

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**DINÂMICA SEDIMENTAR NO LITORAL DE ATALAIA-PI COM USO  
DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA - BRASIL**

**MAYSA DA SILVA SOBRINHO DE LIMA**

**Porto Alegre-RS**

**2019**

**MAYSA DA SILVA SOBRINHO DE LIMA**

**DINÂMICA SEDIMENTAR NO LITORAL DE ATALAIA-PI COM USO  
DO SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA - BRASIL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Júnior

**Supervisora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ariane Santos da Silveira

**Porto Alegre-RS**

**2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

**Reitor:** Rui Vicente Oppermann

**Vice-Reitora:** Jane Tutikian

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Diretor:** André Sampaio Mexias

**Vice-Diretor:** Nelson Luiz Sambaqui Gruber

**CIP - Catalogação na Publicação**

Lima, Maysa da Silva Sobrinho de  
Dinâmica Sedimentar no Litoral de Atalaia-PI com  
uso do Sistema de Modelagem Costeira-Brasil / Maysa da  
Silva Sobrinho de Lima.2019.  
73 f.  
Orientador: Elírio Ernestino Toldo Jr.

Coorientadora: Ariane Santos da Silveira.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Geociências, Curso de Geologia, Porto Alegre,  
BR-RS, 2019.

1. Deriva litorânea. 2. Intervenções antrópicas.  
3. Simulação numérica. 4. Clima de ondas. 5. Litoral  
piauiense. I. Toldo Jr, Elírio Ernestino, orient. II.  
Silveira, Ariane Santos da, coorient. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

O Trabalho de Conclusão de Curso “**DINÂMICA SEDIMENTAR NO LITORAL DE ATALAIA-PI COM USO DO SMC-BRASIL**”, elaborado por MAYSA DA SILVA SOBRINHO DE LIMA, foi apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Apresentado em \_\_/\_\_/\_\_\_\_

**Comissão Examinadora:**

Para Deus, minha mamis, paim, César,  
Júnior, Arthur, UFRGS e ao meu eterno Ely  
Aguar.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter sido fiel e me dado força e esperança em todos os momentos.

À minha família. Minha mainha, por todo amor, preocupação e apoio. Meu pai, que é a pessoa mais trabalhadora que conheço nesta vida. Meu maninho querido, Júlio César, pelo cuidado, por ter me ajudado no trabalho de campo e pelas excelentes fotos. Meu mano, Júnior, que amo muito! E meu príncipe, Arthur!

Agradeço muitíssimo ao Elírio, que foi, sem dúvidas, o melhor orientador que poderia ter. Por toda a paciência e ajuda. É a quem devo a descoberta do maravilhoso mundo da geologia costeira.

À minha professora e amiga, Ariane, que aceitou de prontidão o meu convite. Sempre foi muito solícita, compreensiva e me incentivou do começo ao fim. Tenho orgulho demais da pessoa que você é!

À equipe do CGA-HCV-UFRGS, que sempre me incentivou nos estudos e foi o que de melhor me ocorreu durante a graduação. O trabalho e dedicação de vocês pelos animais é surreal e motivadora.

Ao HCV- UFRGS.

Ao CECO, em especial ao amigo Zé, que me ajudou muito ao longo deste trabalho.

À UNISINOS, que foi onde tudo começou! Em especial à Aline, Maria Helena, Deva e ao NEABI, que tanto me ajudaram quando aqui cheguei.

Aos amigos que conheci na AtendeBem.

À Viação Itapemirim, que concedeu as passagens para a realização do trabalho de campo e me possibilitou conhecer o lindo litoral piauiense com segurança e conforto.

Aos amigos, alunos, professores, técnicos e terceirizados da comunidade UFRGS.

Dizem que antes de um rio entrar no  
mar,

ele treme de medo.

Olha para trás,

para toda a jornada que percorreu,

para os cumes, as montanhas, para o

longo caminho sinuoso que trilhou

através de florestas e povoados,

e vê à sua frente um oceano tão vasto,

que entrar nele nada mais é do que

desaparecer para sempre.

Mas não há outra maneira.

O rio não pode voltar.

Ninguém pode voltar.

Voltar é impossível na existência.

O rio precisa se arriscar e entrar no

oceano.

E somente quando ele entrar no oceano

é que o medo desaparece, porque apenas

então o rio saberá que não se trata de

desaparecer no oceano,

mas de tornar-se oceano.

Osho

## RESUMO

O litoral de Atalaia está localizado no município de Luís Correia-PI, na Área de Preservação Ambiental do Delta do Parnaíba. É a costa de maior importância turística e econômica do estado piauiense. Apresenta importantes unidades geológicas da era Cenozóica, representadas por cordões litorâneos, dunas móveis e mangues, que são berços de abundantes espécies da fauna e flora brasileira. A praia, de orientação SE-NW, teve seu cenário modificado ao longo das últimas décadas por meio da construção de casas, pousadas, comércios e, principalmente, pela instalação de molhes construídos na foz do rio Igarçu no ano de 1976, como parte do projeto do porto de Luís Correia, ainda em construção. Diante disto, o objetivo deste trabalho é identificar o processo da deriva litorânea em Atalaia-PI, avaliar o impacto das intervenções das obras de engenharia costeira na configuração e na dinâmica da linha de costa, e quais as deformações causadas no modo de incidência das ondulações sobre a praia. Para atingir o propósito, foi utilizado o recurso de modelação numérica denominado como Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil), que dispôs também, de uma base de dados de ondas e marés meteorológicas e astronômicas obtidos por meio de reanálises atmosféricas com séries de 60 anos (1948-2008). Foram processados 339 estados de mar, aqueles de maiores representatividades, e estabelecidos cinco perfis perpendiculares à linha de costa, aos quais foram calculados o transporte sólido litorâneo pelas formulações de Kamphuis, CERC e Bayram. Os resultados obtidos foram corroborados através dos geoindicadores identificados no histórico de imagens do *Google Earth* e dados de campo, fornecendo uma série de informações inéditas da dinâmica costeira do litoral de Atalaia-PI. O clima de ondas médio para a região apresenta direções predominantes entre NNE e E, alturas (Hs) de 0,6 m a 0,85 m e períodos de pico (Tp) entre 8,5 s e 10,5 s. A média da maré máxima é de 3 m. Identificou-se que a barlar dos molhes, o sentido da deriva litorânea líquida predomina para NW; enquanto a sotamar, a corrente litorânea é localmente invertida para SE devido ao fenômeno da difração que ocorre pela incidência das ondulações sobre a obra costeira. As estruturas de engenharias costeiras afetam diretamente o balanço de sedimentos da Praia de Atalaia, por causar obstrução na deriva litorânea proveniente de SE. As ondas de origem NE, ENE e E exercem maior influência na praia a oeste do molhe; enquanto as ondas de NNE e NE, provocam as maiores correntes a oeste da estrutura. Considera-se ainda, o SMC-Brasil como uma ferramenta eficaz para uso no gerenciamento costeiro, desde que amparado e calibrado por métodos cientificamente validados.

**Palavras-Chave:** Deriva litorânea, Intervenções antrópicas, Simulação numérica, Clima de ondas, Litoral piauiense.

## ABSTRACT

The coast of Atalaia is located in the city of Luís Correia-PI, in the Parnaíba Delta Environmental Preservation Area. It is the coast of major tourist and economic importance of the state of Piauí. It has important geological units from the Cenozoic era, represented by coastal strands, mobile dunes and mangroves, which are shelter of abundant species of Brazilian fauna and flora. The beach, oriented SE-NW, has changed its scenery over the last decades through the construction of houses, inns, shops and, mainly, by the installation of jetties built in 1976 at the mouth of the Igarapu River. Therefore, the objective of this paper is to identify the process of longshore drift in Atalaia, to evaluate the impact of the interventions of the coastal engineering construction on the configuration and dynamics of the coastline, and what are the deformations caused by the incidence of wave on the beach. To achieve this purpose, a numerical modeling feature called the Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) was used. The SMC-Brasil has a database of meteorological and astronomical tides and waves obtained through atmospheric reanalysis with series of 60 years (1948-2008). Which also had a database of meteorological and astronomical waves and tides obtained by means of atmospheric reanalysis with 60 series years (1948-2008). A total of 339 states of sea were processed, those with the highest representativeness and five profiles perpendiculars to the shoreline were established and the coastal solid transport was calculated by of Kamphuis, CERC and Bayram formulations. The results obtained were corroborated by the observation of geoindicators in the Google Earth images history and field data, providing a series of unprecedented information for the coast of Atalaia-PI. The regional wave climate has directions between NNE and E, heights ( $H_s$ ) from 0,6 m – 0,85 m and peak periods ( $T_p$ ) of 8,5 s - 10,5 s. Average maximum tide is 3 m. It was identified that west of the jetties, the direction of net coastal drift predominates for NW; while east, the coastal current is locally inverted to SE due to the diffraction phenomenon that occurs by the incidence of waves on the coastal constructions. The coastal engineering structures directly affects the sediment balance of Atalaia beach, as it causes obstruction in SE origin coastal drift. The waves of origin NE, ENE and E exert greater influence on the beach west of the jetty; while the waves of NNE and NE cause the largest currents to the east. The SMC-Brasil is considered as an effective tool for use in coastal management, provided it is calibrated by scientifically validated methods.

**Keywords.** Longshore currents, Anthropic interventions, Numerical simulation, Wave climate, Piauiense coast.

## Lista de figuras

Figura 1. Ganhos e perdas dos sedimentos costeiros. Fonte: Adaptado de Bird (1996). .....	21
Figura 2. Exemplos de obras de proteção costeiras que estabilizam ou enrijecem a linha de praia.....	22
Figura 3. Mapa de localização da área de estudo, na praia de Atalaia, região de Luís Correia-PI. Observa-se a orientação da linha de praia NW-SE, os campos de dunas costeiras parcialmente urbanizados migrando em direção ao continente, o rio Igarçu e a estrutura portuária construída em sua foz. Fonte: Google Earth.....	24
Figura 4. Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Modificado de CPRM (2006).	25
Figura 5. Atuação da ZCIT sob o Nordeste brasileiro. a) períodos de estiagem. b) Períodos de chuva intensa. Modificado de Matos (2013).....	27
Figura 6. Desembocadura do rio Igarçu. O lado direito da fotografia mostra uma extensa acumulação de sedimentos arenosos, abrigados no interior da estrutura portuária. O lado esquerdo, tem-se o efeito das ondas mais frequentes e a deriva litorânea associada sendo interrompida pelo molhe. Fonte: Koch, 2018. ....	28
Figura 7. Mapa dos pontos de coletas de sedimentos. Modificado de Google Earth. .....	30
Figura 8. Vista paralela da praia do ponto P1AMA, em regime de maré média, na direção a) SE e b) NW. ....	31
Figura 9. Vista paralela da praia na baixa mar, no ponto P2AMA, na direção a) SE e b) NW. ....	31
Figura 10. Vista paralela da praia na baixa mar, no ponto P3AMA, nas direções a) SE e b) NW. ....	31
Figura 11. Etapas da obtenção da base de dados do SMC-Brasil. ....	33
Figura 12. Dados de ondas da base de dados do SMC, para toda costa brasileira. A) Altura significativa de onda média anual (metros). B) Direção do fluxo médio de energia anual (em graus). Fonte: SMC (2014). ....	34
Figura 13. Elevação média da onda da maré astronômica para todo o litoral brasileiro da base de dados do SMC-Brasil. Fonte: SMC (2014). ....	35
Figura 14. Elevação média da maré meteorológica da base de dados para a costa brasileira do SMC-Brasil. Fonte: SMC (2014). ....	36



