de Barcarena	30
Tabela 10 - Dados de Viseu	31
Tabela 11 - Dados de Turiaçu	32
Tabela 12 - Dados de Cedral	33
Tabela 13 - Dados de Barreirinha	35
Tabela 14 - Dados de Luís Corrêa	35

LISTA DE SÍMBOLOS

C – Celeridade de onda

L – Comprimento de onda

T – Período de onda

H – Altura da onda

d – Profundidade da onda

E – Energia

P – Potência

η – Elevação

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	4
3.1 Caracterização da área de Estudo	4
3.2 ONDAS	14
3.2.1 PARÂMETROS DE ONDA	14
3.2.2 ONDAS SUPERFICIAIS DE GRAVIDADE.....	15
3.2.2 TEORIA DE AIRY	16
3.3 VENTOS	18
4 MATERIAS E MÉTODOS	20
4.1 AMOSTRAGEM.....	20
4.2 ANÁLISE DE DADOS	22
5 RESULTADOSE DISCUSSÃO	24
5.1 Análise dos parâmetros de ondas	24
5.1.1 Setor 1.....	24
5.1.2 Setor 2.....	26
5.1.3 Setor 3.....	30
5.1.4 Setor 4.....	32

5.1.5 Setor 5.....	33
5.2 COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ONDA COM DADOS DE MARÉ	36
5.2.1 Análise das alturas significativas, períodos e estágios da maré.....	36
5.2.2 Análise dos resultados de altura significativa por setor.....	41
5 CONCLUSÃO.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica é considerada como a maior bacia hidrográfica do mundo, contendo mais de mil afluentes e a maior com descargas médias medidas na saída do rio Amazonas. Os rios desempenham papel importante na colonização da mesma e as vias fluviais até hoje continuam sendo de grande importância para a economia da região. É neste cenário que o presente trabalho se insere, nas regiões costeiras dos estados do Pará, Maranhão e Piauí visto que as áreas dispõem carência de dados, tornando-se importante o conhecimento das regiões.

As ondas representam a principal forma de transporte de energia no mar, fornecendo-a para uma série de processos litorâneos os quais exercem papel determinante na morfologia da linha de costa e, por conseguinte na determinação das feições litorâneas (Bezerra 2013).

As ondas, em companhia com as marés e ventos, fazem com que a zona costeira se torne uma área altamente dinâmica, interferindo de maneira expressiva na mobilização, circulação e transporte de sedimentos, determinando as características morfológicas das praias (Almeida 2015).

As principais ondas que atuam nos processos costeiros são as ondas superficiais de gravidade, as quais possuem o vento como força perturbadora e a gravidade como força restauradora. O conhecimento da variação temporal e da estatística dos parâmetros de onda compõem o estudo de ondas para uma determinada região.

Os parâmetros de onda são utilizados em diversos projetos, como o de mitigação de processos erosivos instalados em praias urbanas, empreendimentos de portuários, na condução de operações seguras de navegação e em plataformas petrolíferas, dentre outras práticas da engenharia (Almeida 2015).

O conhecimento desses parâmetros, nas regiões da Foz do Amazonas ao Delta do Parnaíba é relevante, já que o regime de ondas nessas localidades é intensamente ativo na foz do rio Amazonas, precisamente como na plataforma interna adjacente, e por ser uma área importante na rota de navegação da região norte brasileira com intenso tráfego de barcos e condições extremas de correntes (Lima 2011).

O estuário é o principal ecossistema presente nas áreas de estudo, como o Delta do Parnaíba, é considerado um importante local para o desenvolvimento industrial ou portuário, uma fonte significativa de recursos minerais, incluindo petróleo e gás natural, e um farto reservatório de ecossistemas fundamentais para o funcionamento do planeta (Oliveira 2010).

Além dos estuários, os manguezais também são encontrados nessas regiões, onde de acordo com Diegues (2002) as maiores extensões de manguezais da costa brasileira ocorrem entre a desembocadura do rio Oiapoque, no extremo norte, e o Golfão maranhense, a exemplo dos manguezais maranhenses, que segundo Rebelo Medeiros (1988), essas áreas abrigadas da ação das ondas, junto com o clima quente e úmido, constituem o paraíso desse ecossistema litorâneo. A dinâmica do sistema planície de maré-manguezal está ligada ao aporte de sedimentos, regimes de marés, clima de ventos e ondas e à a variação relativa do nível do mar (Allen & Pie 1992).

Os ambientes costeiros são intensamente dinâmicos e as diversas mudanças que eles sofrem, acarretam num diversificado número de feições geomorfológicas, decorrentes de processos deposicionais e erosivos, os quais estão totalmente relacionados pelas influências dos mares, principalmente pela ação das ondas e das correntes marinhas. Assim, o entendimento do clima de ondas é de grande significância para o manejo e gerenciamento das atividades em regiões costeiras e oceânicas.

A análise dos dados de onda, nessas regiões, reside em conceber uma visão geral, que configura o início de um estudo mais abrangente nessa linha da costa. Porém, devido à dificuldade em obter uma abrangência temporal e espacial destes dados, muitas vezes inibi a comparações de dados experimentais e referências, que são escassos nas regiões marinhas em estudo.

O presente trabalho apresenta uma breve descrição das ondas geradas pelo vento que incidem nas regiões costeiras dos estados do Pará, Maranhão e Piauí resultados estes que irão compor uma estimativa dos parâmetros de ondas e a avaliação de possíveis variações de regiões com morfologia e hidrodinâmica distintas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Fornecer informações sobre ondas geradas pelo vento ao longo da costa dos estados do Pará, Maranhão e Piauí e observar variações em seus parâmetros conforme a morfologia e hidrodinâmica em que estão inseridas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular parâmetros de onda para regiões da costa norte e nordeste brasileira.
- Propor uma setorização baseada na geomorfologia, hidrodinâmica e parâmetros oceanográficos para a região em estudo.
- Identificar variabilidades espaciais da dinâmica de ondas geradas pelo vento em função dos setores propostos.

3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada nos estados do Pará, Maranhão e Piauí onde abrange desde a Foz do Rio Amazonas, passando pelas Reentrâncias Maranhenses, até o Delta do Parnaíba (Figura 1).

A caracterização da área baseou-se em buscar a setorização das regiões pelo grau de similaridade, obtendo com isto o agrupamento dos pontos de amostragem com características semelhantes. O critério utilizado foi fundamentado pela fisiografia dos locais, onde se comparou a geologia, hidrologia, clima e os parâmetros oceanográficos.

Setor 1: Ilha de Caviana, Ilha de Mexiana, Chaves.

Caracterização Geomorfológica e Geológica

O setor 1 está localizado no estado do Pará, na região do delta do rio Amazonas, entre a ilha de Marajó e a costa sul do estado do Amapá. Estas regiões estão caracterizadas pelas unidades geomorfológicas de barras fluviais, planícies fluviomarinhas pleistocênicas, fluviolagunares e zonas inundáveis.

Destaca-se nessa região a ocorrência de eventos neotectônicos, com o desenvolvimento de “rias”, relativos a presença da transgressão Flandriana. Nota-se que a formação geológica se refere ao período quaternário, composta por unidade de aluviões (El-Robrini 2006)

O relevo da zona costeira paraense da área de insular e continental estuarino (Ilha do Marajó) é composto por duas unidades. A primeira é o Planalto Rebaixado da Amazônia, também chamado de Pediplano Pleistocênico e a segunda é a Planície Amazônica, composta por sedimentos quaternários e marca um relevo plano e baixo que abrange a maior parte da Ilha (Barbosa *et al.* 1973).

Esse setor é designado como planícies costeiras, dominado por marés e está referente a ação de efeitos neotectônicos, que ocasionam o afogamento de sua foz, com a entrada constante de correntes de marés.

Esta é uma área de grande ação de turbulência de águas, na qual a correnteza do rio Amazonas se choca com a pressão marítima contrária, ocasionando erosões, pororocas recorrentes e sedimentação.

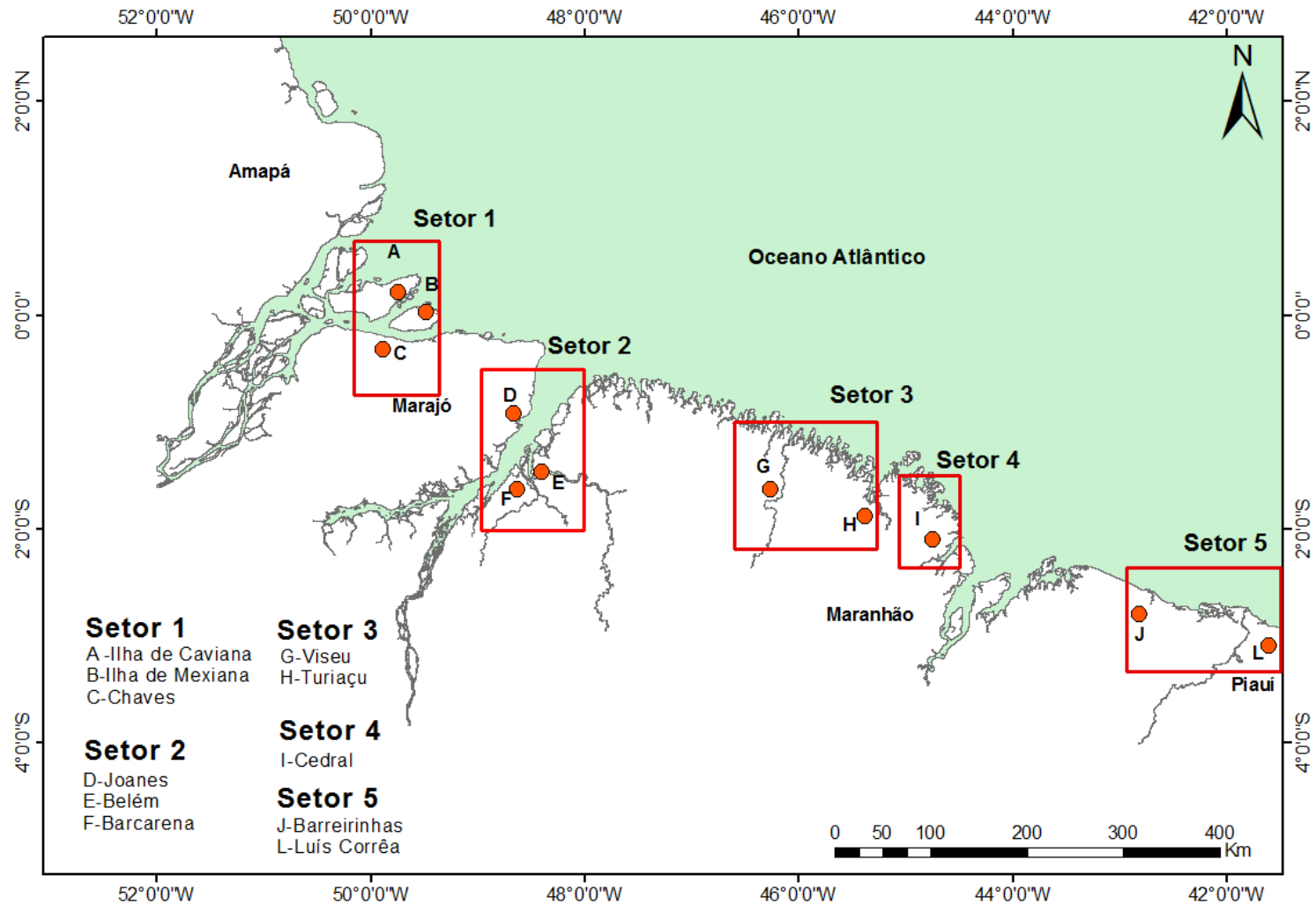


Figura 1- Mapa da Setorização
Fonte: Do autor.

Caracterização Climática

Segundo Costa *et al.* (1996) o clima da faixa costeira do setor 1 é caracterizado por um clima úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada nos períodos de julho e dezembro.

O clima referente é denominado como do tipo "A" definido como um clima tropical chuvoso, e segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 27,3 °C e pluviosidade anual superior a 3.000 mm (Martorano *et al.* 1993).

Observa-se dois períodos diferentes em suas características, um período chuvoso (dezembro a junho) e outro seco (julho a dezembro). O ar apresenta uma umidade relativa alta durante todo o ano, variando entre 86 e 91%.

A temperatura do ar gira em torno de 27 °C, com uma baixa variação mensal e anual, apresentando valores limites médios mensais entre 25 e 29 °C. A umidade relativa se mantém ao longo do ano todo acima de 80%.

De acordo com Introvini (2009) os ventos no setor 1 são considerados fortes, onde a velocidade média anual é de 2,4 m/s e a direção predominante é de nordeste. Os principais sistemas que atuam na região e influenciam no regime de vento são Célula de Hadley, ventos alísios, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e massas de ar.

Parâmetros Oceanográficos

As marés são semidiurnas, com a componente de maré M2, que ao exercer interação com as amplitudes S2 e N2 (Schwiderski 1979) geram balanços quinzenais e mensais de energia com velocidades de até 2 m/s próximo à Ilha Caviana.

A maré obtém características de um regime de macromaré semidiurna, com alturas de 4 a 6 m (Gabioux *et al.* 2005; Gallo e Vinzon 2005). Em virtude da grande descarga destes rios e as condições hidrodinâmicas concede uma atenuação forte da salinidade da água ao longo de toda a costa adjacente.

Setor 2: Joanes, Belém, Barcarena.

Caracterização Geomorfológica e Geológica

O setor 2, pertencente ao estado do Pará, está localizado na confluência do rio Guamá com a baía do Guajará. Estão inseridos na zona continental estuarino, no qual as praias estão ligadas às influências do rio Pará e das falésias dos sedimentos do Grupo Barreiras. Neste setor, as várzeas são alcançadas pela interferência marinha (Alves *et al.*, op. cit.). As praias estuarinas são curtas, geralmente apresentando falésias e com larguras entre 6 e 13 m (El-Robrini 2006).

Essa área é suprida por sedimentos da formação barreiras (Mioceno), constituída por arenitos, siltitos, argililitos e alguns conglomerados (El Robrini 2016)

A linha d'água recorta principalmente os sedimentos do Grupo Barreiras e os sedimentos mais recentes. Os sedimentos da Formação Barreiras, ajudam na composição mineralógica daqueles depositados no estuário Guajará (Pinheiro 1987), cujo permitem ser agrupados de acordo com a granulometria em duas fácies texturais: lamosa e arenosa.