Figura 15. Tabela estatísticas de direções e alturas de ondas para o Litoral de Atalaia-PI mostrando o predomínio de ondas de origem NNE, NE, ENE e E. Período de 1948 a 2008. ....	41
Figura 16. Dados do clima de ondas em mar profundo, para o período de 1948 a 2008. A) Histograma de direções de ondas assimétrico e negativo mostra a média das direções de ondas em torno de 15° e 30°. B) Série histórica de direção de ondas em águas profundas indica que a maior persistência das direções de ondas está entre 10° e 108. ....	41
Figura 17. Dados de Hs em mar profundo, para o período de 1948 a 2008. A) Diagrama de altura de onda (Hs) pelo período de pico de onda (Tp). B) Rosas do vento da altura de ondas (Hs), indicando que a média máxima de Hs é de 2,4 m. C) Série histórica da altura de onda mostrando que o intervalo padrão está entre 0,5 m e 1,0 m. ....	42
Figura 18. Dados de Tp em mar profundo, para o período de 1948 a 2008. A) Histograma do período de pico de onda, observa-se que a maior frequência de ocorrência está entre os intervalos de 8,5 s a 10,5 s. B) Diagrama de direção por período de pico de onda, Tp mais frequentes se associam com ondas de origem NNE a NE. C) A Série histórica mostra que o intervalo padrão de Tp está entre 5,5 s e 13 s. ....	43
Figura 19. Dados de MA para o período de 1948 a 2008. A) Histograma de maré astronômica mostra que a amplitude média máxima é de 3 m. B) Série histórica de MA, observa-se a persistência da amplitude de MA em 3 m. C) Diagrama da maré astronômica pelo período de pico de onda, tem-se que os Tp entre 8,5 e 10,8 s possuem maior probabilidade de ocorrência nas marés baixa e alta. D) Diagrama de direção de corrente por nível de maré astronômica, analisa-se que as correntes de quadrantes de NNE e NE estão altamente associadas com todas as amplitudes de marés. ....	44
Figura 20. Dados da maré meteorológica para o período de 1948 a 2008. A) Histograma de MM indicando que a amplitude média máxima da maré meteorológica varia de -0,13 m a 0,18 m, e a maior frequência está em torno de 0,05 m. B) Diagrama de direção de corrente por maré meteorológica. A MM mantém relação direta com correntes de direções NNE e NE. C) Diagrama de maré astronômica pela maré meteorológica. A MM predomina em conjunto com a MA de amplitudes entre -0,9 m a	

0,9. D) Série histórica da maré meteorológica. Observa-se que a altura padrão da MM está entre -0,05 m e 0,12 m, com variações esporádicas. ....	46
Figura 21. Quatro dos 339 mapas gerados, com altura significativa de onda (Hs) e vetores de direção média (Dir.m) para condições médias no regime de meia-maré e para um período de 24h. Ondas provenientes de: A) NNE; B) NE; C) ENE e D) E. ....	47
Figura 22. Quatro dos 339 mapas gerados, com vetores e magnitudes de correntes, em condições médias no regime de meia-maré, para um período de 24h. Ondas provenientes das quatro principais direções: A) NNE; B) NE; C) ENE e D) E.....	48
Figura 23. Mapa de localização com os cinco perfis gerados no setor leste e oeste, onde foi calculada a estimativa do fluxo médio de energia e da taxa anual do transporte líquido de sedimentos, tendo como base os dados de estado de mar obtidos no ponto DOW. ....	49
Figura 24. O Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos indica que os grãos são moderadamente selecionados e que a fração areia fina (0,1768 mm e 0,125 mm) é predominante. ....	51
Figura 25. Os sedimentos correspondentes a área do perfil 01, coletados na zona de estirâncio, variam de subangulosos a arredondados, são compostos por 93% de quartzo, 6% de meio biótico, 1% de minerais acessórios e menos de 1% de micas.	52
Figura 26. O Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos relacionados ao perfil 02 indica que os grãos são muito bem selecionados e que a fração areia fina (0,1768 mm e 0,125 mm) predomina. ....	53
Figura 27. Os sedimentos correspondentes a área do perfil 02, coletados na zona de estirâncio, variam de subangulosos a arredondados, sendo compostos por 96 % de quartzo, 3 % de meio, 1 % de minerais acessórios e menos de 1 % de micas.....	54
Figura 28. O Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos indica que os grãos são muito bem selecionados e que a fração areia muito fina (0,0884mm e 0,0625) é predominante. ....	55
Figura 29. Sedimentos de tamanho areia muito fina, muito bem selecionado, composto por 98 % de quartzo, 1 % de meio biótico e quantidades inferiores a 1 % de micas e de minerais acessórios.....	55
Figura 30. Perfil do deslocamento da linha de costa monitorado por imagens de satélites para área do setor oeste do rio Igaraçu. Período de 1972 a 2016. Fonte: Adaptado de Silva et al. (2019). ....	60

Figura 31. Geoindicadores da deriva litorânea da área de estudo: direção de mergulho do campo de dunas para SW; ondulações incidentes de NE interrompidas pelo molhe, o processo de difração de ondas a oeste do molhe e a ocorrência de pequenos cursos d'água orientados para NW. Fonte: Google Earth, 2015. ....62

### **Lista de tabelas**

Tabela 1. Transporte Médio Anual de Sedimentos obtido para cada perfil por meio da formulação de Kamphuis (1991), CERC (1984) e Bayram et al. (2007).....	50
Tabela 2. Parâmetros estatísticos (Folk & Ward).....	52
Tabela 3. Parâmetros estatísticos (Folk & Ward).....	53
Tabela 4. Parâmetros estatísticos (Folk & Ward).....	55

## Lista de abreviaturas e siglas

APA: Área de Proteção Ambiental

DOW: *Downscaled Ocean Waves*.

E: Leste.

ENE: Leste-nordeste.

FME: Fluxo médio de energia.

GOT: *Global Ocean Tides*.

Hs: Altura de ondas.

MA: Maré Astronômica.

MM: Maré Meteorológica.

NE: Nordeste.

NNE: Norte-Nordeste.

NW: Noroeste.

Q<sub>a</sub>: Transporte líquido anual dos sedimentos.

Q<sub>+</sub>: Transporte médio positivo dos sedimentos.

Q<sub>-</sub>: Transporte médio negativo dos sedimentos.

SE: Sudeste.

SMC: Sistema de Modelagem Costeira.

T<sub>p</sub>: Período de pico de onda.

ZCIT: Zona de Convergência Intertropical.

## Sumário

1.	<b>INTRODUÇÃO</b>	16
2.	<b>OBJETIVOS E METAS</b>	17
3.	<b>JUSTIFICATIVA</b>	17
4.	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	18
4.1.	<b>Ondas e ventos</b>	18
4.2.	<b>Marés</b>	20
4.3.	<b>Deriva Litorânea e obras marítimas</b>	20
5.	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	22
5.1.	<b>Localização e contexto</b>	22
5.2.	<b>Geologia</b>	24
5.3.	<b>Clima</b>	26
5.4.	<b>Foz do Rio Igarapu</b>	27
6.	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	28
6.1.	<b>Revisões Bibliográficas</b>	29
6.2.	<b>Trabalho de Campo</b>	30
6.2.1.	<b>Análise textural dos sedimentos</b>	31
6.2.2.	<b>Análise dos sedimentos</b>	32
6.3.	<b>Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)</b>	32
6.3.1.	<b>Dados de ondas</b>	33
6.3.2.	<b>Dados da maré astronômica</b>	34
6.3.3.	<b>Dados da maré meteorológica</b>	35
6.3.4.	<b>Ferramentas da modelagem numérica</b>	36
6.4.	<b>Interpolação da batimetria</b>	39
6.5.	<b>Imagens históricas do Google Earth</b>	39
7.	<b>RESULTADOS</b>	40
7.1.	<b>Clima de ondas em água profunda</b>	40

7.1.1. Direção de ondas.....	40
7.1.2. Altura de ondas (Hs).....	41
7.1.3. Período de pico de onda (Tp) .....	42
<b>7.2. Maré Astronômica .....</b>	<b>43</b>
<b>7.3. Maré Meteorológica .....</b>	<b>45</b>
<b>7.4. Transporte total e líquido anual de sedimentos.....</b>	<b>46</b>
7.4.1. Perfil 01.....	51
7.4.2. Perfil 02.....	52
7.4.3. Perfil 03.....	54
7.4.4. Perfil 04.....	56
7.4.5. Perfil 05.....	56
<b>8. DISCUSSÃO .....</b>	<b>56</b>
8.1. Clima de ondas em águas profundas .....	56
8.2. Maré Astronômica e Meteorológica .....	58
8.3. Setor Leste .....	58
8.4. Setor Oeste.....	59
8.5. Geoindicadores.....	61
<b>9. CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>10. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO A – CASOS DE ONDAS PROPAGADOS.....</b>	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A planície costeira é uma importante unidade geológica do Brasil e conta com 8.698 km de extensão e cerca de 514 mil km<sup>2</sup> de área. É identificada como um acúmulo de sedimentos inconsolidados dos períodos terciário e quaternário em zonas relativamente planas (Souza, Vale, 2016; Bird, 1996). A praia representa um ambiente altamente dinâmico e de ecossistema diverso e é o foco de estudo de diferentes áreas para a investigação de mudanças climáticas, interferências antrópicas e contaminações.

Segundo Komar (1976), o litoral é dividido em zonas e está limitado às áreas submersas onde ondas do mar movimentam os sedimentos. Essas ondas associadas às marés e correntes são os principais processos naturais que realizam mudanças morfológicas da costa, pois mobilizam, retrabalham sedimentos e causam a deriva litorânea. Identificar e comparar o fluxo sedimentar do ambiente costeiro ao longo do tempo pode indicar se uma praia está em estado de equilíbrio, em erosão ou em acreção ou, ainda, se a mudança de equilíbrio se deve a intervenções antrópicas ou naturais.

Em um território de grandes proporções como o Brasil, o estudo da zona costeira requer certa delimitação dos ambientes, devido a particularidades de cada litoral. Neste contexto, o presente trabalho se propõe a estudar a dinâmica sedimentar do sistema praial de Atalaia, na cidade de Luís Correia-PI, que devido ao aumento da urbanização, as intervenções antrópicas têm crescido no litoral de Atalaia. Molhes do futuro porto de Luís Correia, instalado na foz do rio Igarçu desde 1976, tem causado interferência na dinâmica costeira e na competência do rio, e vem foi evidenciado o acúmulo de sedimentos areno-argilosos ricos em matéria orgânica na sua desembocadura do rio, assim como mudanças na linha de costa (Silva, 2011; Paula, 2013).

O litoral de Atalaia - PI possui o clima quente e úmido, relevo suave, costa suavemente curvilínea, de orientação NW-SE, classificada como dissipativa. A maré é do tipo mesomaré, com amplitudes de até 3,5 m e padrão semidiurno. O predomínio de ventos de ENE é resultado da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que afeta a costa do nordeste brasileiro (Bittencourt *et al.*, 1990). Geologicamente, é um

depósito arenoso litorâneo composto por areias média e fina, de composição predominantemente quartzosa e em menores proporções por minerais pesados, micáceos e fragmentos de conchas, que são a área fonte para alimentação das dunas móveis. Estas migram na direção SW e ocupam grande parte da área costeira do litoral piauiense (Bittencourt *et al.*, 1990; Lima, 2005).

## **2. OBJETIVOS E METAS**

Os objetivos principais deste trabalho são:

- Analisar a dinâmica sedimentar do sistema praial de Atalaia-PI.
- Verificar o efeito de ondas e marés no transporte sedimentar litorâneo, e o impacto das intervenções antrópicas.
- Comparar o resultado com estudos e registros anteriores, a fim de validar os dados obtidos.