Da região de Belém até a zona de contato entre os terrenos do terciário e os do Cretáceo, do Norte para o sul, expande-se uma rampa crescente, abrangendo terraços fluviais e alongadas, calhas aluviais meandricas de baixos vales de rios tributários do Golfão Marajoara.

Este setor é constituído por uma superfície erosiva, suavemente ondulada e pouco dissecada, com altitudes baixas em volta de 30 m, na qual as maiores cotas topográficas não ultrapassem os 45 m (Costa, op cit.; Sena *et al.* 1991).

Caracterização Climática

O clima é caracterizado como tropical úmido, especificado pela classificação de Köppen como *Af*. Contém uma temperatura em torno de 27°C, com a máxima de 35°C e mínima de 20°C. A umidade relativa do ar é em torno de 85%.

O período chuvoso tem início no mês de dezembro, prolongando-se até o final de junho, com médias na precipitação anual em torno de 2.500 mm. Os valores máximos chegam em torno de 3.337,6 mm, como máxima mensal de 424,5 e máxima diária de 118 mm.

De acordo com Prestes (2013), o regime de ventos nesse setor, apresenta uma variação sazonal forçada pela variação na posição da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) durante o ano. Essas regiões possuem um regime de vento entre 4,5 a 5,0 m/s, a uma altura de 30 metros e direção de NE/SO.

Parâmetros Oceanográficos

De acordo com El Robrini (2006) as marés nas faixas estuarinas, tem a influência de mesomaré e micromaré, que contém amplitudes de até 3,65m durante o período de sizígia, época chuvosa, em janeiro, e identifica-se registros de menores amplitude em abril (0,5m), no decorrer da maré de quadratura.

A variação da maré atinge 3,6 m em condições de sizígia. Por estar localizada em uma faixa de domínio fluvial sob influência de marés, a vazante dura mais tempo que a enchente, especialmente nos períodos de sizígia.

Setor 3: Viseu e Turiaçu.

Caracterização Geomorfológica e Geológica

O setor 3 engloba a cidade de Viseu, uma localidade pertencente à Mesorregião do Nordeste Paraense, que se localiza a oeste do município de Bragança e a leste do estado do Maranhão e a cidade de Turiaçu, localizada no estado do Maranhão, se situa na bacia do Atlântico Sul, nos caminhos fronteiriços entre o litoral do Pará e do Maranhão. Uma região recortada e com presenças de estuários e manguezais.

O relevo no setor 3 é adquirido por três unidades geomorfológicas diferentes (Costa *et al.* 1977). Entre elas, podemos citar o maciço residual, a zona dos Platôs, esculpidas em sedimentos do Grupo Barreiras e o Planalto Rebaixado da Amazônia da zona bragantina (Barbosa & Pinto 1973).

No nordeste do Pará, há uma unidade estrutural que pode ser analisada, é Bacia Costeira Bragança-Viseu, que representa uma fossa tectônica delimitada por falhas normais de direção NW-SE (Aranha *et al.* 1990). Segundo Silva Jr. (1998), o planalto rebaixo amazônico é sustentado pelos sedimentos areno-argilosos pertencentes do grupo Barreiras e Pós Barreiras, no qual, a cobertura vegetal é caracterizada como Floresta Secundária.

Segundo El Robrini (2006), O litoral ocidental do Maranhão, é conhecido como a região das "reentrâncias maranhenses" caracterizado por uma sucessão de pequenos estuários e acréscimos sedimentares que se estende da foz do rio Gurupi até a margem ocidental da baía do Cumã. Esta porção litorânea evidencia uma intensa atividade erosiva subatual através da grande quantidade de recortes da antiga linha da costa, marcada por paleofalésias e antigas rias.

A porção que abrange a baía de Turiaçu é constituída por rochas que variam, em idade, do Arqueano e Holoceno. O limite norte da bacia abrange um feixe de falhas transcorrentes, que estabelece bruscas inflexões nos principais cursos d'água (baía de Turiaçu, rio Gurupi, etc.) e forte controle na rede de drenagem (Turiaçu e Cururupu).

O relevo desse controle é definido por formas em colinas médias, alongadas e amplas modeladas sobre sedimentos das formações Itapecuru e do Grupo Barreiras.

Caracterização Climática

O clima é caracterizado como do tipo A (Aw), de acordo com a classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica anual compreende valores elevados, em torno de 3.543mm.

A região de Viseu apresenta dois períodos durante o ano, o chuvoso com chuvas abundantes iniciando em dezembro e indo até junho, e outro mais seco, entre os meses de julho a novembro.

A temperatura média anual gira em torno de 27,7°C e, ao longo do ano, varia de 26,8 a 28,0°C

Nessas regiões predominam os ventos alísios de direção preferencial de NE, com velocidades médias de 7,9 m/s. Estes ventos são, frequentemente, precedidos de calmaria e, quase sempre, juntos de rajadas e chuvas intensas. Entre os meses de junho e novembro, predominam os ventos de E e SE, com intensidades moderadas (Silva 2001).

Parâmetros Oceanográficos

As marés apresentam características semidiurnas, onde as componentes M2, S2 e N2 são muito fortes. O valor médio das preamares de sizígia e das preamares de quadratura, atingem valores máximos de 5m e 3,98 m, já o valor médio das baixa-mares de sizígia e quadratura, resulta em valores altos, de 5,2 m e 2,8 m (Femar 1997).

O valor médio das preamares de sizígia e quadratura, atingiram valores máximos, de modo respectivo em Viseu de 4,96 m e 3,9 m (Femar 1997). As baixa-mares de sizígia e quadratura aponta respectivamente, em Viseu 0,43m e 1,49 m.

Os valores das médias das preamares de sizígia e das preamares de quadratura diminuem do litoral ocidental (respectivamente de 6,12 m e 4,79 m na Baía de Mutuoca e 6,65 m e 5,24 m em Turiaçu).

Setor 4: Cedral

Caracterização Geomorfológica e Geológica

A cidade de Cedral está localizada no estado do Maranhão, e grande parte do seu território é recortado por profundas endentações (Reentrâncias maranhenses), da qual planícies costeiras são colonizadas por florestas de manguezais e profundos estuários.

Os manguezais maranhenses abrangem toda faixa de terras ocupadas pela foz e as margens dos rios, e segundo Rebelo e Medeiros (1988) as áreas cobertas da ação das ondas, relacionadas ao clima quente e úmido, formam o paraíso desse ecossistema litorâneo, pois as águas calmas e salobras concedem o aparecimento dos depósitos de sedimentos finos (silte e argila).

Esse setor compreende a costa mista maranhense, no qual apresenta planícies costeiras e costa de erosão marinha, criando pequenos terraços, platôs e tabuleiros terciários e/ou rochas cristalinas do embasamento. Segundo Feitosa (2006) as antigas rias presentes nesse segmento litorâneo, foram transformadas em braços-de-mar pelo predomínio atual dos processos de deposição sobre os de erosão, que deram início a extensas superfícies aluviais marcadas por um grande conjunto de baías conectadas por canais divagantes e furos.

As falésias também são vistas nessa porção do litoral maranhense tendo sido formadas a partir do solapamento das estruturas sedimentares que geram à formação de barreiras sobre o qual a dinâmica dos processos erosivos acarreta o recuo da barreira e o consequente avanço da linha da costa contribuindo para a retificação do litoral.

Caracterização Climática

O clima predominante nessa faixa do Maranhão é do tipo “Am”, segundo (Feitosa 1983) no qual é definido pelo domínio de temperaturas maiores que 26°C, elevado índice pluviométrico com uma grande intensidade de chuvas nos períodos de março e abril, baixa amplitude térmica anual, em média 2,0°C, alta umidade relativa do ar com máxima em torno de 83,5% e curta estação seca.

A precipitação média anual é por volta de 1600 mm. É uma região, onde a precipitação durante o ano todo, provém de sistemas precipitantes, oriundos de linhas de instabilidade (LI), que aparecem devido à circulação de brisa marítima ao longo da costa atlântica da Guiana francesa até o norte do Maranhão (Cohen, 1989; Cohen *et al.* 1995).

Segundo Rodrigues (2006), a velocidade média anual do vento em Cedral é de 0,8 m/s, podendo ser caracterizado, de acordo com a escala de Beaufort como bafagem a brisa leve. Os ventos alísios de nordeste dominam durante o período chuvoso, enquanto que os alísios de sudeste governam durante o período da estiagem.

Parâmetros Oceanográficos

Segundo (Silva 2012) as marés se caracterizam por apresentar uma hidrodinâmica regida pelo sistema de marés semi-diurnas, com amplitude média de 4,6 m, podendo chegar 7,2 m em período das grandes sizígias.

De acordo com a avaliação das tabelas das estações maregráficas brasileiras (DHN, 2017), foi possível observar que as médias das preamares de sizígia e as médias das preamares de quadratura diminuem do litoral ocidental do maranhão (respectivamente de 6.12 m e 4,79 m na Baía de Mutuoca e 6,65 m e 5,24 m em Turiaçu).

Setor 5: Barreirinhas e Luís Corrêa

Caracterização Geomorfológica e Geológica

O setor 5 abrange a cidade de Barreirinhas localizada na região nordeste do Brasil, litoral oriental do Estado do Maranhão, especificamente situada na mesorregião do Norte Maranhense e na Microrregião dos Lenções Maranhenses (IBGE, 2002) e a cidade de Luís Corrêa localizada ao norte do estado do Piauí a Norte - Leste da cidade de Parnaíba. Esse setor é bem distinto dos demais, devido a morfologia da costa

A região de Barreirinhas apresenta como característica formações dunárias, praias arenosas e baías. A faixa litorânea da região é constituída pelos depósitos litorâneos marinhos e eólicos muito extensos e por aluviões flúvio-marinhos do Holoceno. Nesta área prevalecem as formações de cascalho, argila e areia (dunas).

Durante o período Juro-Cretáceo movimentos tectônicos ocasionaram a formação de um "horst", denominado Cerco Ferrer-Urbano Santos, responsável pelos afloramentos de

rochas pré-cambrianas e pela fragmentação da grande bacia sedimentar, dando origem às bacias epicontinentais de São Luís e Barreirinha (Atlas do Estado do Maranhão, 1984)

A Província Parnaíba engloba a bacia intracratônica do Parnaíba, que também é conhecida como Bacia do Maranhão ou do Meio Norte (Maranhão-Piauí) onde apresenta a formação de uma estrutura geológica sedimentar, constituindo uma grande bacia cuja gênese está de acordo com as transgressões e regressões marinhas. Refere-se à uma bacia, sobretudo, paleozoica, embora depósitos mesozoicos pouco espessos cubram grandes áreas (El Robrini 2006).

Na faixa litorânea do Piauí, o grande destaque em relação ao relevo, são os Campos de Dunas, ou seja, os depósitos eólicos litorâneos. Na Mesorregião Norte, as rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba estão recobertas por rochas sedimentares pouco litificadas de idade terciária do Grupo Barreiras, gerando padrões de relevo do tipo tabuleiros dissecados ou não, os tabuleiros dissecados estão concentrados, principalmente na zona costeira, onde muitas vezes estão sotopostos aos Campos de Dunas, a exemplo do município de Luís Correia.

Caracterização Climática

O clima da região de Barreirinhas é classificado como sub-úmido seco e apresenta médias de temperatura anuais de 26°C e pluviosidade de 1.750 mm com dois períodos bem definidos, um chuvoso (de janeiro a julho) e um período seco (de agosto a dezembro) (Ibama, 2013).

O clima de Luis Corrêa é classificado como do tipo Aw' (tropical chuvoso) de acordo com a classificação de Köppen, apresentando uma média anual de umidade relativa do ar em torno de 75% e precipitação pluviométrica média anual entre 1000 mm (Bastos *et al.* 2002).

O regime de ventos em Barreirinhas apresenta direção preferencial de NE durante todo o ano. Mas em outras épocas do ano está para a direção ENE e E. A velocidade varia de 10 a 50 m/s (Gastão 2010). A velocidade média do vento em Luís Corrêa é de 6,2 m/s, com direção predominante de NE.

Parâmetros Oceanográficos

Estas regiões são influenciadas pela corrente costeira norte brasileira que varre a plataforma continental, na direção NW, com uma velocidade em superfície maior que 75 cm.s-1 (El Robrini 2006).

As marés em Luís Corrêa são semidiurnas, alcançando um máximo de 3,5 m (Diretoria de Hidrografia e Navegação 1988). No litoral oriental do Maranhão as médias das preamares de sizígia e as médias das preamares de quadratura são respectivamente de 2,02 e 1,57.

3.2 ONDAS

As ondas são fenômenos de forças atuantes em um fluido, tendendo a deformá-lo contra a atuação da gravidade e a tensão superficial, que juntas exercem para manter o nível da superfície do meio (Dean & Dalrymple 1991). Estas deformações requerem alguma força para gerá-las de tal modo que o equilíbrio no nível da superfície seja restabelecido, podendo ser ventos, perturbações meteorológicas, terremotos, atração planetária e etc. (Gioc 2000).

A relação conjunta dessas forças é o agente responsável pelas propriedades oscilatórias do movimento das ondas (Dean & Dalrymple 1991, Holthuijsen 1991). A tabela 1 mostra a classificação dos diversos tipos de ondas na superfície do mar, seus períodos, energia relativa, suas causas e as forças controladoras das características das ondas.

Tabela 1- Classificação de ondas.

Tipo	Faixa do período	Força controladora	Força geradora	Obs
Ondas Capilares	<0,1 s	Tensão superficial	Vento	
Ondas ultra-gravidade	0,1-1 s	Tensão superficial e gravidade	Vento	
Ondas superficiais de gravidade	1-30 s	Gravidade	Vento	<i>Swell</i> e vagas pertencem a esta categoria.
Ondas de infra-gravidade	30 s-5 min	Gravidade e efeito de Coriolis	Vento e ondas superficiais de gravidade	<i>Surf beat</i> , ondas de tormenta e <i>seiches</i> pertencem a esta categoria.
Ondas de longo período	>5 min	Gravidade e efeito de Coriolis	Tormentas e terremotos	Fazem parte desta categoria os tsunamis e marés de tormenta.
Ondas de maré ordinárias	Períodos fixos diurnos ou semi-diurnos	Gravidade e efeito de Coriolis	Atração gravitacional do Sol e da Lua	Tormentas e atração gravitacional do Sol e da Lua
Ondas de trans-marés	>24h	Gravidade e efeito de Coriolis		

3.2.1 Parâmetros de onda

A figura 2 demonstra a representação dos principais parâmetros de uma onda bidimensional propagando-se na direção X ao longo do tempo.