Como objetivos específicos:

- Relacionar os resultados da modelagem numérica do Sistema de Modelagem Costeira-Brasil (SMC-Brasil) com amostragens de campo, coleta de dados geológicos e oceanográficos publicados e aos geoindicadores da área de estudos.

## **3. JUSTIFICATIVA**

O litoral de Atalaia e as dunas costeiras associadas representam uma barreira de proteção natural para a cidade de Luís Correia-PI. A praia, em particular, alimenta os campos de dunas e litorais adjacentes. A erosão praial, o assoreamento de rios e lagos e o avanço de dunas são questões a serem solucionadas e prevenidas nas Áreas de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba (IBAMA, 1998) e se mostram



correlacionáveis na área de estudo (Silva, 2011). Sendo, portanto, fundamental compreender quais os impactos decorrentes das intervenções nestes ambientes.

A dinâmica dos sedimentos é uma variável importante para compreender a estabilidade ou a mobilidade natural da linha de praia, para que os gestores da zona costeira possam conduzir a administração dos recursos naturais da maneira mais adequada ambientalmente. Somando-se a isto, existe uma forte necessidade de ferramentas que auxiliem profissionais em projetos de gerenciamento costeiro, a fim de buscar alternativas que gerem o menor impacto na zona costeira.

A dinâmica costeira de diversos litorais brasileiros já foi estudada utilizando a ferramenta SMC-Brasil. Na região nordeste, o SMC-Brasil foi utilizada nos trabalhos de Rodrigues *et al.* (2017) na praia da Costa, no município de Barra dos Coqueiros – SE; de Gurgel (2017), no litoral da Barreira do Inferno, no estado do Rio Grande do Norte, situada entre os municípios de Natal e Parnamirim; e de Oliveira *et al.* (2018), no litoral norte do município de Goiana – PE.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Ondas e ventos**

Onda é o movimento provocado pela perturbação e que se transmite através do vácuo ou de um meio material, seja sólido, líquido ou gasoso, carregando alguma forma de energia. Na superfície da água do mar, movimentos ondulatórios ocorrem devido à transferência de energia do vento para o oceano. A dimensão da onda é determinada pela velocidade e duração do vento e da pista (*fetch*) disponível para sua propagação, a participação de cada variável pode ser maior ou menor. Ondas formadas na costa por ventos locais e denominadas de vagas, possuem pouca pista. As ondulações (*swell*) são formadas em mar profundo, por ventos persistentes e de alta velocidade, com pista de no mínimo 500 km e podem alcançar até 20 metros de altura (Bird, 1996).

As ondas do mar movem-se em movimento periódico e os elementos a elas associados são:

**Cristas:** picos de máxima energia da onda;

**Vales ou cavas:** picos de mínima energia da onda;

**Período (T):** intervalo de tempo (s) de uma oscilação completa em um ponto fixo;

**Frequência (f):** número de ciclos ou cristas por segundo;

**Comprimento ( $\lambda$ ):** distância existente entre duas cristas (ou cavas) sucessivas;

**Amplitude (A):** altura da crista ou vale da onda a partir da sua posição de equilíbrio.

Ao se aproximar de águas rasas, a altura e a inclinação da onda aumentam, enquanto o comprimento diminui e, conseqüentemente, a crista torna-se mais estreita e inclinada, e a cava mais larga e plana; a crista apresenta então uma curta e rápida aceleração em direção ao continente e a cava, uma aceleração prolongada e lenta em direção ao oceano. Quando a onda toca o fundo, há a remobilização de sedimentos junto com a massa d'água e, quando a profundidade da lâmina d'água é igual a  $\frac{3}{4}$  da altura da onda, ocorre sua quebra (King, 1972).

Segundo Bird (1996), as ondas do mar podem sofrer:

**Refração:** A onda alcança profundidades de mar igual a metade do seu comprimento, passando a interagir com fundo do mar, diminuindo a velocidade e o comprimento devido à fricção com a batimetria e a crista da onda se realinha com o contorno da praia;

**Difração:** A onda é afetada por um obstáculo, em grande maioria quebra-mares ou molhes, e são criadas zonas de sombra. A energia da onda, na região que não está sob a proteção, é transferida lateralmente para a área protegida e ocorre, assim, a mudança de altura e direção de ondas;

**Reflexão:** A onda encontra um obstáculo em seu percurso e tem parte de sua energia refletida ao se propagar em direção oposta à inicial.

## 4.2. Marés

Marés são ondas de grandes amplitudes e períodos bem definidos que causam a elevação ou o rebaixamento do nível médio do mar. De acordo com a força que as causam, podem ser: astronômica ou meteorológica.

A maré astronômica (MA) ocorre devido a atração que a lua e/ou sol exerce sobre a terra, causando o movimento de fluxo e refluxo da água do mar. Entretanto a lua exerce maior influência na dinâmica das marés, por estar mais próxima da Terra em comparação ao sol. Sendo assim, as maiores marés, conhecidas como maré de sizígia, ocorre quando o sol e a lua estão posicionalmente alinhados (Luas Nova e cheia), e suas forças atrativas são somadas. As menores marés astronômicas são evidenciadas nos períodos de luas crescente e minguante, que é quando o sol e lua formam ângulos retos, e as forças exercidas por ambos são opostas. Davies (1980) classificadas a zona costeira quanto a variação da altura da maré astronômica em **micromaré** (amplitude menor que 2 metros), **mesomaré** (amplitude entre 2 m e 4 m) e **macromaré** (amplitude maior que 4 m).

A maré meteorológica (MM) é caracterizada por ondulações causadas por situações climáticas, sobretudo pelas combinações das condições de pressão atmosférica e de ventos sobre a superfície do oceano. As maiores elevações ocorrem nos períodos de tempestades. A magnitude do fenômeno depende da localização geográfica da área, mas geralmente possuem menores efeitos quando comparadas com as marés astronômicas. Quando o efeito da MM é intensificada por ocorrências extremas da MA, pode ocorrer inundações na costa.

## 4.3. Deriva Litorânea e obras marítimas

Em decorrência da alta dinâmica do ambiente costeiro, as praias são ora alimentadas ora erodidas pelos sedimentos, que possuem como fontes principais os rios, dunas, o mar, falésias e a alimentação artificial. A saída dos sedimentos ocorre, sobretudo, pela atuação das ondas, correntes e ventos, que mobilizam os sedimentos em direção a outra praia ou mar profundo e pela formação

de dunas. Em algumas praias, ocorrem ainda o intemperismo ou extração de material pela mineração intensificando a redução do volume de sedimentos praial (Figura 1) (Bird, 1996). Quando a retirada de sedimentos é se sobrepõe, ocorre erosão na praia. Nos casos em que a entrada de material sedimentar é maior que a perda, a praia encontra-se em acreção. Se a entrada e a saída de sedimentos possuem magnitudes semelhantes, o litoral está em situação de equilíbrio.

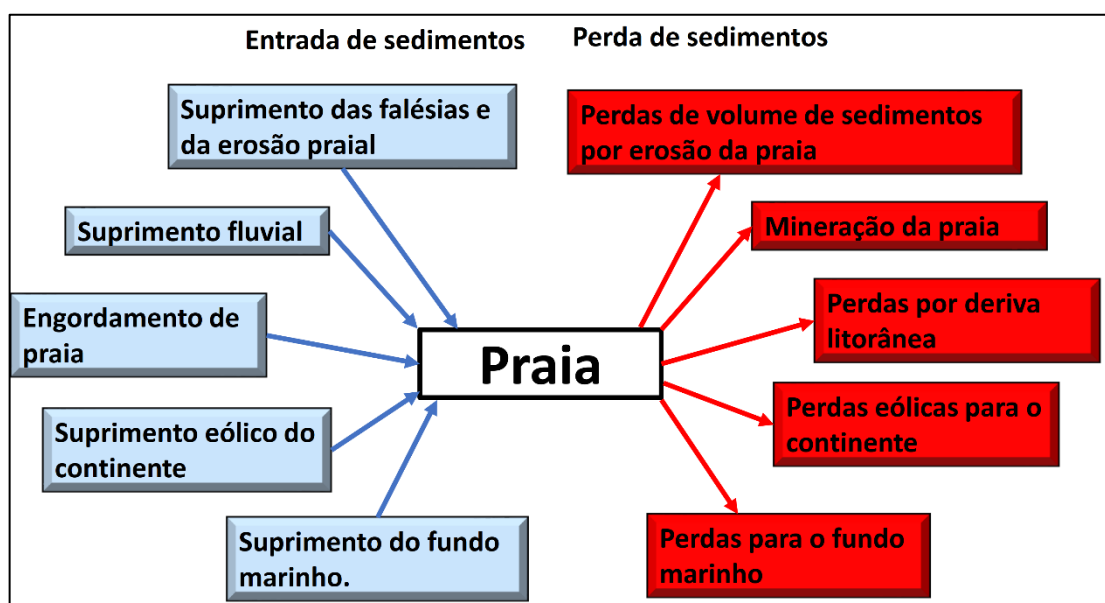


Figura 1. Ganhos e perdas dos sedimentos costeiros. Fonte: Adaptado de Bird (1996).

O ângulo entre a linha de praia e a onda quando esta chega à costa, gera movimentação de massa no sentido longitudinal. Os sedimentos, sobretudo, de fração areia e seixo são remobilizados, no processo conhecido como deriva litorânea. O espraiamento (*swash*) e o refluxo (*backwash*) são movimentos da onda em direção ao continente e de retorno ao oceano, respectivamente. Altos valores de corrente longitudinal geralmente estão associados às maiores alturas de onda (Paula, 2013).

Obras de proteção costeira atuam diretamente na deriva litorânea, pois controlam a corrente e o efeito de ondas na praia. São utilizadas com objetivo de conter a erosão praial ou proteger obras civis de efeitos da corrente marinha.

As estruturas de proteção costeira podem ser classificadas em três grupos (Moura, 2000 apud Carneiro, 2003), sendo eles:

- a) os que **geram estabilização da linha de costa**, são estruturas que estão localizadas na zona de quebra de onda da praia, podendo se prolongar até a zona de espriamento. Em geral são posicionadas transversalmente à linha de costa. Os esporões (espigões), molhes e quebra-mares estão neste grupo (Figura 2).
- b) os que **enrijecem a linha de praia**, são estruturas paralelas e fixadas à linha de costa. São exemplos, os paredões, revestimentos e muros marinhos (Figura 2);
- c) os que utilizam a **alimentação artificial**, é o caso de técnicas de engordamento de praia e de fixação de dunas.

As obras marítimas quando não são bem projetadas geram impactos no aspecto ambiental ou geológico da praia e na alteração do perfil praiial (El-Robrini *et al.*, 2016).

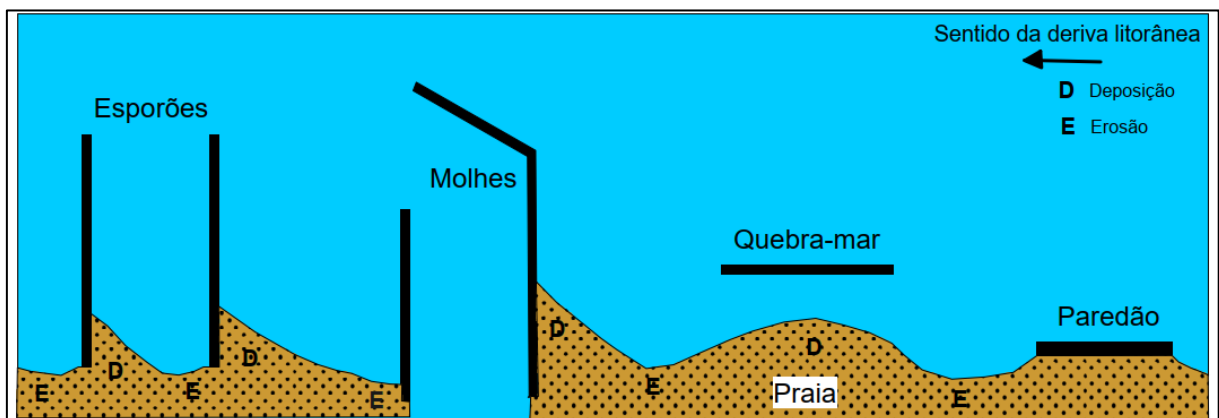


Figura 2. Exemplos de obras de proteção costeiras que estabilizam ou enrijecem a linha de praia.

## 5. ÁREA DE ESTUDO

### 5.1. Localização e contexto

O Piauí possui o menor litoral do Brasil, com um total de 66 km de extensão e representa 0,89% da costa do Brasil. Os principais ecossistemas costeiros são os deltaicos e estuarinos, e conta ainda com a presença de lagos, dunas, vegetação litorânea, manguezais e recifes arenosos (Baptista, 2004). O litoral é composto pelas

praias de Macapá, Maramar, Carnaubinha, Arrombado, Itaqui, Coqueiro e Atalaia (Amarração). É o único estado da região nordeste cuja capital não se localiza em zona costeira. Luís Correia é uma de suas principais cidades litorâneas, onde encontra-se a praia de Atalaia, a mais importante do estado.

A praia de Atalaia pertence à Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Rio Parnaíba. A maré é do tipo mesomaré, semidiurna e com amplitude máxima de 3,5 m. As variações das marés são as principais forçantes de correntes no litoral piauiense, seguida pelo regime de ventos (SEAMA, 1998 *apud* Silva, 2011). É classificada como uma praia dissipativa, de baixa declividade e predomínio de ventos de direção ENE (Bittencourt *et al.*, 1990). Está orientada em direção NW-SE e possui campo de dunas do tipo barcana que mergulham para SW.

No litoral foi instalado, em 1976, molhes como parte inicial do projeto do porto de Luís Correia. O objetivo principal do porto seria o de impulsionar a economia do estado e baratear custos de mercadorias importadas, já que o estado dependia de portos do Maranhão e Ceará. A obra, atualmente, encontra-se paralisada por falta de recursos. A estrutura montada é um molhe em formato de 'F' na desembocadura do rio Igarçu (Figura 3) (SEP, 2012).

Construções urbanas são consideradas outro fator de ação humana que vem modificando a dinâmica natural da praia, ao passo que mantêm fixos os sedimentos, que são naturalmente móveis, dificultando assim a dissipação da energia de ondas (Glairton, 2017; Medeiros, 2017).

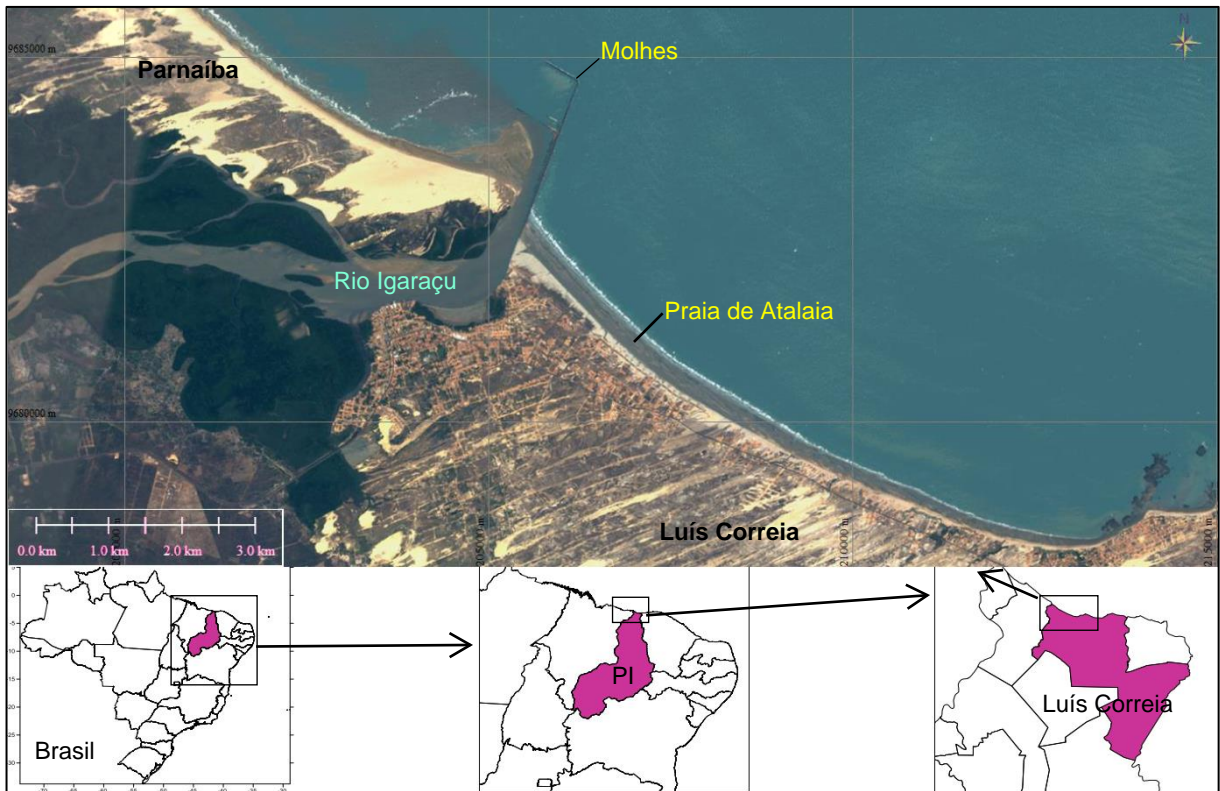


Figura 3. Mapa de localização da área de estudo, na praia de Atalaia, região de Luís Correia-PI. Observa-se a orientação da linha de praia NW-SE, os campos de dunas costeiras parcialmente urbanizados migrando em direção ao continente, o rio Igarapé e a estrutura portuária construída em sua foz. Fonte: *Google Earth*.

## 5.2. Geologia

O litoral de Atalaia compreende depósitos litorâneos arenosos, dunas móveis e paleodunas (Figura 4).

A praia é formada por areias que variam de granulometria média a fina, moderadamente selecionadas, com níveis de minerais pesados (magnetita e ilmenita), fragmentos micáceos e de conchas (Lima, 2005). Possui texturas variáveis na escala do tempo que, segundo Bittencourt *et al.* (1990), estão relacionadas a dois fatores: a alternância entre estações secas e chuvosas e ao processo de saca e ressaca do oceano. Durante o período chuvoso a ação de ondas construtivas é intensificada e o litoral apresenta predominância de areia fina e muito fina que, devido à umidade,



resistem a ação do vento e o suprimento sedimentar para os campos de dunas decaem.

As dunas são do tipo barcana e se movem na direção preferencial dos ventos provenientes de Nordeste. A entrada e saída de sedimentos são constantes e dependem do dinamismo característicos das áreas costeiras.

As Paleodunas são formadas por areias bem selecionadas, voltadas para o continente e cercadas por vegetações arbustivas em campo erodido (Cavalcanti, 2004; Lima, 2005; Paula, 2013; Baptista, 2014).

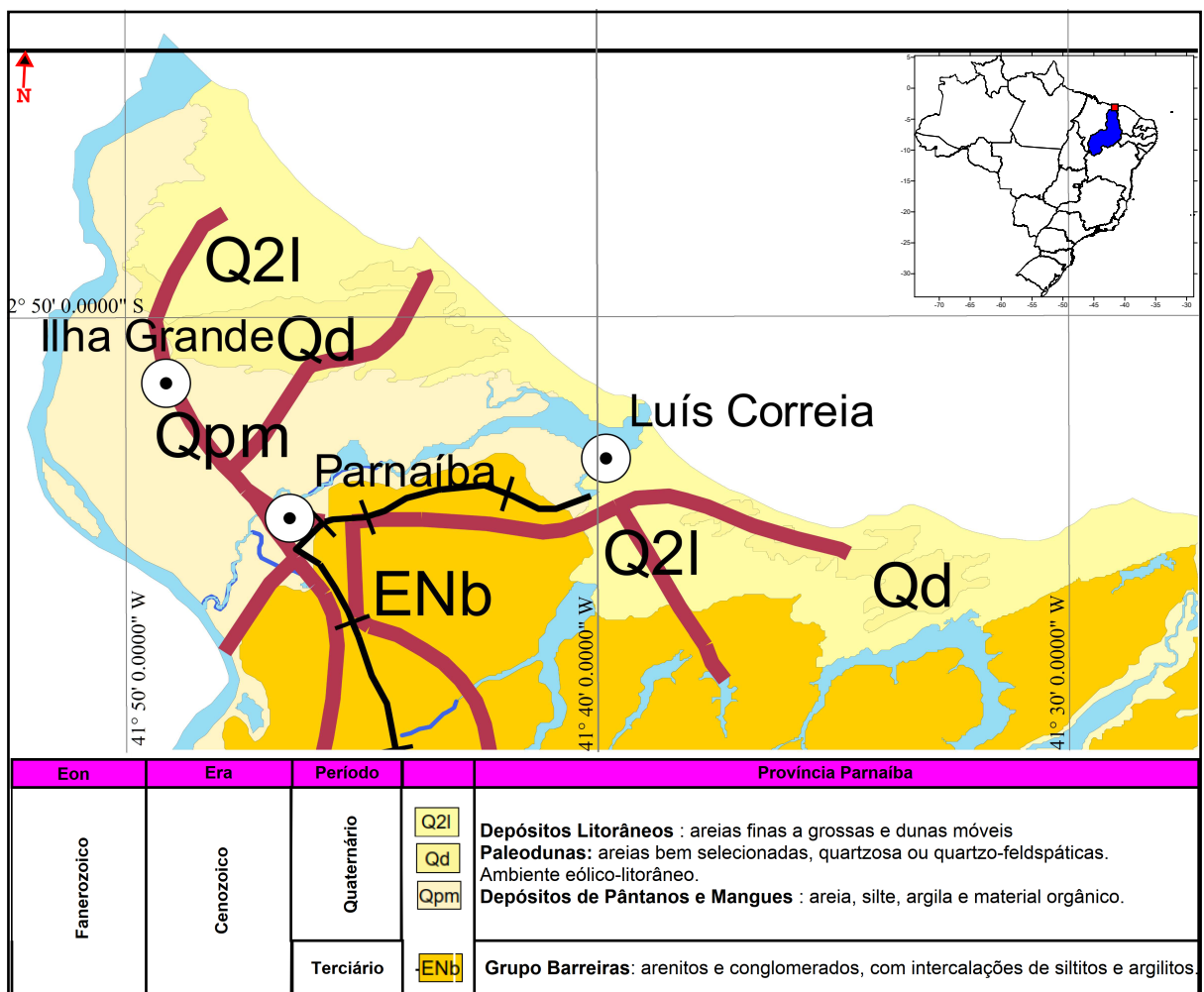


Figura 4. Mapa geológico da área de estudo. Fonte: Modificado de CPRM (2006).