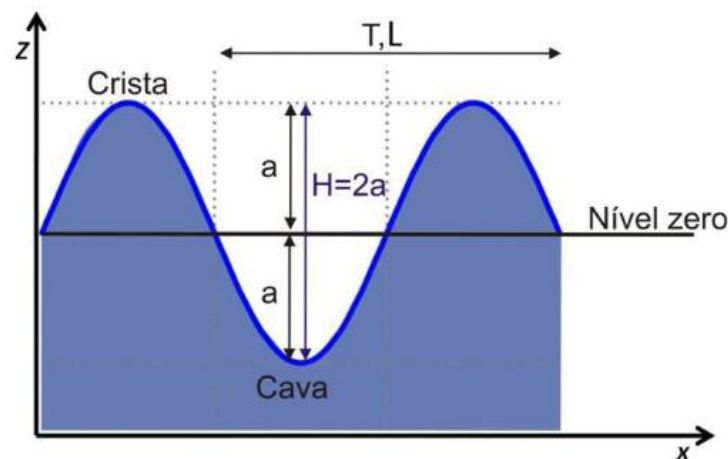


Figura 2- Parâmetros de onda.
Fonte: (Aguiar 2011).

- Comprimento de onda (**L**): É a distância horizontal, em metros, entre duas cristas, ou dois cavados;
- Altura da onda (**H**): Representa a distância vertical da onda entre a crista e o cavado;
- Período de onda (**T**): É o tempo decorrido para a passagem de duas cristas, ou dois cavados, através de um ponto fixo. Em geral é medido em segundos;
- Amplitude (**a**): Na física, a metade da altura (**H**) é determinada como a amplitude. Esta distância retrata o deslocamento máximo do movimento oscilatório da superfície vertical, para cima ou para baixo do nível médio;
- Velocidade (**c**): é a velocidade em que o perfil de ondas se propaga, é determinada através da relação $c = \frac{L}{T}$. O símbolo *c* vem de celeridade.

3.2.2 ONDAS SUPERFICIAIS DE GRAVIDADE

As ondas superficiais de gravidade são formadas pela ação do vento na superfície da água e suas características variam em função da velocidade e duração do vento, bem como o tamanho da pista sobre a qual o mesmo atua. Podem ser classificadas como marulhos (*swell*) ou vagas (*wind-sea ou sea*).

3.2.2.1 Marulho (swell): O swell é caracterizado por ondas que se propagam fora da zona de geração, não recebendo, portanto, a energia do vento. Estas ondas possuem formato regular, cristas arredondadas, comprimento de onda ($A \ll L$), longos períodos, apresentando em média um período maior do que 10 s e direção de onda de origem diferente das observadas no vento local. As alterações da elevação (η) no tempo t e no espaço x pode ser expressa por:

$$\eta = A \cdot \cos\left[2\pi\left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right)\right] \quad (1)$$

Ou seja

$$\eta = A \cos(kx - \sigma t) \quad (2)$$

No qual x , é medido na direção de progressão das ondas. No marulho uma só crista viaja uma distância L num tempo T , de modo que a velocidade de fase da onda ou celeridade é dada por

$$C = \frac{L}{T} = \frac{\sigma}{k} \quad (3)$$

3.2.2.2 Vagas: As vagas são ondas que ainda estão na sua zona de geração, recebendo energia do vento, geralmente são ondas irregulares com características complexas e confusas, apresentando cristas agudas notavelmente na forma de picos, períodos de 4 a 8 s e direção coincidente com a direção do vento local (Aguiar 2011).

3.2.2 TEORIA DE AIRY

Dentro dos conhecimentos de ondas regulares criaram-se duas teorias: a teoria linear de ondas desenvolvida por Airy (1845) e a teoria não linear de ondas. A teoria não linear esclarece o comportamento das ondas quando a amplitude é maior ou quando estas se aproximam de zonas menos profundas. A teoria linear declara que a superfície de água é uma função sinusoidal perfeita no qual a ação da tensão superficial e do Efeito Coriolis é desprezada, e que encontra finalidade para zonas profundas e para ondas de baixa amplitude.

Segundo a teoria de Airy, o movimento das mesmas pode ser demonstrado por uma onda sinusoidal que não varia no tempo nem no espaço, progressiva por se mover com velocidade constante em uma direção perpendicular a crista sem alterar a sua forma, e com cristas longas por apresentar uma serie longa e com cristas paralelas que são idênticas em altura e equidistantes entre si (Wmo 1998).

A representação desta onda é estabelecida de acordo com a equação (4):

$$\eta = \frac{H}{2} \cos\left[\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right] = \frac{H}{2} \cos \quad (4)$$

As ondas ao se propagarem provoca a formação de movimentos orbitais circulares das partículas individuais da água. Em regiões profundas, as partículas se movem em orbitais circulares fechados do qual o raio ($A \exp(-kz)$)diminui exponencialmente com a distância

abaixo da superfície, a figura 3 demonstra as órbitas das partículas e as linhas de corrente (tracejadas); abaixo da profundidade igual à metade do comprimento de onda ($z = \frac{L}{2}$) o movimento orbital das partículas é desprezível. Em zonas de águas rasas, o percurso das partículas são elipses achatadas, no qual o eixo horizontal é $(\frac{AL}{\pi h})$ e o eixo vertical é $(\frac{2A(h-z)}{h})$, como demonstrado na Figura 4.

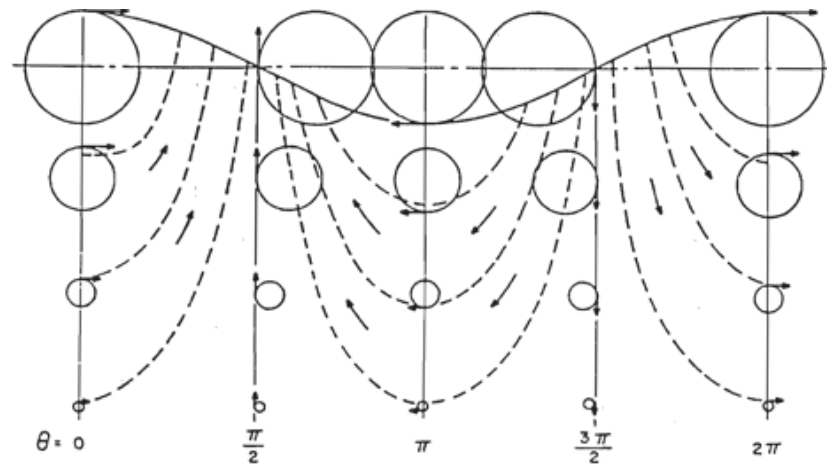


Figura 3- Demonstração qualitativa das órbitas das partículas de ondas que se propagam em águas profundas. Fonte: (Vieira 2007).

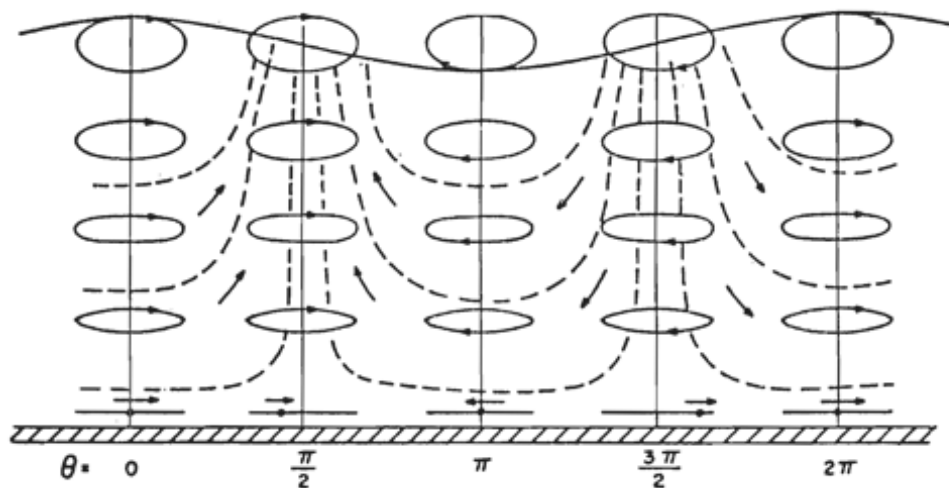


Figura 4- Correspondente à figura 1, porém para águas rasas. Fonte: (Vieira 2007).

Para realizar uma descrição do perfil da onda linear é preciso primeiramente estabelecer a relação entre o comprimento de onda e a profundidade do meio de propagação. A aplicação dos seguintes limites é feita para esta definição:

- Águas profundas: $\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
- Águas intermediárias: $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$
- Águas rasas: $\frac{d}{L} < \frac{1}{20}$

A tabela 2 mostra as equações matemáticas da aplicação da teoria de Airy resumidamente.

Tabela 2- Equações da Teoria de Airy.

Profundidade	Águas rasas	Águas intermediárias	Águas profundas
Celeridade	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$C = C_o = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Comprimento de onda	$L = T \sqrt{gd} = CT$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = CoT$
Energia	$E = \rho w * g * \frac{H^2}{8}$	$E = \rho w * g * \frac{H^2}{8}$	$E = \rho w * g * \frac{H^2}{8}$
Velocidade de grupo	$Cg = C = \sqrt{gd}$	$Cg = nC$ $= \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right] C$	$Cg = \frac{1}{2} C = \frac{gT}{4\pi}$
Potência	$P = E * Cg$	$P = E * Cg$	$P = E * Cg$

Fonte: Modificado de Vieira et al. (2007)

3.3 VENTOS

Os ventos são um dos principais responsáveis pela dinâmica costeira, realizam um papel importante nos ambientes marinhos, sobretudo na geração de ondas e correntes de deriva (Souza 2006).

As diferenças de temperatura originam diferenças de pressão atmosférica. A taxa de variação de pressão atmosférica dentre duas áreas gere o movimento horizontal do ar, ou seja, o vento (Campos 1995). As direções dos ventos são orientadas de regiões de alta pressão para as de baixa pressão e sua velocidade está vinculada com a magnitude do gradiente de pressão (Aguiar 2011).

Os ventos alísios, presentes na região de estudo, são desenvolvidos em uma grande extensão de área livre de obstáculos no oceano, definindo uma peculiar constância, intensidade e turbulência relativamente baixa (Lima 2011). A dinâmica desses ventos é marcada por um forte ciclo sazonal e uma enorme assimetria em torno da linha do Equador (Silva 2003).

Os dados das propriedades dos ventos foram obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, através de uma estação meteorológica de superfície automática, composta de uma unidade de memória central (“data logger”), conectada com vários sensores de parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, umidade relativa do ar e temperatura, radiação solar, precipitação e direção e velocidade do vento).

4 MATERIAIS E METÓDOS

4.1 AMOSTRAGEM

Os dados foram coletados na costa norte e nordeste brasileira entre os anos de 2013 e 2014 (figura 5), totalizando 11 praias. Os pontos foram escolhidos segundo as necessidades do projeto Cartas SAO a partir do qual os dados para o desenvolvimento deste trabalho foram obtidos (tabela 3).

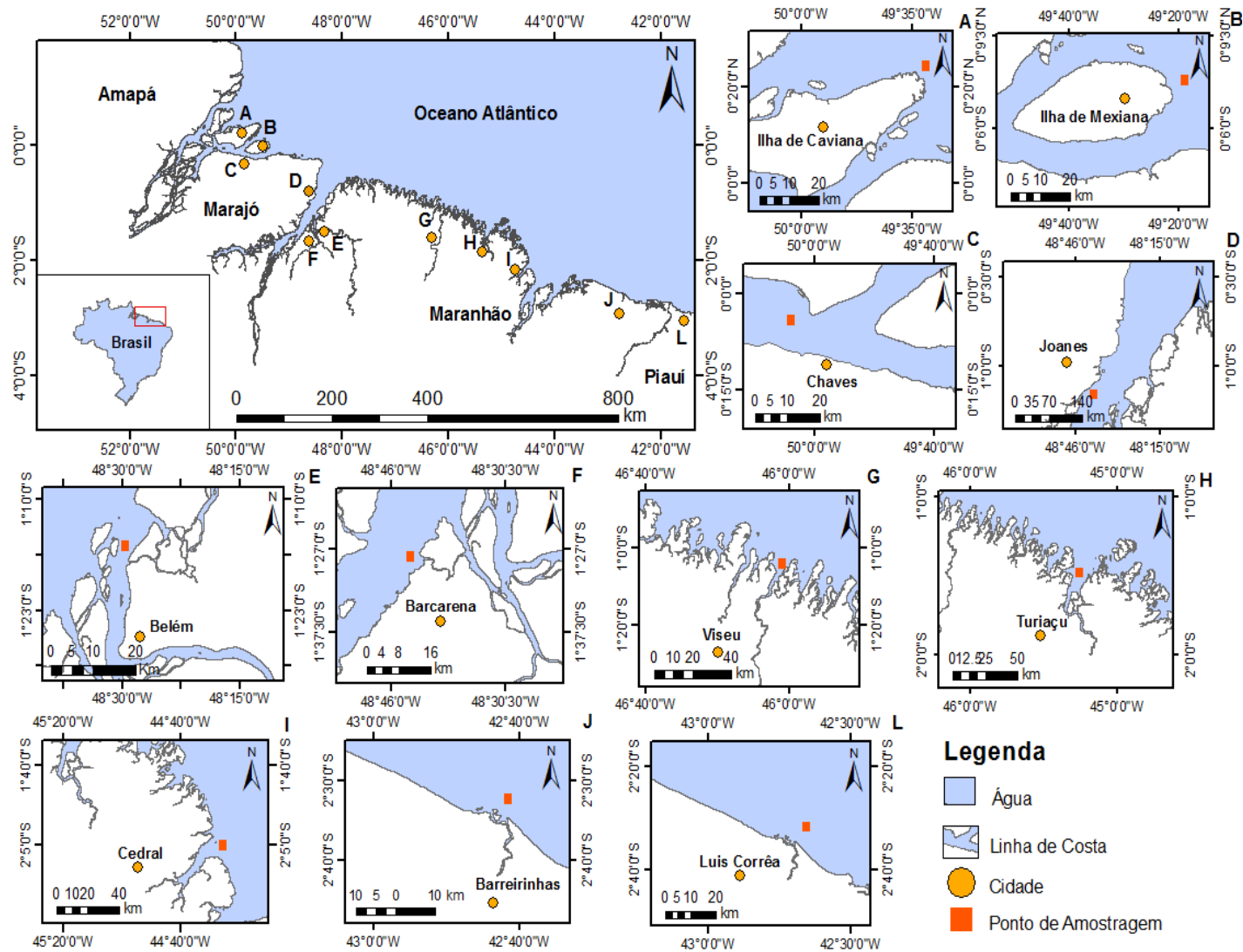


Figura 5 - Mapa da área de estudo.