### 5.3. Clima

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima é tropical litorâneo, com maiores regimes de chuvas registrados entre os meses de dezembro e abril. A pluviosidade média é de 1172 mm/ano. A temperatura média é de 25 °C e varia entre 20 e 30 °C (Paula *et al.*, 2016)

Os ventos alísios entre NE e E predominam durante o ano inteiro, mas entre os meses de dezembro e julho ocorrem regimes de ventos vindos de SE, S, SW, W e NW (Bittencourt *et al.*, 1990).

Sazonalmente, pode ser dividido em dois períodos: de chuva (verão e outono) e de estiagem (inverno e primavera). Os períodos climáticos são controlados pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é uma área extensa, de baixa pressão atmosférica e alta nebulosidade. A ZCIT varia de posição no decorrer do ano, na medida que a intensidade dos ventos alísios de direções diferentes se alterna.

Os ventos alísios se originam em zonas subtropicais, de altas pressões e se deslocam para áreas de baixas pressões no equador. Quando advém de Sul, alcança a ZCIT com sentido Sudeste; quando proveem de Norte, chegam ao cavado equatorial com sentido Nordeste. Quando os alísios de Sudeste são mais intensos, a ZCIT é deslocada para Norte, causando o regime seco, de baixa ou nenhuma pluviosidade no nordeste brasileiro (Figura 5A). Quando o vento alísio predominante é o de origem Nordeste, a ZCIT é direcionada para Sul, estaciona na região Nordeste e inicia o período chuvoso, compreendido entre os meses de janeiro a junho (Figura 5B) (Queiroz, 2003; Matos, 2013).

A forçante eólica é mais intensificada nos meses de fevereiro, março e abril, quando os ventos alísios têm proveniência de nordeste e ampliam ainda mais a corrente marítima já existente (Lima, 2005). As maiores velocidades de ventos são registradas em período de estiagem, gerando aumento do transporte sedimentar por ondas (Rocha, 2016).

O *El Niño* é um fenômeno cíclico e não regular que provoca o aquecimento anormal de águas superficiais do Oceano Pacífico tropical central. Seu maior efeito se dá na região Nordeste, com a intensificação do regime de estiagem. O *La Niña*, menos

frequente, ocorre quando há o maior resfriamento da água superficial do Oceano e causa o aumento da pluviosidade localmente (Marengo, 2007).

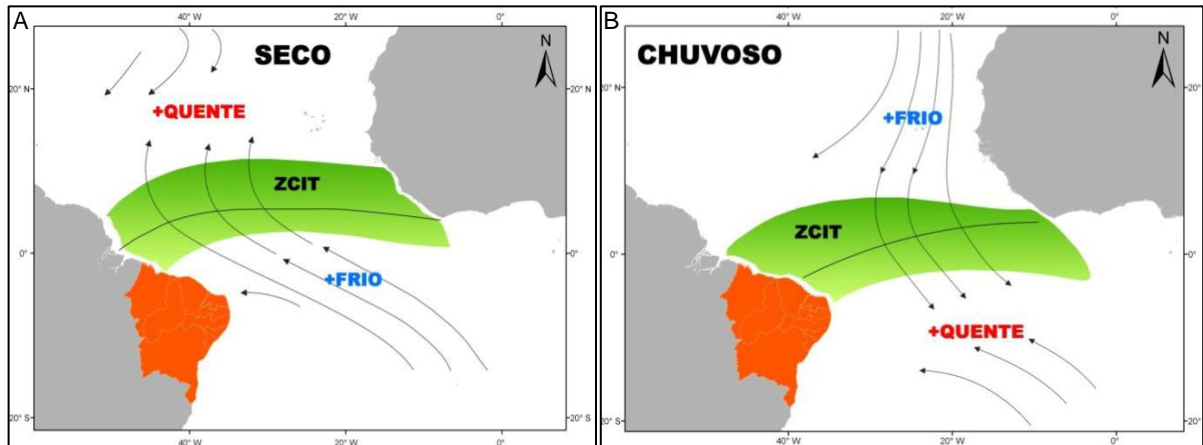


Figura 5. Atuação da ZCIT sob o Nordeste brasileiro. a) períodos de estiagem. b) Períodos de chuva intensa. Modificado de Matos (2013).

#### 5.4. Foz do Rio Igarçu

O Rio Igarçu é um dos cinco distributários que formam o delta do Rio Parnaíba. É o único braço do Parnaíba totalmente piauiense, possui cerca de 20 km de comprimento e percorre os municípios de Parnaíba e Luís Correia, de onde recebe altas taxas de poluentes industriais e domésticos (Oliveira, 2014).

Em estudo realizado por Silva (2011), com comparações de testemunhos em sedimentos superficiais dos canais dos rios Igarçu e Parnaíba, constatou-se uma maior quantidade de matéria orgânica no rio Igarçu, que aumenta em direção à sua desembocadura, tendência contrária ao que ocorre no rio Parnaíba. Este resultado foi interpretado como consequência da influência do molhe do porto de Luís Correia, que interfere diretamente na competência do transporte fluvial. A estrutura cria uma barreira que impede o retrabalhamento de ondas e correntes nos sedimentos depositados no oceano e, como consequência, acumula-se material argiloso e arenoso em sua foz (Degens *et al.*, 1991 *apud* Silva, 2011).

Parte do material arenoso depositado na foz do rio é alcançada por ventos e acumulado nas dunas, mas devido à baixa competência do rio Igarçu, parte dos

sedimentos não retornam satisfatoriamente ao oceano, interrompendo o ciclo e, por consequência, causando obstrução e desvio dos canais fluviais (Figura 6) (Paula, 2013; Rocha, 2015). Estes processos indicam desequilíbrio sedimentar, causado pelas intervenções humanas, que modifica a paisagem regional e impacta a configuração de dunas e manguezais (Silva, 2013).



Figura 6. Desembocadura do rio Igarapé. O lado direito da fotografia mostra uma extensa acumulação de sedimentos arenosos, abrigados no interior da estrutura portuária. Do lado esquerdo, tem-se o efeito das ondas e a deriva litorânea associada sendo interrompida pelo molhe. Fonte: Koch, 2018.

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho serão realizados os procedimentos metodológicos descritos nos itens a seguir:

Quadro 1. Etapas da metodologia.

<b>Etapas</b>	<b>Métodos</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Etapa Inicial</b>	Levantamento Bibliográfico.	Caracterizar e obter banco de dados da área de estudo
<b>Trabalho de Campo</b>	Amostragem de sedimentos litorâneos.	Definir o padrão sedimentológico da área de estudo, para utilizá-lo como dado de entrada no modelamento numérico.
	Registros fotográficos.	Registrar as feições geomorfológicas do litoral.
<b>Trabalho de laboratório</b>	Análise textural e composicional dos sedimentos.	Obter a classe textural e composicional dos sedimentos.
<b>Trabalho de gabinete</b>	Interpolação da batimetria.	Refinar os dados batimétricos utilizados no SMC-Brasil.
	Processamento do SMC-Brasil.	Processar os dados de ondas e marés e obter a dinâmica dos sedimentos.
	Análise de imagens <i>Google Earth</i> .	Identificar o padrão da deriva litorânea através de feições geológicas e geomorfológicas.

### 6.1. Revisões Bibliográficas

As revisões bibliográficas têm como objetivo coletar dados relativos à zona costeira, caracterizar a área de estudo e obter banco de dados de estudos anteriores a fim de aperfeiçoar e comparar os resultados obtidos com a modelagem numérica. As pesquisas bibliográficas foram realizadas em teses, dissertações, livros e artigos científicos encontrados em sites acadêmicos, bibliotecas e revistas científicas. Pode-se citar, dentre outros, os trabalhos de Paula (2013) e Bittencourt *et al.* (1990) que analisaram a dinâmica costeira do litoral de piauiense através de observações do clima de ondas e regimes de vento em campo, e pela análise do padrão sedimentológico.

## 6.2. Trabalho de Campo

O trabalho de campo teve como objetivo reunir informações sobre a dinâmica costeira da praia de Atalaia e coletar sedimentos a fim de identificar o padrão textural dos sedimentos e, posteriormente, utilizá-los como dados de entrada na modelagem numérica.

As amostras foram coletadas em três pontos distintos do litoral de Atalaia: Ponto P1AMA, P2AMA e P3AMA (Figura 7). Em cada ponto foram coletadas amostras na linha de praia da maré alta e na maré atuante no momento da coleta.

Cada amostra foi acondicionada em saco plástico e identificada com nome, coordenadas UTM, data e horário. Posteriormente, as previsões de maré foram identificadas por meio do site tábua de marés para o dia e horário especificado.

Próximo a cada ponto de amostragem foram feitos registros fotográficos paralelos à praia, no sentido NW e SE (Figuras 8, 9 e 10).

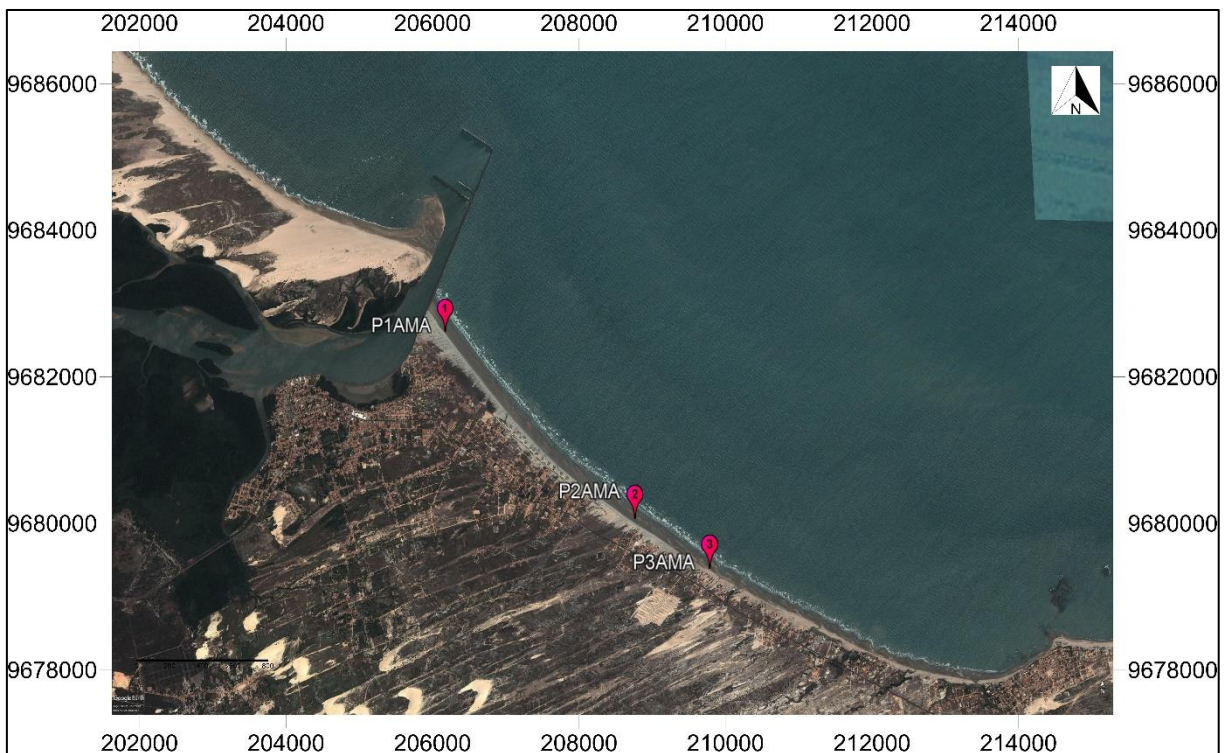


Figura 7. Mapa dos pontos de coletas de sedimentos. Modificado de Google Earth, 2015.



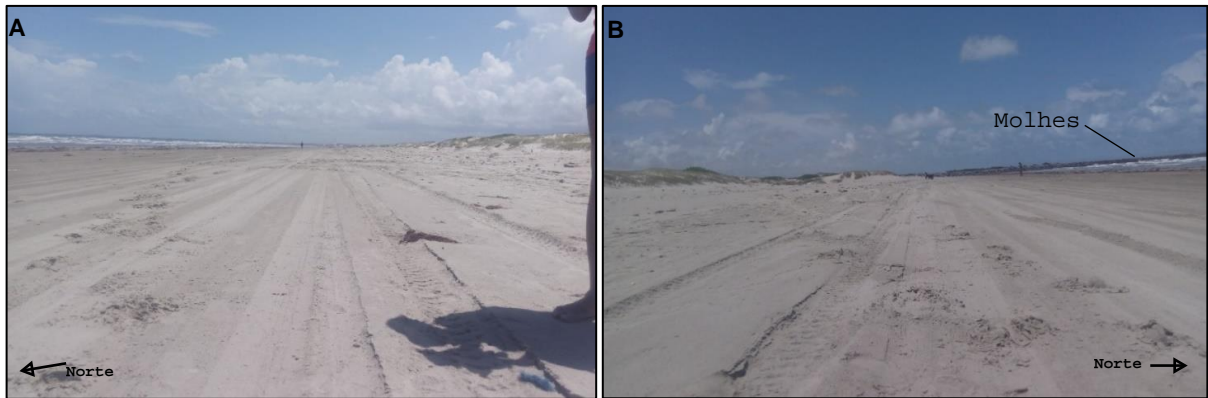


Figura 8. Vista paralela da praia do ponto P1AMA, que apresentou campos de dunas melhor desenvolvidos, nas direções A) SE e B) NW, no detalhe parte da estrutura dos molhes.

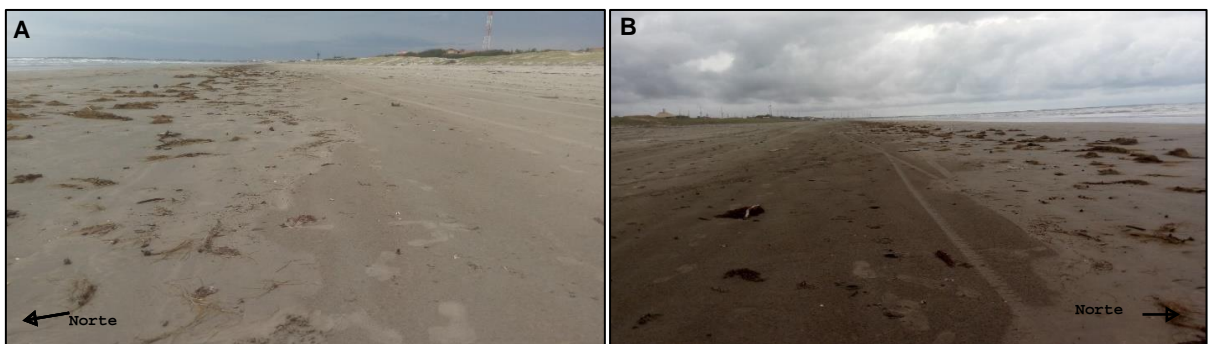


Figura 9. Vista paralela da praia na baixa mar, no ponto P2AMA, na direção A) SE e B) NW.



Figura 10. Vista paralela da praia na baixa mar, no ponto P3AMA, nas direções A) SE e B) NW.

### 6.2.1. Análise textural dos sedimentos

As análises granulométricas foram realizadas no laboratório de sedimentologia do Centro de Estudo de Geologia Costeira e Oceânica-CECO/IGEO da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foram analisadas seis amostras coletadas na maré alta e intermediária. Os passos seguidos foram os seguintes:

- a) As amostras foram lavadas e enxaguadas por cinco vezes para a retirada de sais;
- b) Após, as amostras foram colocadas em uma estufa com temperatura igual a 60° C, por um prazo de 72 horas;
- c) Terminado o tempo, as amostras foram quarteadas a fim de serem homogeneizadas e colocadas em um recipiente de tara conhecida e pesadas em balança de alta precisão;
- d) Na sequência, as amostras foram peneiradas manualmente em conjunto de peneiras com nove intervalos, variando entre 1mm e 0,062mm, contando ainda com um recipiente para frações menores que 0,062mm;
- e) A fração retida em cada malha foi pesada novamente;
- f) Os dados da pesagem foram processados no programa de Análise Completa do CECO, onde se obteve a distribuição granulométrica, a simetria e alguns parâmetros estatísticos.

#### *6.2.2. Análise dos sedimentos*

As amostras de sedimentos foram analisadas através de lupa, sendo identificadas as características composicionais, grau de arredondamento, esfericidade e a textura superficial do grão de areia.

### **6.3. Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)**

O Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil, 2014) é uma ferramenta de modelagem numérica que possui dados de ondas, marés e batimetria de toda a costa brasileira. Os dados de condições marinhas foram obtidos por meio de reanálises atmosféricas globais em conjunto com a batimetria global do oceano, em seguida foram incorporados dados atmosféricos de satélites simulados na batimetria das

cartas náuticas brasileiras. A última etapa é a mais refinada e consiste em propagar as ondas de mar profundo até a costa (Figura 11). Cabe ressaltar que todos os dados da base de dados do SMC-Brasil possuem duração de 60 anos (1948-2008) e calibração e validação por meio de boias (ondógrafos) e marégrafos.

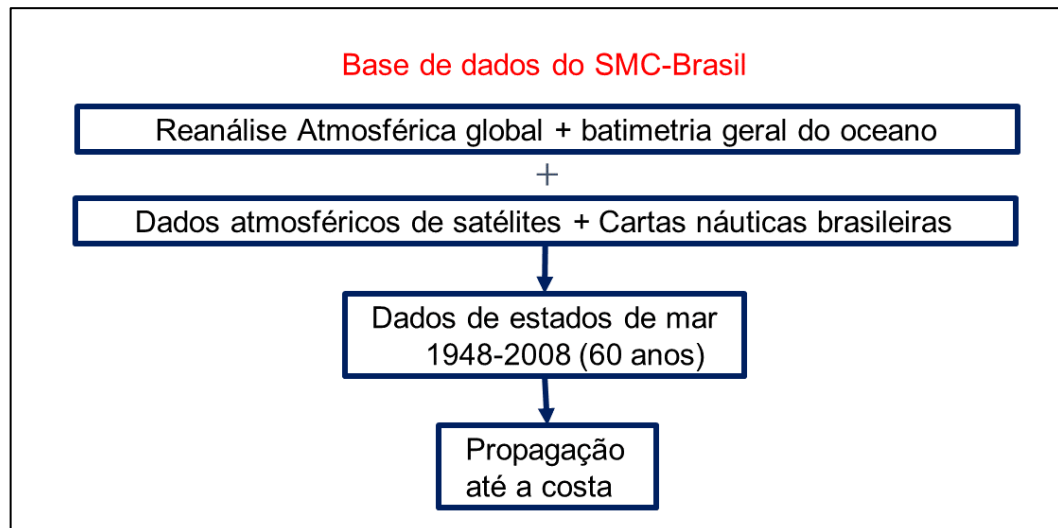


Figura 11. Etapas da obtenção da base de dados do SMC-Brasil.

### 6.3.1. Dados de ondas

O clima de onda de toda a costa brasileira (Figura 12) foi gerado através da regionalização dos dados atmosféricos por meio dos seguintes passos:

- a) *Global Ocean Waves (GOW)* - Dados de ondas foram gerados a partir de dados globais da condição climática do *National Center for Environmental Prediction (NCEP)* e do *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, de séries de 60 anos. As informações foram simuladas numericamente com o modelo *Wave Watch III*, sobre a batimetria global da *General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO)* e criados 534.000 estados de mar. Este método é considerado para regiões marinhas profundas e apenas grandes feições são consideradas.
- b) *Downscaled Ocean Waves (DOW)* - O objetivo do *downscaling* é regionalizar as informações do passo anterior com uso do modelo SWAN, batimetria das cartas náuticas brasileiras e da inclusão de forçantes locais. Através da



técnica da máxima dissimilaridade (*MaxDiss*), são selecionados os 500 estados de mar mais representativos dentre as séries de estados de mar GOW.

- c) Propagação do ponto DOW até a costa - Nesta fase as ondas são propagadas até a costa através dos modelos desenvolvidos pelo SMC-Brasil, os locais e as resoluções das malhas são definidas pelo usuário.

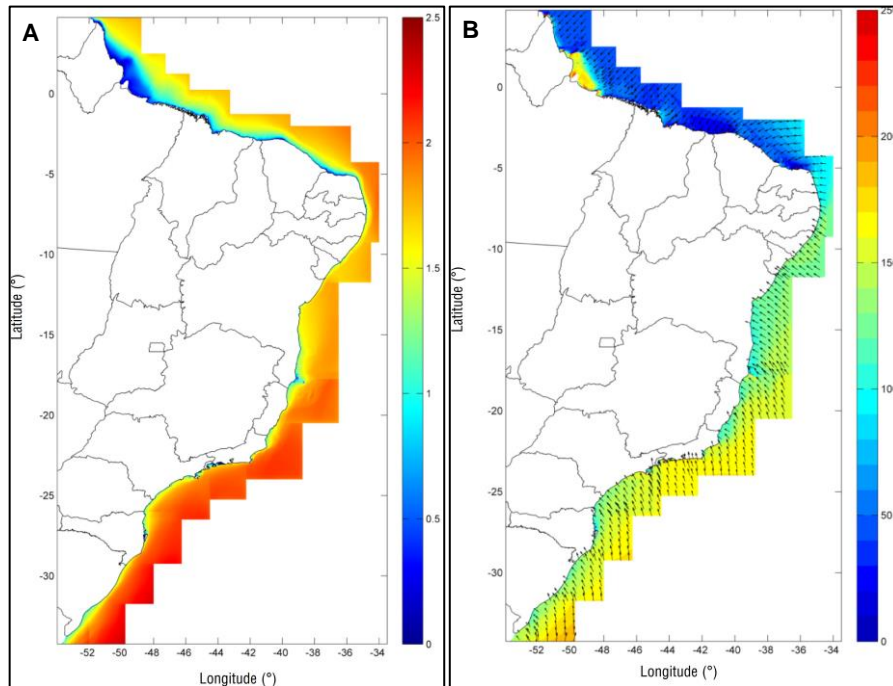


Figura 12. Dados de ondas da base de dados do SMC, para toda costa brasileira. A) Altura significativa de onda média anual (metros). B) Direção do fluxo médio de energia anual (em graus). Fonte: SMC (2014).

### 6.3.2. Dados da maré astronômica

A caracterização da maré astronômica brasileira da base de dados do SMC-Brasil (Figura 13) são denominadas de *Global Ocean Tides* (GOT) e foram obtidas a partir dos seguintes passos:

- Pontos com resoluções de 50 metros foram selecionados no entorno da costa brasileira;
- Constantes harmônicas foram retiradas o modelo global de Marés, o TPXO;

- c) Dados da maré astronômica foram processados em cada ponto selecionado;
- d) Os dados processados foram validados com marégrafos da Marinha do Brasil.