Fonte: Do autor

Para a obtenção de dados foi utilizado um ondógrafo modelo AWH-USB produzido por JEF Advantech (Figura 6 A). O mesmo foi fundeado e programado para registrar variações da superfície livre a cada 0,1 segundos. Os dados de direção de propagação das ondas foram registrados com auxílio de uma bússola (Figura 6 B) e marcados a cada meia hora. Para as coordenadas dos pontos de amostragem foi utilizado um GPS Montana 650 (GARMIN) com DatumWGS84.

Os períodos de amostragem variaram de 9 a 13 horas, uma vez que as coletas foram vinculadas as demais coletas do projeto Cartas SAO.

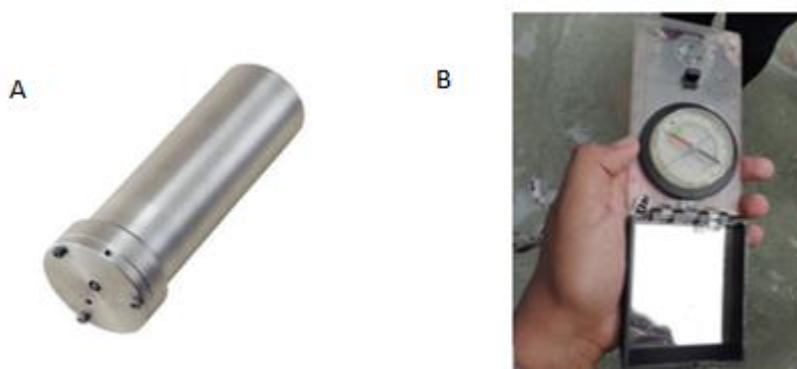


Figura 6 – (A) Sensor de Pressão utilizado na coleta de dados de onda. (B) Bússola utilizada para obtenção de dados de direção de propagação
Fonte: Do autor.

4.2 ANÁLISE DE DADOS

O tratamento dos dados de onda foi realizado através de rotinas em linguagem Matlab, apresentadas por Lima (2016), a partir das quais foi possível calcular altura e período significativos, aplicar a teoria de Airy para celeridade, celeridade de grupo e comprimento, e calcular energia e potência.

A teoria de Airy encontra aplicabilidade para zonas profundas e para ondas de baixa amplitude e depende diretamente da ligação entre a profundidade do meio de propagação e o comprimento da onda. Sendo assim, foi realizado uma especificação de ondas individuais de correntes em águas rasas, águas intermediárias ou águas profundas.

Devido a problemas durante a aquisição de dados, a serie temporal foi separada em pacotes referenciais a 1 hora de coleta e posteriormente de cada um desses pacotes foi analisado apenas 5 minutos, que é o equivalente a três mil dados.

Esses resultados (tabela 3) foram analisados segundo região em que estão inseridos com auxílio de cálculos estatísticos.

Tabela 3- Dados dos pontos de coleta.

Data	Localidade	Hora início	Hora Final	LAT	LONG	Frequência	Estação
14/02/14	Viseu	08:55	16:25	1°23'40" S	45°25'19"W	0.1s	Chuvoso
16/02/14	Turiaçu	09:25	15:10	1°21'47"S	45°24'25"W	0.1s	Chuvoso
17/02/14	Cedral	09:30	17:20	2°0'24"S	44°29'45"W	0.1s	Chuvoso
28/04/14	Barreirinhas	06:25	17:25	2°31'32"S	42°45'57"W	0.1s	Chuvoso
30/04/14	Luís Corrêa	06:11	17:00	2°50'14"S	41°38'43"W	0.1s	Chuvoso
08/11/14	Barcarena	04:24	15:14	1°30'28"S	48°36'68"W	0.1s	Seco
07/11/14	Belém	06:10	18:36	1°24'.12"S	48°30'63"W	0.1s	Seco
07/10/14	Joanes	23:55	07:46	0°51'96"S	48°29'72"W	0.1s	Seco
16/05/13	Chaves	10:15	00:45	00.07984 S	050.03609W	0.1s	Chuvoso
17/05/13	Mexiana	17:00	06:00	00.3956 N	049.35728W	0.1s	Chuvoso
19/05/13	Caviana	0:30	23:00	00.39104 N	049.67540W	0.1s	Chuvoso

5 RESULTADOSE DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE ONDAS

5.1.1 Setor 1

São apresentados, nas tabelas 4, 5 e 6, os dados dos parâmetros de onda para a Ilha de Caviana, Mexiana e Chaves, respectivamente, no qual verifica-se que as alturas significativas das ondas de Caviana variaram entre 0.10 e 0.28 m e os períodos de pico tiveram uma distribuição entre 2.79 e 3.54 segundos. Essas ondas vieram predominantemente da direção SE e a velocidade do vento, de acordo com os dados obtidos pelo INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, foi de 1.43 m/s.

Os resultados dos parâmetros de onda de Mexiana (tabela 5), apresentaram alturas significativas variando entre 0.03 e 0.13 m e os períodos de pico tiveram uma distribuição entre 4.06 e 6.07 segundos. A direção de propagação da onda foi de SE e a velocidade do vento correspondeu de 1 m/s, conforme dados do INMET.

Os dados correspondente a cidade de Chaves (tabela 6), mostra que as alturas significativas foram de 0.02 e 0.06 m, ocorrendo uma no período da vazante e outra no período da enchente, os períodos de pico tiveram uma distribuição de 2.19 e 3.06 segundos, a direção de propagação da onda foi de SO e a velocidade do vento, segundo dados obtidos pelo INMET, foi de 1.43 m/s. Devido a algumas falhas durante a coleta, apenas duas horas de medição foi possível ser analisada em Chaves, todavia, foram avaliados dados correspondente a baixamar e a preamar obtendo assim dados significativos para análise.

Conforme a aplicação da Teoria de Airy, a Ilha de Caviana e Mexiana foram classificadas como de águas intermediárias, onde se procedeu da relação entre a profundidade do meio de propagação e o comprimento de onda, uma vez que a razão (h/L) se encontra entre os valores limites de $1/20$ ou $0,50$, já as ondas de Chaves tiveram classificação de águas profundas, o que indica que a profundidade foi maior que 28% do comprimento de onda, então nesse caso, a topografia local não alterará a onda e a sua velocidade depende somente do comprimento.

A profundidade na área de estudo segundo (Lima 2011) varia de acordo com dois fatores: a maré, onde os maiores níveis são encontrados na sizígia, e a descarga fluvial, que é o agente do aumento e a diminuição do nível da água, caracterizando os períodos de secas e cheias.

Durante a cheia, são encontrados os maiores níveis de profundidade, o que afeta diretamente na sua classificação e nas alturas das ondas.

De acordo com (Lima 2011) as ondas adjacentes à essas regiões, na maioria dos casos, podem ser classificadas como de águas intermediárias, de alta frequência e geradas pelo vento local, com médias de alturas significativas de 0.21 e 0.36 m, períodos variando de 2.8 a 3.1 s e a direção predominante de sudeste/sudoeste, como mostra os resultados, consequente da reflexão com alguns obstáculos presentes nessas regiões.

. O setor 1 por estar localizado em uma faixa estuarina no litoral norte, apresentam, em regra geral, alturas de ondas de menos de 1 m e períodos em torno de 8 segundos (El Robrini, 2006), como apontou os resultados, contudo, as alturas dessas ondas dependem também da velocidade do vento, já que a mudança na sua velocidade ou direção, afetará diretamente a energia das ondas.

Tabela 4- Dados referentes a análise de ondas da localidade de Caviana, com resultados da altura significativa (H_s), altura Max, Período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	$H_s(m)$	$H_{max}(m)$	T(s)	C	C_g	L	E	P	Direção
11:00 12:00	0.11	0.19	3.39	2.11	1.99	7.16	15.39	30.69	SE
12:00 13:00	0.09	0.13	3.00	1.80	1.71	5.41	9.30	15.89	SE
13:00 14:00	0.10	0.15	2.79	3.77	3.77	10.51	12.34	32.09	SE
14:00 15:00	0.11	0.15	2.94	4.23	4.23	12.40	14.09	37.46	SE
15:00 16:00	0.23	0.32	2.88	4.30	4.30	12.36	36.28	158.63	SE
16:00 17:00	0.28	0.37	3.08	4.58	4.58	14.12	95.26	257.02	SE
17:00 18:00	0.28	0.41	3.54	4.99	4.99	17.63	100.66	326.57	SE

Tabela 5- Dados referentes a análise de ondas da localidade de Mexiana, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, Período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax(m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
17:00 18:00	0.05	0.11	6.07	8.46	5.61	5.41	2.77	15.54	SE
18:00 19:00	0.04	0.06	5.80	8.18	5.32	47.45	1.81	9.66	SE
19:00 20:00	0.03	0.05	5.47	7.94	4.93	43.47	1.47	7.24	SE
20:00 21:00	0.03	0.04	4.82	7.26	4.15	35.00	1.26	5.23	SE
21:00 22:00	0.03	0.04	4.82	7.26	4.15	35.00	1.26	5.23	SE
22:00 23:00	0.03	0.06	4.74	7.21	4.00	34.15	1.19	4.75	SE
23:00 00:00	0.03	0.07	4.14	6.42	3.33	26.57	1.14	3.79	SE
00:00 01:00	0.07	0.20	4.06	6.30	3.25	25.61	5.70	18.55	SE
01:00 02:00	0.04	0.06	4.58	7.05	3.76	32.32	2.27	8.54	SE
02:00 03:00	0.08	0.12	4.24	6.53	3.46	27.70	7.39	25.61	SE
03:00 04:00	0.13	0.20	4.23	6.42	3.59	27.16	20.93	75.13	SE
04:00 05:00	0.09	0.15	4.85	6.98	4.40	33.85	10.05	44.21	SE

Tabela 6- Dados referentes a análise de ondas da localidade de Chaves, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, Período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax(m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
16:25 17:25	0.06	0.10	3.06	4.78	2.39	14.63	3.84	9.18	SO
18:15 19:15	0.02	0.05	2.19	3.42	1.71	7.49	0.73	1.25	SO

5.1.2 Setor 2

São demonstrados na tabela 7, 8 e 9 os dados dos parâmetros de ondas referentes à cidade de Joanes, Belém e Barcarena, onde observa-se que as alturas significativas das ondas de Joanes (tabela 7) variaram entre 0.01 e 0.03 m e os períodos de pico tiveram uma distribuição entre 2.81 e 7.90 segundos. Essas ondas vieram predominantemente da direção

SO e a velocidade do vento, segundo dados obtidos pelo INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, foi de 3.9 m/s.

Os dados de Belém (tabela 8) apresentaram alturas significativas variando entre 0.01 e 0.10 m e os períodos de pico tiveram uma distribuição entre 1.44 e 5.92 segundos. A direção de propagação da onda foi de SO e a velocidade do vento correspondeu de 1.8 m/s, conforme informações do INMET (2017).

Os aspectos dos parâmetros de onda da cidade de Barcarena mostrados na tabela 9, constatou-se que as alturas significativas variaram entre 0.02 e 0.04 m, os períodos apresentaram variações entre 3.87 e 4.97 e a direção do pico das ondas foi de SO. A velocidade do vento nessas regiões obtidos pela base de dados do INMET foi de 1.9 m/s.

As ondas de Joanes foram classificadas, pela aplicação da Teoria de Airy, como de águas intermediárias, na maioria das horas, e também de águas profundas nas horas que equivaleram o período da vazante, nas águas profundas, os parâmetros de Joanes apresentaram comprimento de onda menor do que das águas intermediárias. Em Belém as ondas tiveram propriedades de águas intermediárias em 99% das medições e 1% de águas profundas, no final da enchente. Barcarena apresentou classificação de águas intermediárias em 100% das horas medidas.

Foi observado que não houve grande variação das alturas significativas de ondas nas cidades de Joanes e Barcarena, mesmo nos períodos de maior nível d'água, as ondas se manterão praticamente estável durante as horas de medições, o que corrobora com Pinheiro (1987), que ondas nessas regiões quebram com altura de menos 1 m e períodos de até 8 segundos. A superfície dessas águas, principalmente em condições de baixamar, caracteriza um sistema relativamente tranquilo, com presença de pequenas ondulações, que não chegam a 0.3 m de altura (EL Robrini 2066). Outro fator que se deve levar em conta, é o fato das profundidades de Joanes e Barcarena serem elevadas, aumentando a profundidade, aumenta a velocidade da onda, e consequentemente diminui seu tamanho.

Já em Belém foi possível notar uma variação maior na altura significativa que aumentou durante o período de preamar. A profundidade de Belém foi a menor em comparação com as outras regiões, o que se torna um fator importante já que a profundidade influencia na dissipação de energia da onda, pois em pequenas profundidades, além dos

fenômenos de rebentação parcial, turbulência e atrito interno, somam-se do atrito e da percolação do fundo (Aguiar, 2011).

As ondas formadas no litoral norte, é decorrência dos ventos alísios, que contém, segundo El Robrini (2006), em regra geral, alturas abaixo de 1-1,5m em mar aberto e de acordo com Pinheiro (1987), na baía de Guajará, as ondas quebram com altura de 1 m e períodos em torno de 8 segundos

É relevante também, a significância em relação ao tamanho do estuário se relacionado, por exemplo, com outros estuários, onde segundo Schettini (2001) a ação direta das ondas de gravidade no local não exerce um papel importante devido à retificação da barra do estuário e suas características sinuosas, não havendo assim pista para a formação de ondas de altura satisfatória para exercer um papel notável na dinâmica sedimentar na bacia estuarina.

Contudo, o setor 2 apresenta uma pista considerável, dependendo da direção do vento, as ondas ali geradas, além da maré, são de total importância para a dinâmica local.