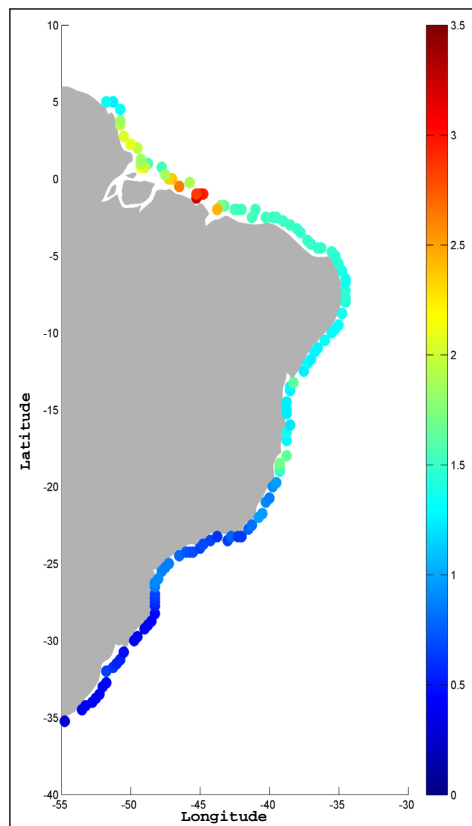


Figura 13. Elevação média, em metros, da maré astronômica para todo o litoral brasileiro da base de dados do SMC-Brasil. Fonte: Modificado de SMC (2014).

### 6.3.3. Dados da maré meteorológica

A base de dados da maré meteorológica do SMC-Brasil é o *Global Ocean Surge* (GOS), a partir do qual se obtém os níveis médios de inundação da costa brasileira (Figura 14). Os resultados da MM foram obtidos a partir de:

- a) Dados do vento global de 10 m de altura e pela pressão do nível do mar, oriundas do NCEP/ NCAR;

- b) Os dados globais foram simulados pelo modelo tridimensional de circulação *Regional Ocean Modeling System (ROMS)* e então se obteve os dados de marés meteorológicas regionalizadas.

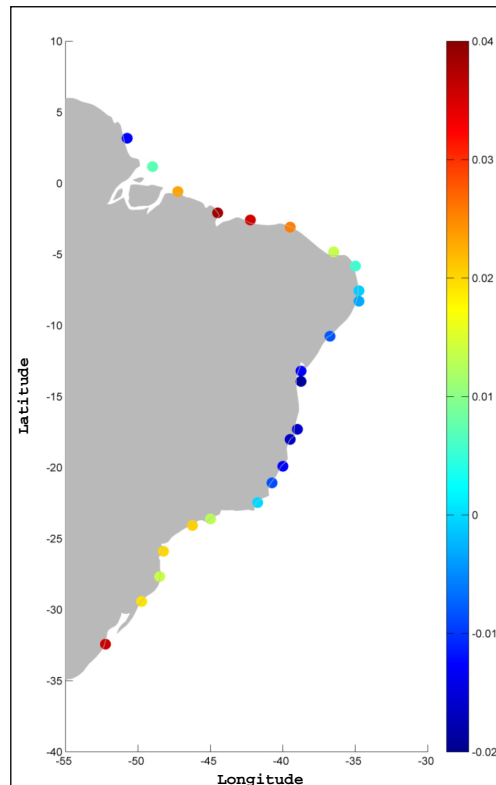


Figura 14. Elevação média, em metros, da maré meteorológica da base de dados para a costa brasileira do SMC-Brasil. Fonte: SMC (2014).

#### 6.3.4. Ferramentas da modelagem numérica

Cada dado costeiro é propagado por um programa específico no SMC – Brasil, para a obtenção de dados em escala regional. Sendo eles:

- 1) Modelo de Erosão/Sedimentação de Praias (EROS) - ferramenta bidimensional e horizontal que avalia o efeito da ação de ondas e correntes na zona de quebra sobre o fluxo de sedimentos.
- 2) Modelo de Correntes Induzidas pela Quebra das Ondas na Praia (COPLA - MC/SP) - programa que calcula o fluxo na zona de arrebentação.

3) Modelo de Propagação de Ondas (OLUCA) – programa que propaga as ondas de mar profundo para águas rasas.

Os dados marítimos são processados em duas fases: a) pré-processo, onde cada estado de mar é analisado individualmente em curto período (horas ou dias); b) pós processo, todos os estados de mar do pré-processo são processados de acordo com a sua frequência de ocorrência em um longo período (meses ou anos).

Para este estudo, foram selecionados 113 estados de mar (Anexo A) representativos da área. Cada caso foi processado nos níveis médios da baixa-mar, meia-maré e preia-mar, que são de 0 m, 1,46 m e 3,0 m respectivamente, totalizando assim 339 estados de mar e transferido da zona de mar profundo (ponto DOW) para a costa, em malhas projetadas com resolução de 21 m x 21 m (pré-processo), após foram calculadas as médias anuais das magnitudes de correntes e a taxa de transporte dos sedimentos em perfis transversais à linha de costa (pós-processo).

Para facilitar a análise da dinâmica dos sedimentos em longo prazo, o litoral de Atalaia foi dividido em dois setores: a barlamar/Leste e a sotamar/Oeste do molhe, onde foram estabelecidos cinco perfis perpendiculares a linha de costa, sendo os perfis 01, 02 e 03 localizados no setor leste e os perfis 04 e 05, a oeste (Figura 23).

O SMC dispõe de três formulações para a obtenção do transporte anual de sedimentos, são elas a de Kamphuis (1991), CERC (1984) e Bayram *et al.* (2007).

Para estimar o transporte de sedimentos, Kamphuis (1991) se baseou em uma série de variáveis, representadas pela seguinte equação:

$$Qt = 2.33 (Tp)^{1.5} (\tan\beta)^{0.75} (D_{50})^{-0.25} (Hs_{br})^2 [\sin(2\theta_{br})]^{0.6}$$

Onde,

Qt = taxa de sedimento transportado ao longo da costa em kg/s;

Tp = período de pico de ondas;

Hs<sub>br</sub> = altura significativa de onda na zona de quebra (m);

θ<sub>br</sub> = ângulo das frentes de ondas na zona de quebra com relação à orientação da linha de costa (°);

$D_{50}$  = tamanho médio do grão (m);

$\tan\beta$  = declividade da praia;

$\rho$  = coeficiente de correlação da reta bissetriz;

$H_b$  = altura de onda na quebra;

$m_b$  = declividade da praia;

$L_0$  = comprimento de onda em águas profundas.

$\theta_b$  = ângulo das frentes de ondas em quebra com relação à orientação da linha de costa.

CERC (1984) calcula a taxa de transporte do sedimento litorâneo ( $I$ ) como o produto do coeficiente empírico de proporcionalidade, o  $K$ , pelo fluxo de energia de ondas por unidade de comprimento da costa, o  $P_I$ :

$$I = KP_I \text{ ou } I = \frac{k}{16\sqrt{y_b}} \rho_w g^{\frac{3}{2}} H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\theta_b)$$

Onde,

$\rho_w$  = densidade da água;

$g$  = aceleração da gravidade;

$H_b$  = altura de onda na quebra;

$\theta_b$  = ângulo das frentes das ondas em quebra com relação à orientação da linha de costa;

$y_b$  = altura de onda na zona de quebra pela profundidade de quebra da onda.

Bayram *et al.* (2007), por sua vez, formulou a seguinte equação para obter a taxa de transporte:

$$w = \int_0^{x_b} \int_{-d(x)}^0 c(x, z) (\rho_s - \rho) g w_s dz dx$$

Onde,

$w_s$  = Velocidade de queda do grão

$c$  = Concentração dos sedimentos suspensos

$\rho_s$  = Densidade do sedimento

$\rho$  = Coeficiente de correlação

$g$  = Aceleração da gravidade

$x$  = Coordenada transversal à costa, com origem no litoral e positiva na direção do mar;

$z$  = Coordenada vertical, com origem no nível de água em repouso e negativa sob a água.

#### 6.4. Interpolação da batimetria

Os dados batimétricos foram obtidos por meio de:

- a) Informações da carta náutica da Marinha de escala 1:25000;
- b) Monitoramento das linhas de costas com auxílio do *Google Earth* e;
- c) Perfis transversais medidos na zona de estirâncio e publicados na tese de doutorado de Paula (2013).

O método interpolativo utilizado no SMC é o de triangulação, que se baseia na geração de triângulos não-sobrepostos e ligados aos pontos, sendo a interpolação definida de modo linear no interior do triângulo.

#### 6.5. Imagens Históricas do *Google Earth*

Foram analisadas imagens históricas do *Google Earth* para a região de estudo, datadas do ano de 1969 a 2019, com objetivo de identificar padrões e elementos da deriva litorânea em feições geológicas e geomorfológicas e compará-los com os resultados obtidos pelo SMC-Brasil .

As imagens selecionadas foram aquelas que apresentaram melhor resolução e menor cobertura de nuvens. Fotografias aéreas, da área, anteriores a construção dos molhes não foram localizadas nas diversas fontes pesquisadas.

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. Clima de ondas em águas profundas**

O clima de ondas utilizado como dados de entradas na modelagem numérica da área de estudo pertence a base de dados do SMC-Brasil, sendo obtido por meio do ponto DOW de coordenadas x: 209653, y: 9687460 e z: -6m (Figura 23). Como cada ponto DOW possui aproximadamente 500.000 estados de mar, os casos a serem propagados até a costa foram minimizados pela técnica da MaxDiss, que consiste em agrupar os dados de maiores diferenças dentro de um conjunto, de modo que os dados selecionados e simulados representem 99,0% da variância total dos dados.

#### *7.1.1. Direção de ondas*

As direções de ondas de águas profundas variam entre N e NNW, sendo que o maior predomínio são as de NNE, com probabilidade de ocorrência de 42,54%, seguidas pelas de origem NE, ENE e E, com frequências iguais a 23,15 %, 13,95 % e 9 %, respectivamente (Figura 15). O histograma da Figura 16A indica que o padrão de distribuição da direção de ondas é assimétrico e negativo, com média de direções em torno de 15° e 30°. As ondulações provenientes de NNE possuem alturas significativas entre 0,85 e 1,2 m. Para a série temporal de 60 anos, o padrão médio de direção de ondas está entre os intervalos de 10° e 108°, entretanto registros de direções de 0° a 360° são persistentes em toda a série (Figura 16B).

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS					
Variável medida:Hs					
direções(Nº)	prob.direção	Hs <sub>50%</sub>	Hs <sub>90%</sub>	Hs <sub>99%</sub>	Hs <sub>12</sub>
N	0.0255	0.9042	1.3543	1.7480	2.1111
NNE	0.4254	0.9565	1.2315	1.5731	1.8538
NE	0.2315	0.7789	0.9543	1.1064	1.2160
ENE	0.1395	0.7039	0.8500	0.9762	1.0638
E	0.0901	0.6673	0.7850	0.8770	0.9401
ESE	0.0548	0.6355	0.7389	0.8169	0.8685
SE	0.0231	0.6034	0.6917	0.7642	0.8213
SSE	0.0059	0.5802	0.6690	0.7328	0.7754
S	0.0013	0.5645	0.6573	0.7136	0.7620
SSW	0.0003	0.5310	0.6390	0.7965	0.8160
SW	0.0002	0.5175	0.6054	0.8309	0.8451
WSW	0.0001	0.4997	0.6068	0.8042	0.8356
W	0.0002	0.5099	0.5953	0.7275	0.7317
WNW	0.0002	0.5281	0.6020	0.7078	0.7328
NW	0.0005	0.6025	0.6962	0.8247	0.8569
NNW	0.0014	0.6552	0.8749	1.0070	1.0454

Figura 15. Tabela estatísticas de direções e alturas de ondas regionais em mar profundo. Em destaque, climas de ondas mais frequentes, considerando o período de 1948 a 2008.