Tabela 7- Dados referentes a análise de ondas da localidade de Joanes, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax (m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
00:00 01:00	0.03	0.05	6.75	9.11	6.29	61.46	1.35	8.47	SO
01:00 02:00	0.02	0.03	5.65	8.54	4.84	48.27	0.46	2.22	SO
02:00 03:00	0.01	0.03	2.81	4.39	2.19	12.34	0.21	0.46	SO
03:00 04:00	0.03	0.13	7.90	10.14	7.39	80.13	1.17	8.63	SO
04:00 05:00	0.01	0.02	4.84	7.55	3.77	36.50	0.17	0.62	SO
05:00 06:00	0.01	0.02	5.66	8.70	4.65	49.21	0.14	0.67	SO
06:00 07:00	0.02	0.03	6.89	10.16	6.10	70.05	0.32	1.95	SO

Tabela 8 - Dados referentes a análise de ondas da localidade de Belém, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax (m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
06:00 07:00	0.05	0.10	4.34	4.95	3.94	21.46	2.54	9.99	SO
07:00 08:00	0.03	0.05	5.53	4.84	4.29	26.74	1.49	6.41	SO
08:00 09:00	0.10	0.24	2.06	2.16	1.80	4.44	11.53	20.70	SO
09:00 10:00	0.07	0.46	5.92	5.81	4.97	34.39	5.62	27.92	SO
11:00 12:00	0.02	0.04	1.44	2.24	1.12	3.22	0.36	0.41	SO
12:00 13:00	0.01	0.02	3.45	5.26	2.90	18.16	0.17	0.50	SO
13:00 14:00	0.03	0.06	3.90	6.65	3.51	22.05	0.96	3.36	SO
14:00 15:00	0.03	0.09	4.08	5.54	3.80	22.61	1.48	5.62	SO
15:00 16:00	0.01	0.02	3.42	4.94	3.09	16.91	0.21	0.65	SO
16:00 17:00	0.03	0.05	3.51	4.79	3.26	16.83	1.31	4.26	SO
17:00 18:00	0.08	0.15	4.06	4.99	3.78	20.27	7.68	29.06	SO

Tabela 9 - Dados referentes a análise de ondas da localidade de Barcarena, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax(m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
05:00 06:00	0.02	0.03	3.87	5.58	3.49	21.58	0.49	1.71	SO
06:00 07:00	0.02	0.03	4.10	5.64	3.81	23.14	0.52	1.99	SO
07:00 08:00	0.02	0.03	4.05	5.59	3.76	22.64	0.50	1.89	SO
08:00 09:00	0.02	0.03	4.79	5.65	4.40	27.06	0.59	2.59	SO
09:00 10:00	0.04	0.06	4.53	6.14	4.22	27.84	1.93	8.14	SO
10:00 11:00	0.02	0.04	4.89	6.56	4.56	32.09	0.69	3.14	SO
11:00 12:00	0.03	0.04	4.53	6.52	4.10	29.52	1.30	5.32	SO
12:00 13:00	0.03	0.05	4.25	6.30	3.73	26.74	0.99	3.70	SO
13:00 14:00	0.02	0.03	4.97	6.75	4.62	33.52	0.65	3.00	SO

5.1.3 Setor 3

São mostrados, nas tabelas 10 e 11 os dados dos parâmetros de onda referente a cidade de Viseu e Turiaçu, nos quais verifica-se que as alturas significativas das ondas de Viseu (tabela 10) variaram entre 0.01 e 0.15 m e os períodos de pico tiveram uma distribuição entre 2.51 e 9.60 segundos. Essas ondas vieram predominantemente da direção O e a velocidade do vento, de acordo com os dados obtidos pelo INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, foi de 0.0 m/s.

A tabela 11 apresenta os dados da região de Turiaçu, no qual as alturas significativas das ondas variaram entre 0.04 e 0.09 m, os períodos de pico tiveram distribuição de 5.01 e 6.97 segundos, as ondas apresentaram direção de SO e a velocidade do vento foi de 2.13 m/s.

Viseu apresentou classificação de águas intermediárias nas horas de maré enchente e de águas profundas na maré vazante. Turiaçu obteve aspectos de águas intermediárias em todas as horas da medição.

Na região de Viseu, o vento apresentou velocidade de 0.0 m/s o que pode explicar o período de pico elevado de 9.60 segundos em águas profundas, onde a velocidade de propagação de onda aumenta junto ao comprimento (ou período), e por essas regiões serem influenciadas pelo vento local, não correspondendo com os dados obtidos pelo INMET. A energia das ondas, nesse ambiente estuarino, exerce um papel importante na circulação do sistema estuarino, pela alta energia de ondas em sua entrada, pela baixa energia na porção central estuarina e pela alta energia na cabeceira do estuário, formada pelas correntes fluviais (Dalrymple; Zaitlin; Boyd, 1992).

A energia das ondas nessas regiões em águas profundas foi maior que a de águas intermediárias, em Turiaçu, por ser um ambiente de praias estuarinas, o caráter de baixo grau energético atribuído a esse ambiente é decorrente, principalmente, da atuação de ondas que possuem pequena amplitude e curto período. Essas características de ondas, é resultante de fatores locais, como por exemplo, a orientação da linha da costa; os aspectos dos fundos adjacentes e a intensidade do vento atuante (Nordstrom, 1992; Jackson; Nordstrom, 1992).

Esse setor sofre influência das ondas formadas a partir dos alísios, que apresentam alturas em torno de 1-1,5 m em mar aberto, de acordo com os dados do CPTEC/INPE.

Tabela 10 - Dados referentes a análise de ondas da localidade de Viseu, com resultados da altura significativa (H_s), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	$H_s(m)$	$H_{max}(m)$	$T(s)$	C	C_g	L	E	P	Direção
09:00 10:00	0.04	0.08	9.60	7.34	6.72	70.49	2.43	16.32	O
10:00 11:00	0.01	0.03	8.24	7.56	6.61	62.24	0.27	1.76	O
12:00 13:00	0.15	0.26	2.51	3.92	1.96	9.86	28.24	55.38	O
13:00 14:00	0.13	0.21	2.75	4.29	2.15	11.81	20.11	43.14	O
14:00 15:00	0.05	0.07	7.15	8.23	6.52	58.88	2.81	18.35	O

Tabela 11 - Dados referentes a análise de ondas da localidade de Turiaçu, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax (m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
10:00 11:00	0.09	0.13	5.93	6.66	5.35	39.45	9.87	52.79	SO
11:00 12:00	0.08	0.14	5.95	6.23	5.18	37.02	8.30	43.05	SO
12:00 13:00	0.05	0.07	6.18	7.19	6.66	44.46	3.33	18.83	SO
13:00 14:00	0.04	0.06	5.01	6.92	4.66	34.71	1.84	8.56	SO
14:00 15:00	0.05	0.09	5.31	7.21	4.95	38.28	2.99	14.79	SO
15:00 16:00	0.08	0.14	6.97	7.48	6.15	52.09	8.45	52.01	SO

5.1.4 Setor 4

É apresentado na tabela 12 os dados dos parâmetros de onda para a cidade de Cedral, no qual verifica-se que as alturas significativas das ondas variaram entre 0.02 e 0.25 m e os períodos de pico tiveram uma distribuição entre 6.89 e 11.24 segundos. Essas ondas vieram predominantemente da direção SO ea velocidade do vento, de acordo com os dados obtidos pelo INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, foi de 2.2 m/s.

Cedral apresentou características de águas intermediárias, em todas as horas de medição. As ondas nas proximidades da região, mostram características de ondas com altura de 0.20 m com frequência de 95% (Morais 1977), corroborando com os resultados obtidos.

Os períodos de Cedral foram elevados, chegando até 11.24 segundos, o que pode ser caracterizado nessa hora ondas de marulho, já não recebendo energia do vento, onde a direção da onda de origem difere das observadas no vento local (Aguiar 2011). Os maiores períodos tiveram as maiores energias da onda, pois o período de pico, indica o período da onda com maior densidade espectral, ele representa as ondas mais energéticas do local (Holthuijsen 2007).

As ondas formadas são influenciadas pelos ventos alísios, no qual apresentam alturas abaixo de 1-1,5 m em mar aberto verificado com dados da CPTEC/INPE. De acordo com El Robrini (2006), as ondas na Baía de São Marcos apresentam propriedades exclusivamente

geradas pela ação do vento. Analisou-se também que as ondas com altura de 0.20 m tem uma frequência de 95% e as de 2.80 m tem apenas frequência de 1%.

Tabela 12 - Dados referentes a análise de ondas da localidade de Cedral, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax (m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
09:00 10:00	0.25	0.35	10.51	7.15	6.68	75.15	77.00	514.26	SO
10:00 11:00	0.11	0.14	11.24	6.46	6.16	72.54	14.19	87.36	SO
11:00 12:00	0.02	0.03	9.63	6.77	6.29	65.16	0.70	4.43	SO
15:00 16:00	0.02	0.03	9.67	6.42	6.02	6.02	0.45	2.69	SO
16:00 17:00	0.08	0.12	6.89	8.08	6.32	6.32	8.81	55.71	SO

5.1.5 Setor 5

São mostrados, nas tabelas 13 e 14 os dados dos parâmetros de onda para a cidade de Barreirinhas e Luís Corrêa, onde nota-se que as alturas significativas das ondas de Barreirinhas (tabela 13) variaram entre 0.43 e 0.52 m e os períodos de pico apresentaram uma distribuição entre 1.01 e 1.15 segundos. Essas ondas vieram predominantemente da direção SSE e a velocidade do vento, segundo dados adquiridos pelo INMET- Instituto Nacional de Meteorologia, foi de 1.2 m/s.

Os dados referentes a Luís Corrêa apresentados na tabela 14, mostram que as alturas significativas das ondas variaram entre 0.26 e 0.58 m e os períodos de pico indicaram uma distribuição entre 8.89 e 14.29 segundos. A direção indicou predominância de SE e a velocidade do vento, foi de 0.2 m/s.

Conforme a aplicação da Teoria de Airy, Barreirinhas foi classificada como de águas profundas em 100% da medição e Luís Corrêa obteve aspectos de águas rasas em 60% da medição e 40% de águas intermediárias.

Por serem ambientes oceânicos, os processos de erosão e deposição nesses ambientes são controlados, principalmente pela a ação das ondas incidentes e das correntes de derivas litorânea (Martins 2006), sendo que os processos de refração, difração e atenuação das ondas

são influenciados pelo nível de exposição ao contato direto com o oceano e pela existência de feições costeiras.

Em Luís Corrêa, as ondas ao se propagarem de áreas mais profundas para águas mais rasas, sofrem transformações importantes que se tornam mais acentuada antes de alcançarem a linha da costa, onde pode-se observar fenômenos de refração, difração, reflexão, empinamento, quebra e rupturas de ondas (Soprani 2011). É por este fato que nas zonas costeiras o mecanismo de dissipação considerado dominante é o atrito do fundo (Arora e Bhaskaran 2012).

Os parâmetros de onda de Luís Corrêa indicaram uma mesma celeridade, uma vez que, em águas rasas, todos os componentes de onda viajarão com mesma celeridade, já que nessa região é função apenas da profundidade (Ostritz 2012). Os períodos tiveram uma distribuição muito alta, chegando até 14.29 segundos, adquirindo assim características de ondas do tipo Marulho. De acordo com (Bittencourt 1990), as ondas nessas regiões apresentam alturas entre 0,50 e 0,75 m, o que comprova com os dados obtidos, onde quebram longe da praia e quando a alcançam já estão bastante dissipadas.

Segundo El Robrini (2006) as seguintes direções de frente-de-onda, com os seus percentuais anuais de ocorrência no litoral oriental do Maranhão N ($N0^\circ$), NE ($N45^\circ$) e E ($N90^\circ$), com percentuais relativos entre si de 7%, 23% e 70% para as ondas com período de 5 segundos e alturas de 1 m. Nessa parte costeira, identificou-se uma significativa refração nas frentes-de-onda de leste. A onda nessa faixa costeira apresenta alturas 1-1,5 em mar aberto, corroborada com dados da CPTEC/INPE. Estes dados atribuem-se valores entre 0.6 e 1.4 m, com média geral de 1 m (Feitosa 1989).

Barreirinhas apresentou um período de pico constante durante a medição, com a maior altura significativa nos maiores valores de período, celeridade e energia, onde indica ser um ambiente de influência em potencial por ventos, já que em águas profundas, os processos de entrada de ventos, são dominantes (Matos 2013). Essas regiões por apresentar ondas dominadas principalmente pelo oceano, mesmo sobre a plataforma continental, se comportam como ondas de águas profundas e não sentem o efeito do fundo até chegarem próximo a praia (Sato 2010).

Tabela 13 - Dados referentes a análise de ondas da localidade de Barreirinhas, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax(m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
07:00 08:00	0.47	0.75	1.14	1.78	0.89	2.04	279.02	248.65	SSE
08:00 09:00	0.43	0.76	1.11	1.73	0.87	1.93	231.24	200.58	SSE
09:00 10:00	0.46	0.79	1.07	1.66	0.84	1.80	262.68	220.08	SSE
10:00 11:00	0.48	0.79	1.07	1.67	0.84	1.79	287.53	240.45	SSE
11:00 12:00	0.48	0.82	1.02	1.60	0.80	1.63	287.71	229.51	SSE
12:00 13:00	0.52	0.86	1.01	1.57	0.78	1.58	334.25	262.24	SSE
13:00 14:00	0.48	0.74	1.02	1.59	0.80	1.63	282.48	225.23	SSE
14:00 15:00	0.52	0.83	1.04	1.61	0.81	1.67	344.34	278.04	SSE
15:00 16:00	0.48	0.85	1.09	1.70	0.85	1.85	289.35	245.69	SSE
16:00 17:00	0.50	0.81	1.15	1.79	0.89	2.05	315.97	282.30	SSE

Tabela 14: Dados referentes a análise de ondas da localidade de Luís Corrêa, com resultados da altura significativa (Hs), altura Max, período (T), celeridade, celeridade de grupo, comprimento, energia, potência e direção.

Hora	Hs(m)	Hmax(m)	T(s)	C	Cg	L	E	P	Direção
06:00 07:00	0.56	0.64	13.34	10.39	10.39	138.58	386.57	4017.00	SE
07:00 08:00	0.52	0.64	13.25	10.29	10.29	136.32	332.04	3416.00	SE
08:00 09:00	0.45	0.54	14.29	9.91	9.91	141.64	254.70	2524.70	SE
09:00 10:00	0.30	0.38	9.19	5.94	5.59	54.61	111.95	625.61	SE
10:00 11:00	0.36	0.46	12.18	9.20	9.20	112.14	164.20	1511.30	SE

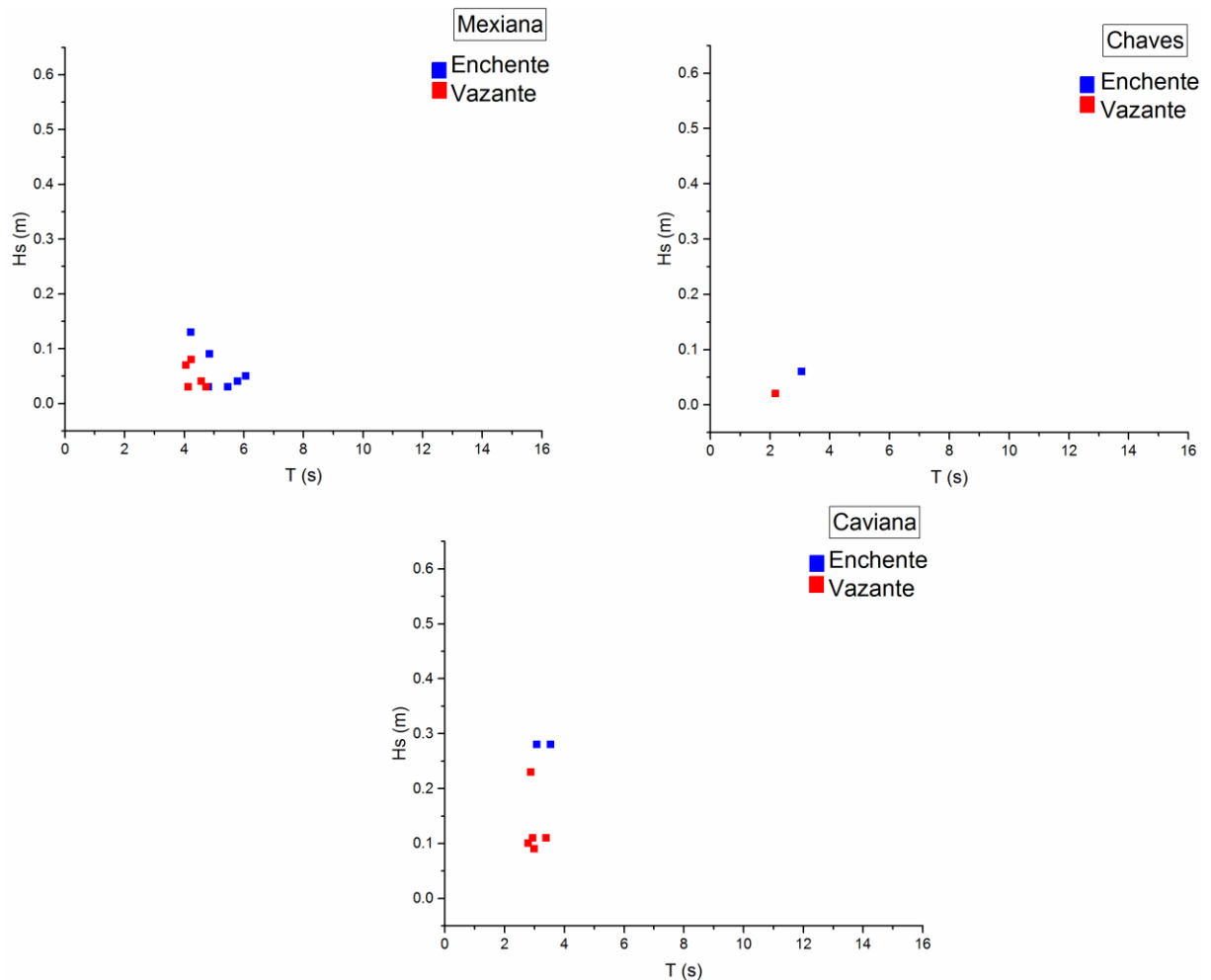
11:00 12:00	0.26	0.33	8.89	5.60	5.29	49.77	87.68	463.41	SE
12:00 13:00	0.40	0.60	9.03	5.64	5.33	50.95	199.24	1061.90	SE
13:00 14:00	0.32	0.43	10.02	5.46	5.32	54.69	129.94	679.60	SE
14:00 15:00	0.40	0.48	11.51	9.86	9.86	113.52	199.87	1971.40	SE
15:00 16:00	0.31	0.45	10.11	6.25	5.91	63.17	122.58	724.60	SE
16:00 17:00	0.58	0.83	12.68	10.48	10.48	132.88	422.12	4423.00	SE

5.2 COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ONDA COM OS DADOS DE MARÉ

5.2.1 Análise das alturas significativas, períodos e estágios da maré.

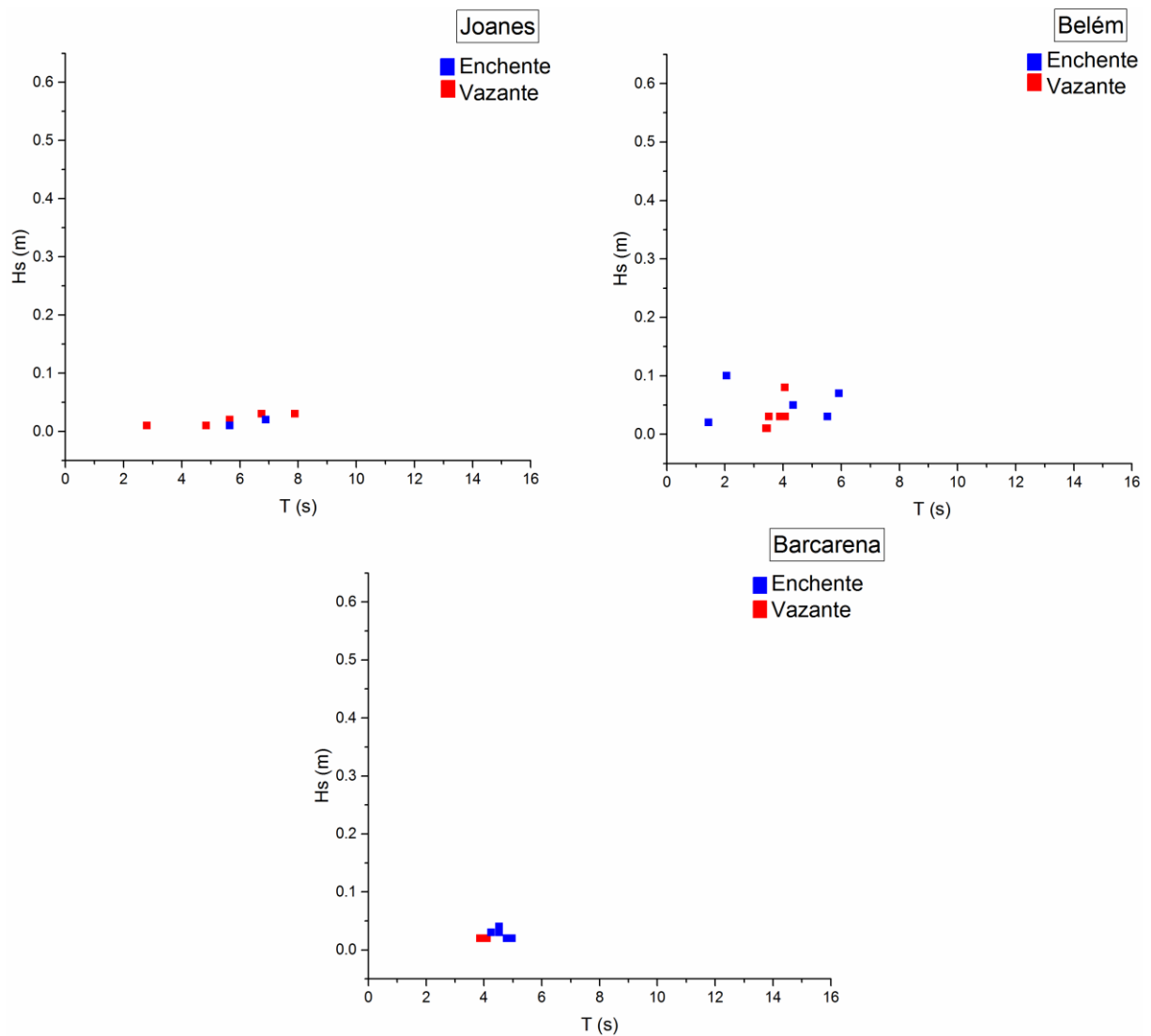
As figuras 7, 8, 9, 10 e 11 mostram a relação das alturas significativas com os períodos de pico para cada setor, onde as cores indicam os períodos de maré enchente e vazante. As informações de maré foram obtidas pela base de dados da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para as regiões em estudo.

Figura 7 –Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 1.



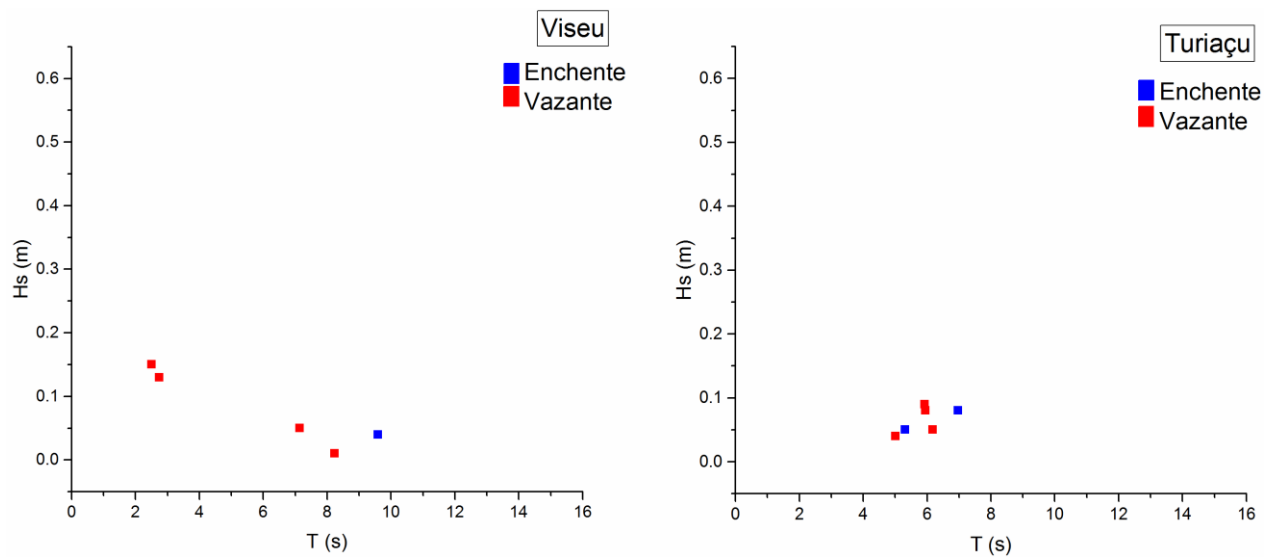
As maiores alturas significativas do setor 1 ocorreram no período de maré enchente e as menores no período de maré vazante, como mostra a figura 7, o que indica que a altura de onda é atenuada também pela variação do nível da água nessas áreas. Em Caviana o início da medição aconteceu em um horário na estufa de maré enchente, no início da vazante, indicando uma altura de 0.11 m, em Chaves a maior altura significa obteve o maior período, já em Mexiana a maior H_s correspondeu com um período de 4.23 segundos. Todas as medições desse setor ocorreram no período chuvoso.

Figura 8 –Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 2.



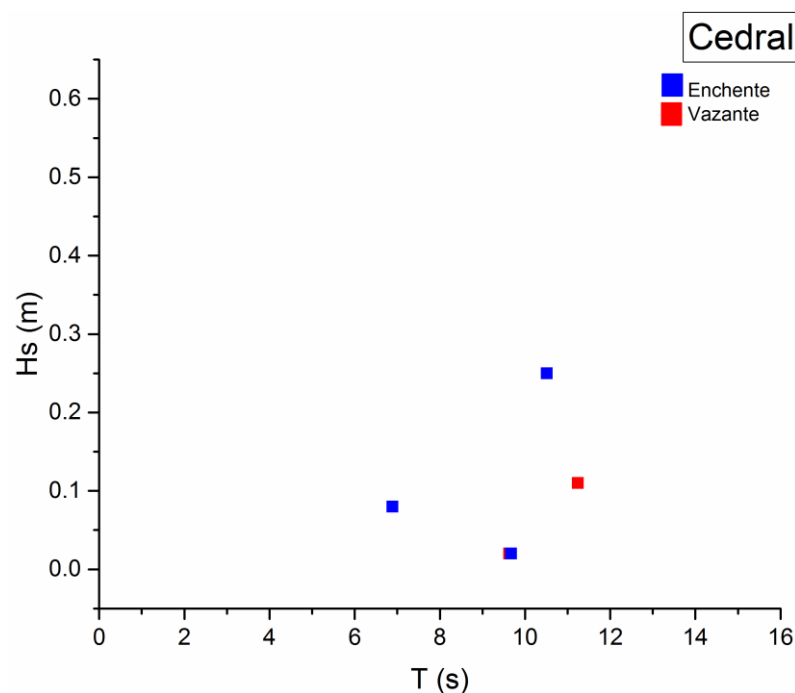
A figura mostra que a medição de Joanes ocorreu em maior parte no período da vazante e suas alturas não tiveram muita variação em relação aos estágios de marés, sendo que os menores períodos ocorreram na enchente. A maior altura significativa de Belém, ocorreu no período da preamar, com um período de pico de 2.06 segundos. Em Barcarena a maior altura foi de 0.04 m com período de 4.53 s. Todas as medições desse setor, aconteceram no período seco.

Figura 9 –Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 3.



O comportamento encontrado na figura 9 do setor 3 indica que as maiores alturas significativas ocorreram no período da vazante, e os maiores períodos de pico das ondas no período da enchente. A maré, portanto, não teve influência na altura da onda, nessas regiões.

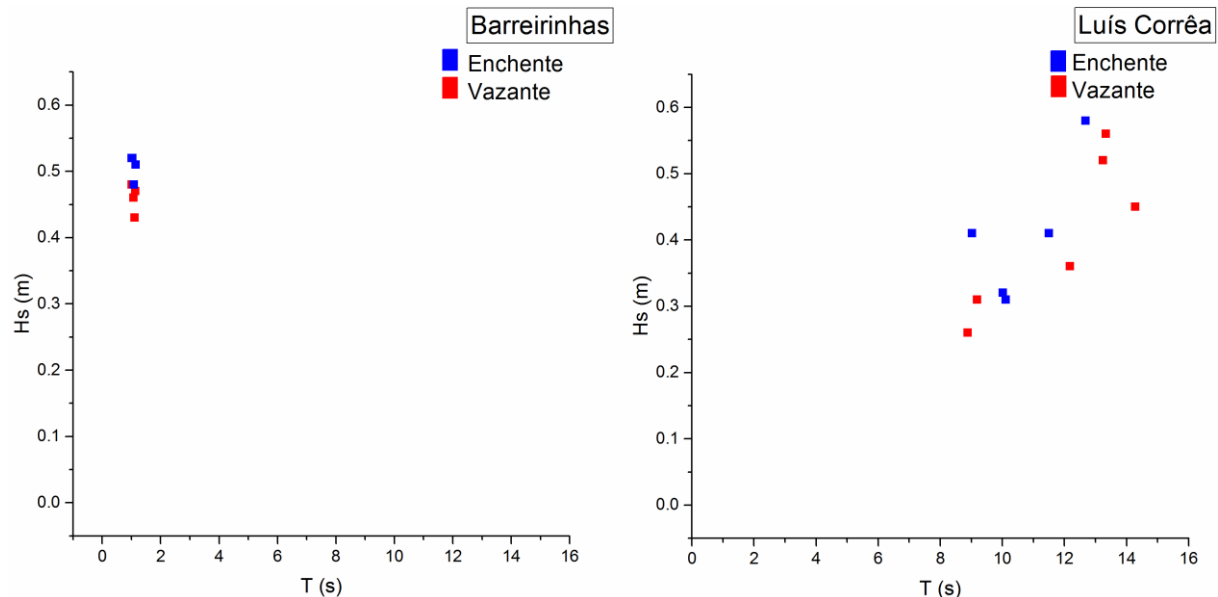
Figura 10 –Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 4.



É observado na figura 10, um acréscimo da altura significativa da onda no período da enchente, onde a maior altura foi de 0.25 m com período de pico de 10.51 segundos. A menor

altura ocorreu no início da vazante, com altura de 0.02 m e período de 9.63 segundos. A medição dessa região ocorreu no período chuvoso.

Figura 11 –Relação das alturas significativas e períodos da onda, em relação aos estágios de maré, do setor 5.



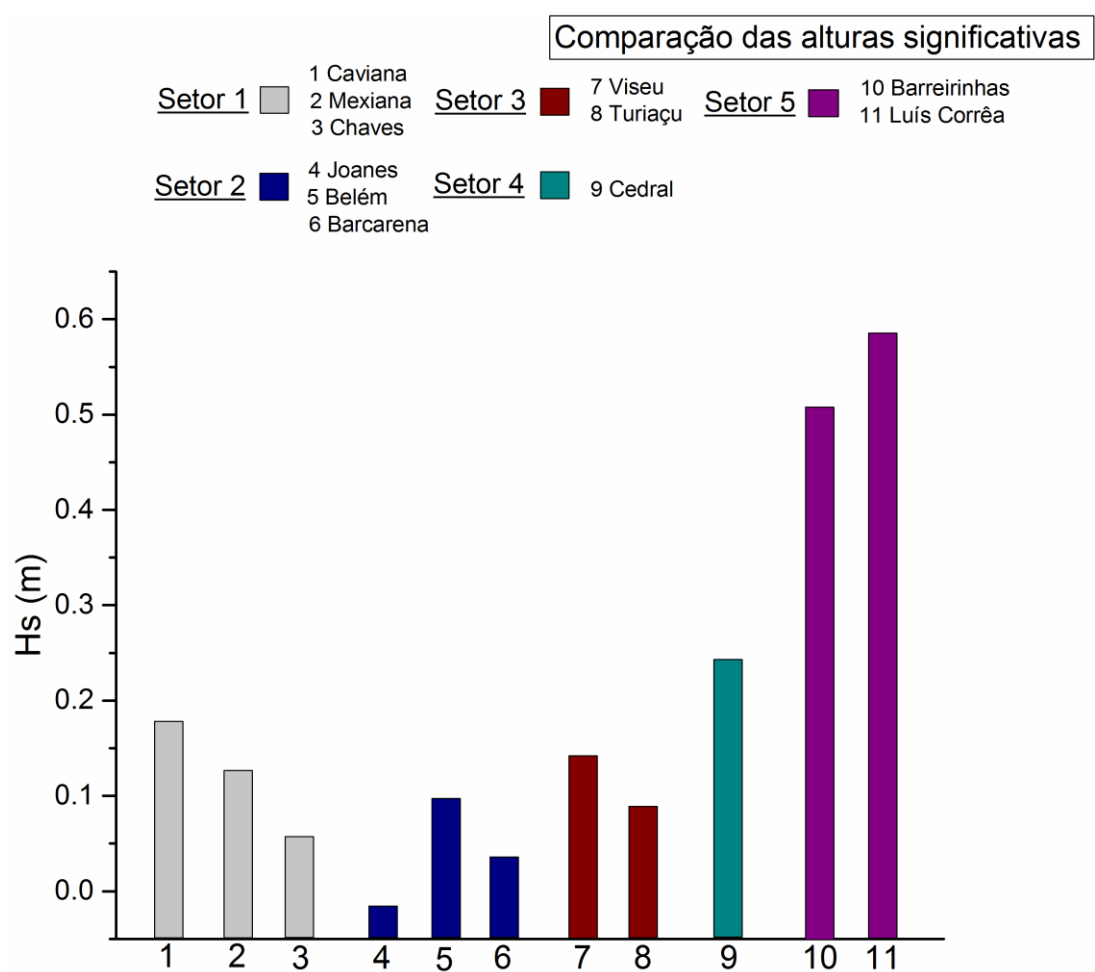
A figura 11 demonstra que em Barreirinhas, as maiores alturas significativas das ondas ocorreram no período de enchente, com períodos relativamente estáveis e em Luís Corrêa a maior altura da onda foi correspondente no período da vazante com períodos de pico de 13 segundos.

Essa correlação dos setores com as fases da maré é de grande relevância já que as marés, influenciam na profundidade do oceano e produzem corrente, o que a torna uma questão importante para estudos de ondas (Sato 2010), posto que podem afetar de maneira expressiva em seus principais parâmetros. Contudo, de acordo com a relação dos gráficos, a grande maioria dos setores tiveram suas alturas significativas maiores em decorrência do aumento do nível da maré, principalmente nas regiões estuarinas, pois segundo Lima 2010, as contínuas alterações na estrutura da onda de maré conforme ela se propaga em direção ao estuário e para dentro do mesmo, faz com que a maré tenha influência dominante na dinâmica estuarina, essas modificações se dá principalmente pela ocorrência de processos em águas rasas, causados pela relação com a geometria do estuário e pela fricção do fundo e dos contornos terrestres, o que torna a maré um agente importante em algumas regiões de estudo.

5.2.2 Análise dos resultados de altura significativa por setor.

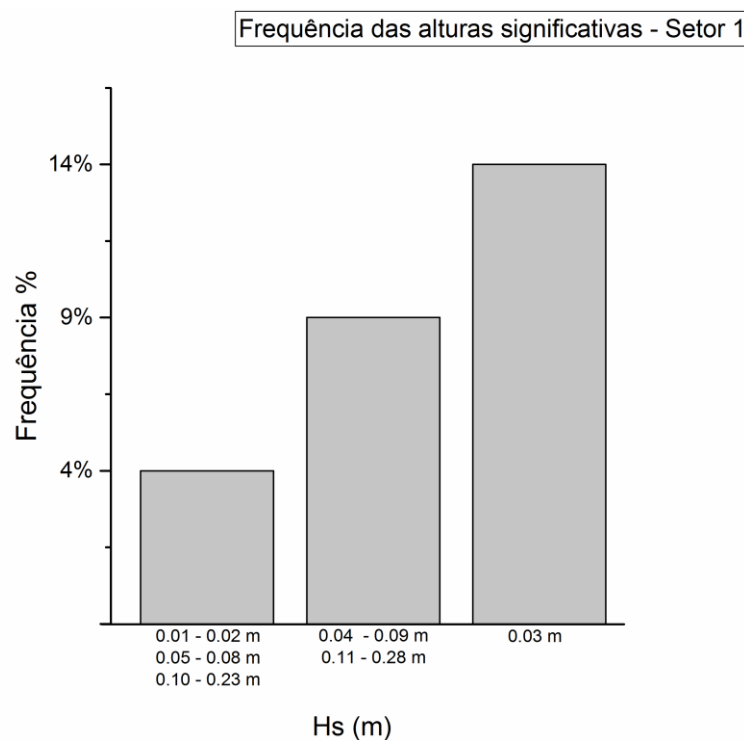
O gráfico 6 demonstra a comparação das alturas significativas em todos os setores, mostrando as regiões que apresentaram maior e menor altura.

Figura 12 –Comparação da Hs de todos os setores.



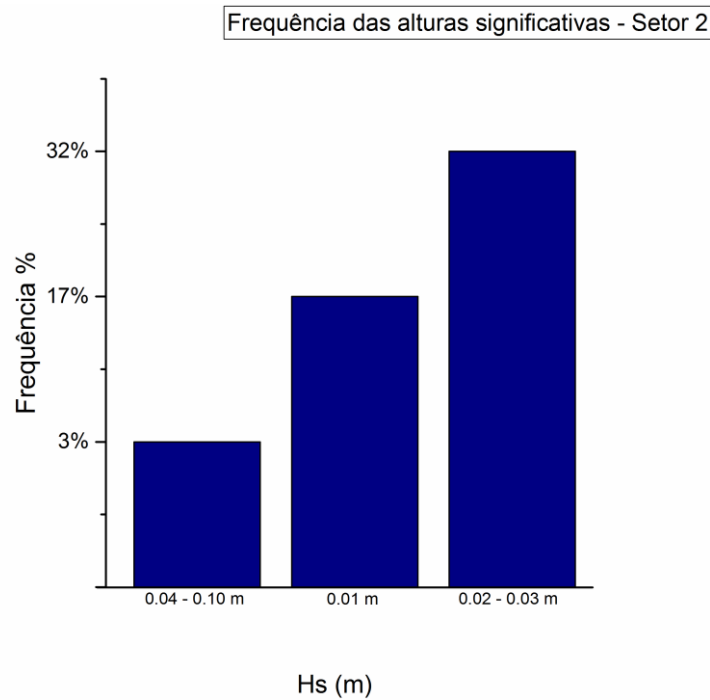
A figura 12 mostra uma comparação das alturas significativas em todos os setores, onde é possível notar que o setor 5 obteve as maiores alturas, o que pode ser explicado devido esses ambientes serem regiões de praias oceânicas de alta energia dominados por ondas (Lima 2016). As menores alturas foram registradas pelo setor 2, ambientes de praias estuarinas, onde o caráter de pequeno grau energético é decorrente da ação de ondas que possuem pequena amplitude e curto período e influência de condições locais, como, a orientação da linha de costa; a morfologia; as propriedades dos fundos adjacentes e o tamanho da pista.

Figura 13 –Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 1.



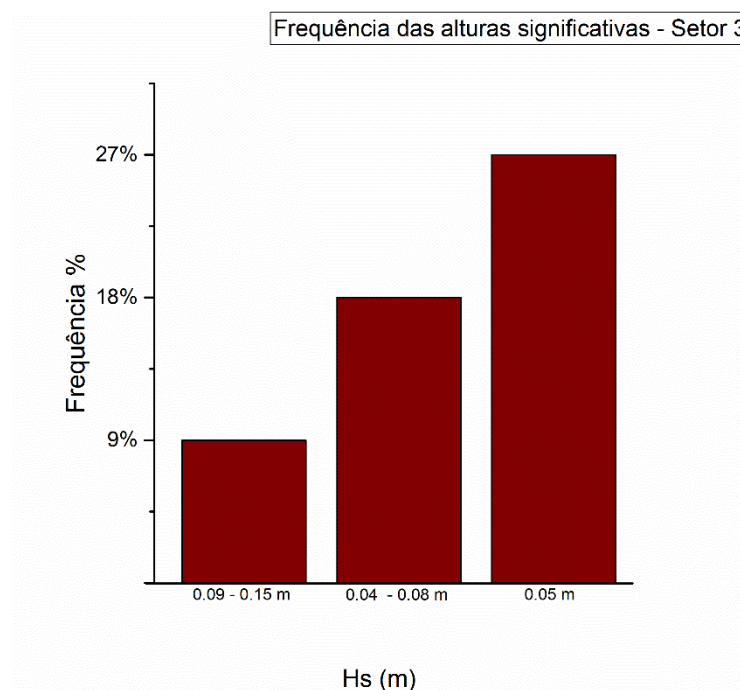
A figura 13 representa a periodicidade das alturas significativas dos parâmetros de ondas mais frequentes do setor 1, onde mostra que as maiores frequências foram de ondas que apresentaram altura de 0.03 m com 14%.

A figura 14 –Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 2.



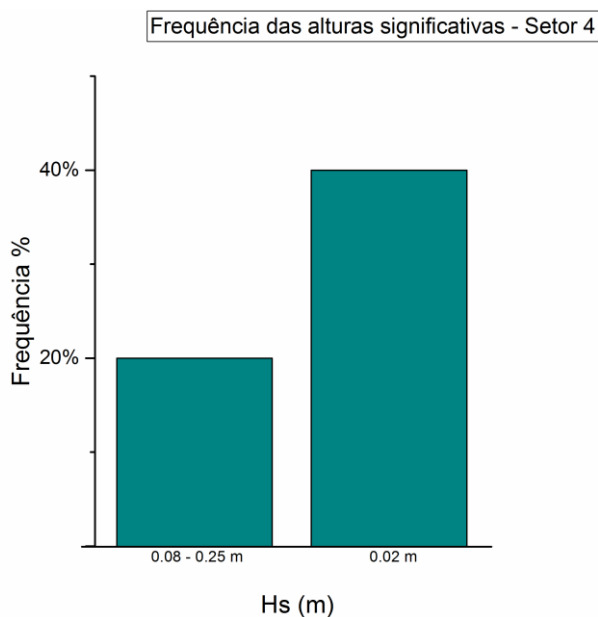
A figura 14 analisa a frequência das alturas significativas dos parâmetros de ondas mais frequentes do setor 2, onde é possível notar que as maiores frequências foram de ondas que apresentaram altura de 0.02 e 0.03 m com 32%, seguida de da altura de 0.01 m com 17% de frequência.

Figura 15 –Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 3.



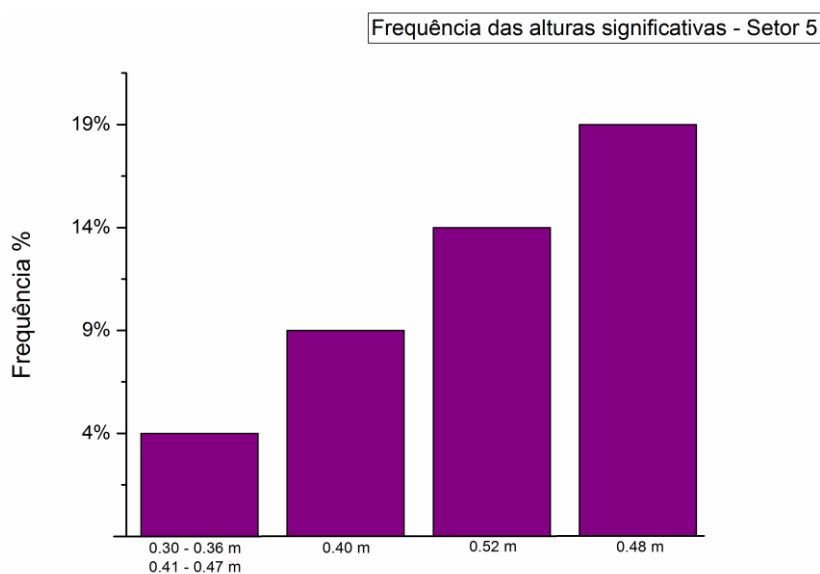
A figura 15 equivale a periodicidade das alturas significativas dos parâmetros de ondas mais frequentes do setor 3, onde verifica-se que as maiores frequências foram de ondas que obtiveram altura de 0.05 m com 27% seguida de ondas que tiveram 0.04 e 0.08 m de altura com 18%.

Figura 16 –Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 4.



A figura 16 caracteriza a frequência das alturas significativas dos parâmetros de ondas mais frequentes do setor 4, onde mostra que as maiores frequências foram de ondas que apresentaram altura de 0.02 m com 40%.

Figura 17 –Frequência da ocorrência das alturas significativas do setor 5.



A figura 17 retrata a frequência das alturas significativas dos parâmetros de ondas mais frequentes do setor 5, no qual verifica-se que as maiores frequências foram de ondas que apresentaram altura de 0.48 m com 19%, seguida de 0.52 m com 14%.

5 CONCLUSÃO

As ondas adjacentes nas regiões de estudo mostraram um padrão de altura significativa variando de 0.01 a 0.58 m e períodos de pico de 1.01 e 14.29 segundos. Foram classificadas em maior escala águas de características intermediárias, profundas e apenas Luís Corrêa recebeu aspectos de águas rasas. A direção de maior destaque foi de SO seguida de SE. As maiores alturas foram encontradas no período chuvoso, enquanto que as menores no período seco.

Ao avaliar a distribuição espacial das alturas, percebeu-se que há uma interação de propagação com o fundo para águas rasas e intermediárias, demonstrando alteração nas alturas significativas sempre quando esta interage com as feições do fundo presentes nas regiões de estudo.

As ondas de ambientes estuarinos apresentaram as menores alturas, isso devido a fatores, como a variação do nível da água e as correntes de maré, além da influência dos ventos. Já em ambientes de praias oceânica, indicaram as maiores alturas, em decorrência de serem ambientes dominados por ondas.

Foi analisado que o processo de crescimento da onda, na maioria das regiões, foi mais atuante durante o período de enchente, que nesse caso, está associado às correntes de maré e aos estágios de maré vazante e enchente. Porém foi observado que em certas regiões as maiores alturas foram registradas na baixamar.

Contundo, a maré através das variações do nível d'água e o sentindo de alagamento/secamento desses ambientes, pode ser apontada como um agente modulador nas alterações das ondas, junto com a forçante do vento.

As diferentes respostas sobre os parâmetros de onda observado entre as regiões estudadas estão relacionadas, provavelmente, aos diferentes ambientes de energia, aos quais essas cidades estão submetidas.

Conclui-se que houve grande variabilidade espacial na dinâmica de ondas geradas pelo vento nas regiões em estudo, devido principalmente a fatores morfológicos e hidrodinâmicos atuantes nessas áreas.

REFERÊNCIAS

- Aguiar D.F. 2011. *Modelagem de ondas geradas pelo vento no terminal portuário da vila do Conde – Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTmar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 83 p.
- Albino J., Vale C. C., Gomes R. C. 2004. *Modelagem, monitoramento, erosão e ocupação costeira – MMOC/ES*. Espírito Santo, Instituto do Milênio, RECOS, UFES. (Relatório Final).
- Allen J.R.L., Pie K 1992. *Salt marshes – morphodynamics, conservation and engineering significance*, Cambridge, Cambridge University Press, 179 p.
- Almeida L.R., Amaro V.E., Marcelino A.M.T., Scudelari A.C. 2015. Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, Santa Catarina, **15**(2):135-151. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/rgci/v15n2/v15n2a01.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2017.
- Alves M.A.M.S. 2001. *Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociência, Universidade Federal do Pará, Belém, 104 p.
- Aranha L.G.F., Lima H.P., Souza J.M.P., Marinho R.K. 1990. Origem e evolução das bacias de Bragança-Vizeu, São Luís e ilha Nova. In: Raja Gabaglia G.P. & Milani E.J. *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro, Petrobrás, p. 221-233.
- Arora C. & Bhaskaran K.P. 2012. Numerical modeling of suspended sediment concentration and its validation for the hooghly estuary, India. *Costal Engineering Journal*, **55**(2):1-23.
- Barbosa G.V. & Pinto, M.N. 1973. Geomorfologia da Folha SA-23 (São Luís) e parte da Folha SA-24 (Fortaleza). In: Brasil: *Projeto Radam Brasil*. Rio de Janeiro. Cap.2: 3-26.
- Bastos T.X., Pacheco N.A., Nechet D., Sá T.D. de A. 2002. *Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 31p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 128).
- Bezerra C.S. 2013. *Clima de ondas e correntes no litoral de Boa Viagem (Recife – PE): aplicação do sistema radar náutico de banda-x*. MS Dissertation, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 97p.
- Bittencourt A.C Da S., Dominguez J.M.L., MoitaFilho O. 1990. Variações texturais induzidas pelo vento nos sedimentos da face da Praia de Atalaia, Piauí. *Revista Brasileira de Geociências*, **20** (1-4): 201-207.
- Branco F. V. 2005. *Contribuições de swell gerado em tempestades distantes para o clima de ondas na costa brasileira*. MS Dissertation, Instituto de Astronomia, Geofísica e C. Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 45p.

Calliari, L.J. MueheD. Hoefel, F.G. Toldo JR, E.E. 2003. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*. 51(único): 63-78.

Campos E. J. D. 1995. *Estudos da circulação oceânica do Atlântico tropical e na região oeste do Atlântico subtropical Sul*. PhD, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 114p.

Cohen J.C.P, Silva Dias M.A., Nobre C. 1995. Environmental conditions associated with amazonian squall lines: a case study. *American Meteorological Society*, **123** (11): 3129-3143.

Costa A.C.L., Ribeiro, J.B.M., Souza Filho, J.D.C 1996. *Estudo micrometeorológico em manguezais*. Belém- Pará, MADAM/UFPA/ZMT. 9p. (Apostilha do Projeto de Pesquisa).

Dalrymple, R. W, Zaitlin, B. A.; Boyd, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis e stratigraphic implications. *J. of Sediment. Petrol.*, **62** (6):1130-1146.

Dean, R.G. & Dalrymple, R.A. 1991. *Water wave mechanics for engineers and scientists. advanced* [S.l.: s.n.]. v. 2. (Series on Ocean Engineering)

Diegues, A.C. 2002. *Povos e águas – inventário de áreas úmidas brasileiras*. 2 ed. São Paulo. Nupaub/USP. p. 15-18.

EL-Robrini, M, Silva, M. M. da. EL- Robrini, M. H., Feitosa A. C., Tarouco J. E. F., Santos, J. H. S. dos, Viana, J. R. Maranhão. 200. In: DIETER, M. (org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília,DF: Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, p. 87-130.

Feitosa, A. C. Trovão, J. R. *Atlas escolar do Maranhão: espaço geo-histórico-cultural*. João Pessoa: Grafset, 2006.

Feitosa, A. C. *O Maranhão primitivo: uma tentativa de constituição*. São Luís: Ed. Augusta, 1983.

Femar: Catálogo das estações maregráficas do Brasil. 1997. Disponível em: <<https://www.fundacaoofemar.org.br/biblioteca/emb/apresentacao.html>>. Acesso em: 14 jan.2017.

Fonseca C.A., Patti, J.R., Campos E.J.D., Silveira, I.C.A. 2000. *Estudo numérico dos vórtices emitidos pela corrente norte do Brasil*. Laboratório de Modelagem dos Oceanos (Lab. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP).

Gabioux, M., Vinzon, S.B., Paiva, A.M. 2005. Tidal propagation over fluid mud layers on the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, **25**: 113-125.

Gallo M.N. & Vinzon S.B. 2005.Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary. *Ocean Dynamics*, **55**(5-6): 441-448.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2002. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2002/>> Acesso em: 08 dez. 2017.

Gastão F.G.C. 2010. *Caracterização dos lençóis Maranhenses e dunas inativas (fósseis): implicações paleoambientais*. Ms Dissertation, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 96 p.

Grupo de Ingeniería Oceanográfica e de Costas (Gioc). 2000. *Documento de referência: dinâmicas*. v. 1. Cantabria, Universidade de Cantabria, Ministério do Meio Ambiente.

Holthuijsen L. H. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press: The Edinburgh Building, Cambridge, UK, 2007. 387 p.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 1909. Dados de Vento Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 02 fev.2017.

Introvini E.S. 2009. *Estudo de energia eólica para Ilha do Marajó – PA*. MS Dissertation, Ministério da Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 97 p.

Jackson N. & Nordstrom, K. 1992. Site specific controls on wind and wave processes and beach mobility on estuarine beaches in New Jersey, USA. *J. of Coastal Res.*, **8** (1): p. 88-98.

Lima B.C.R. 2011. *Estudo da propagação de ondas na planície de maré do rio Amazonas, Macapá – AP*. MS Dissertation, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 96 p.

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, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 87 p.

Martins C. C. 2006. *Morfodinâmica de praias refletivas: estudo de caso na praia da Sununga, litoral Norte do estado de São Paulo*. PhD Thesis, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 209p.

Matos M.F.A. 2013. *Modelagem do clima de ondas e seus efeitos sobre as feições morfológicas costeiras no litoral setentrional do Rio Grande do Norte*. MS Dissertation, Centro de ciências exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 112 p.

Morais J.O. 1977. O Processo de sedimentação na Baía de São Marcos. Estado do Maranhão, Brasil. *Arquivo de Ciências do Mar*, Fortaleza, **17** (2): 153-164.

Martorano L.G., Perreira L.C., Cézar, E.G.M., Pereira, I.C.B. 1993. *Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (KÖPPEN) e deficiência hídrica (THORNTHWHITE, MATHER)*. Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS. 53p.

Nordstrom K. 1992. *Estuarine beaches*. New York, Elsevier Science Publishers, Ltd.

Oliveira K.S.S. 2010. *Comportamento da maré e das correntes de maré em um sistema estuarino utilizando o modelo regional Ocean Modeling System (ROMS)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 48 p.

- Prestes Y. O. 2013. *Transporte de volume na zona de maré do Rio Pará, Brasil*. Trabalho de Conclusão de curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 77 p.
- Pinheiro R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará- Belém (PA)*. MS Dissertation, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 152 p.
- Rebello F.C. & Medeiros T.C.C. 1988. *Cartilha do mangue*. Maranhão-São Luís, 31 p.
- Richardson, P.L., Arnault, S., Garzoli, S., Brown W.S. 1994. North Brazil current retroflection eddies. *Journal Of Geophysical Research*, **99**(6): 997-1014.
- Rodrigues E.I. 2006. *Estrutura da comunidade fitoplanctônica como alternative para a avaliação da sustentabilidade biológica de áreas com pontecialidade aquícola estabelcidade pelo zonamento costeiro do estado do maranhão*. Ms Dissertation, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 145 p.
- Schettini C.A.F. 2001. *Dinâmica de sedimentos finos no estuário do rio Itajaí-Açu-SC*. Porto Alegre. PhD, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 92p.
- Schwiderski, E. W. 1979. Global ocean tides. Part II: The semidiurnal principal lunar tides (M2). *Atlas of Tidal Charts and Maps*, NSWC-TR 79-414, NSWL Dahlgren, VA: 15p.
- Senna C.S.F., Bastos, M.N.C., Oliveira, J.R., Lobato, L.C., Santos, R.T., Moraes, P.G. 1991. *Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro. Geomorfologia*. Belém, IBAMA/SECTAM. Relatório Técnico, p. 59-67
- Silva R.G. 2003. *Características de vento da região Nordeste*. MS Dissertation, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 131 p.
- Silva Jr. O.G. 1998. Morfoestratigrafia do noroeste da planície costeira de São João de Pirabas (Nordeste do Pará). *Revista Brasileira de Oceanografia*, **49** (1/2): 99-114.
- Silva Q.D. 2012. *Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão*. PhD Thesis, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 249p.
- Ostritz F.F. 2012. *Estimativa do potencial energético gerado por ondas na costa do Brasil com ênfase no estado do Ceará*. Ms Dissertation, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 58 p.
- Sato O. 2010. *IOF1224- Ondas e marés*, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 98 p.
- Silva M. G. L. 2001. *Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da praia do pescador, Bagança (Norte do Brasil)*. Ms Dissertation, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.

Soprani M.A. 2010. *Estudo das transformações das ondas na Baía do Espírito Santo por meio do modelo redifdif*, Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 67 p.

Souza C.R. de G., Souza Filho P.W.M.e, Esteves S.L., Vital H., Dillenburg S.R., Patchineelam S.M., Addad J.E. 2005. Praias arenosas e erosão costeira. In: Souza *et al.* (eds.). *Quaternário do Brasil*. Holos Editora, p.130-152.

Souza Filho P., W. M. e, Cunha E. R. S. P. da, Sales M. E. da C., Souza L. F. M. DE O., Costa, F. R. 2005. *Bibliografia da zona costeira amazônica*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi; Universidade Federal do Pará/Petrobras, 401 p.

Souza R.R. 2006. *Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na Baía de Marajó e Rio Pará (PA)*. MS Dissertation, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 159 p.

Tozzi, H.A.M., Calliari, L.J. 2000. Morfodinâmica da praia do Cassino. *Pesquisas em Geociências*, 6(5):90-93

Vieira, L. A. A., Pitombeira, E. S., Souza, R. O. 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, 2007, p. 1-20.

Vinzon, B.S., Vilela, C.P.X., Pereira, L.C.C. 2008. *Processos físicos na Plataforma Continental Amazonica*. Relatório-Técnico, Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica. Petrobrás, Brasil. 31 p.

World Meteorological Organization (WMO). 1998. *Guide to wave analysis and forecasting*. Suíça, Secretaria da Organização Meteorológica Mundial, Genebra.