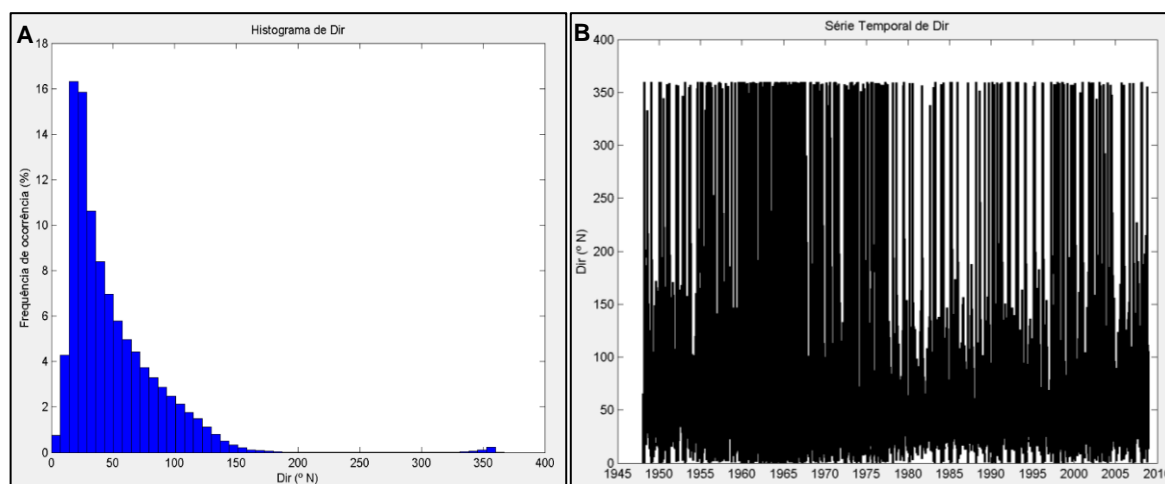


Figura 16. Dados do clima de ondas em mar profundo, para o período de 1948 a 2008. A) Histograma de direções de ondas assimétrico e negativo mostra a média das direções de ondas em torno de 15° e 30°. B) Série histórica de direção de ondas em águas profundas indica que a maior persistência das direções de ondas está entre 10° e 108.

### 7.1.2. Altura de ondas (Hs)

Para os estados de mar típicos, as alturas de ondas variam entre 0,4 m e 1,5 m, sendo que as alturas mais frequentes estão entre os intervalos de 0,6 m a 0,85 m e se associam com períodos de pico de 7,8 s a 11 s (Figura 17A). As maiores alturas



de onda são provenientes da direção N e NNE e alcançam um máximo de até 2,4 m (Figura 17B). Para as ondas de tempestades ( $H_{s12}$ ), as alturas médias são iguais a 1,85 m, 1,21 m, 1,06 m e 0,94 m para as direções NNE, NE, ENE e E, respectivamente.

A série temporal de  $H_s$  indica que o intervalo padrão de altura de ondas é de 0,5 m a 1,0 m (Figura 17C).

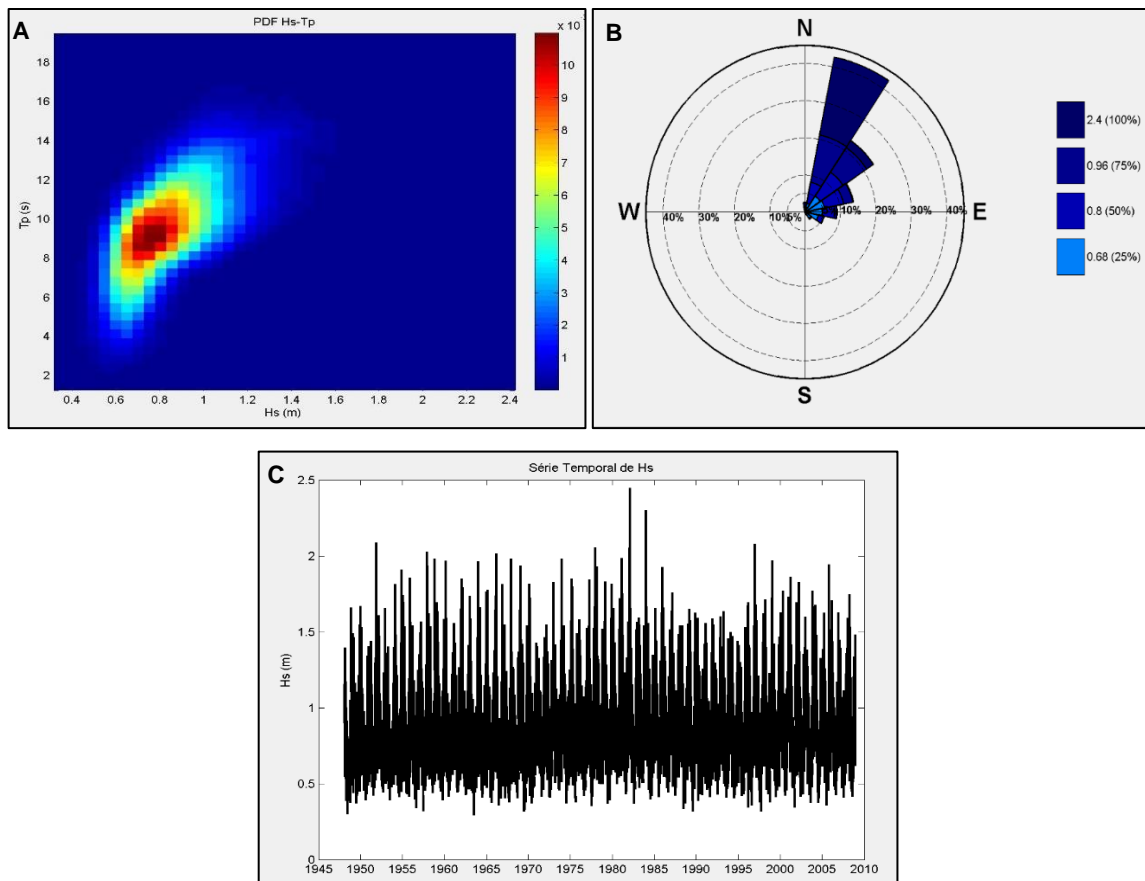


Figura 17. Dados de  $H_s$  em mar profundo, para o período de 1948 a 2008. A) Diagrama de altura de onda ( $H_s$ ) pelo período de pico de onda ( $T_p$ ). B) Rosas do vento da altura de ondas ( $H_s$ ), indicando que a média máxima de  $H_s$  é de 2,4 m. C) Série histórica da altura de onda mostrando que o intervalo padrão está entre 0,5 m e 1,0 m.

### 7.1.3. Período de pico de onda ( $T_p$ )

Os períodos de pico de onda variam entre 0,8 s e 19,7 s, sendo que a maior frequência está entre os intervalos de 8,5 s a 10,5 s, valores maiores ou menores que

estes diminuem a frequência linearmente (Figura 18A). Os  $T_p$  de maiores frequências ocorrem com ondas de origem NNE a NE (Figura 18B).

A série temporal de 60 anos de duração indica que os dados de  $T_p$  de maior persistência ocorrem entre 5,5 s e 13 s, embora registros de valores de  $T_p$  maiores ou menores na escala anual sejam comuns (Figura 18C).

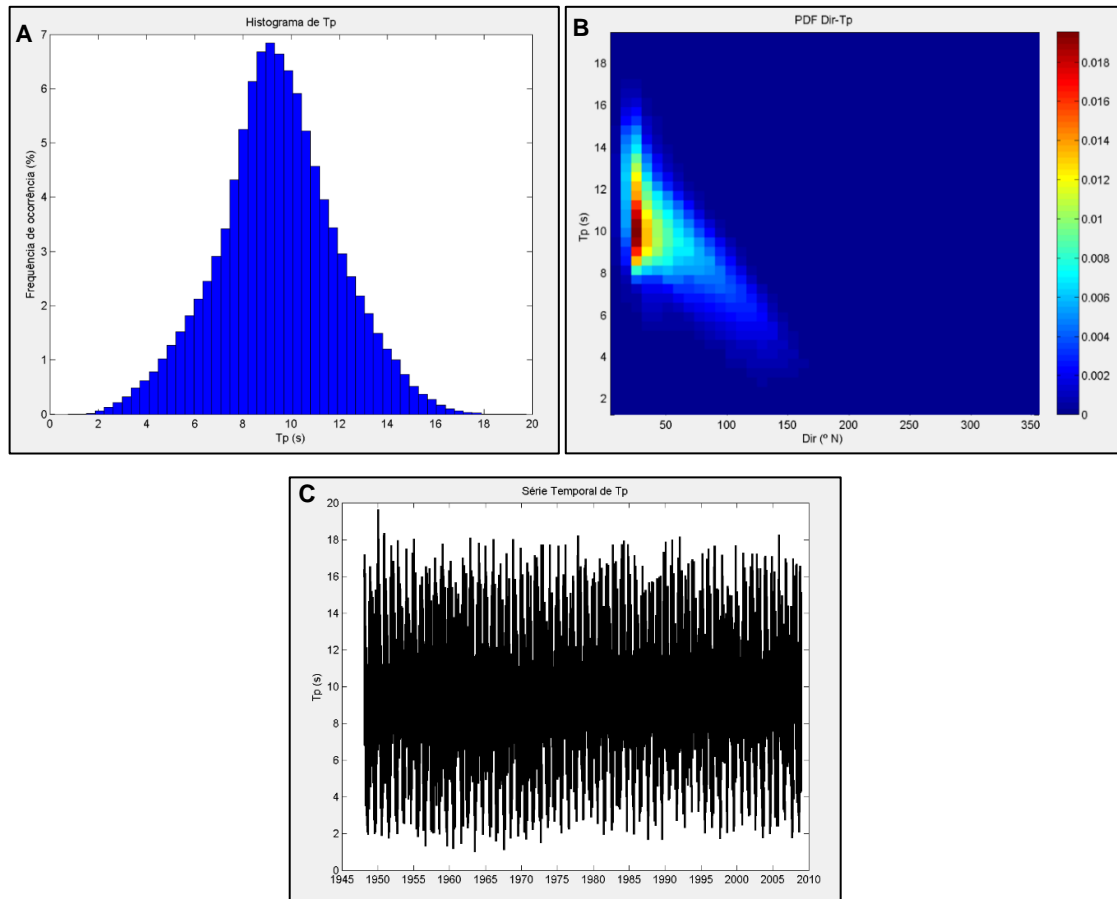


Figura 18. Dados do período de pico de onda ( $T_p$ ) em mar profundo para o período de 1948 a 2008. A) Histograma do período de pico de onda, observa-se que a maior frequência de ocorrência está entre os intervalos de 8,5 s a 10,5 s. B) Diagrama de direção por período de pico de onda,  $T_p$  mais frequentes se associam com ondas de origem NNE a NE. C) A Série histórica mostra que o intervalo padrão de  $T_p$  está entre 5,5 s e 13 s.

## 7.2. Maré Astronômica

O histograma da maré astronômica da Figura 19A é bimodal e simétrico, com picos próximos aos valores de -0,5 m e 0,5 m, para alturas de maré baixa e maré alta, respectivamente, e mostra que o intervalo máximo das amplitudes médias da MA

corresponde à 3 m. Para a série de 60 anos, o padrão da amplitude de maré manteve-se praticamente estável, girando em torno dos 3 m (Figura 19B).

Os valores de  $T_p$  melhor associados com os regimes de marés baixa e alta estão entre 8,5 s e 10,8 s; em meia maré, o  $T_p$  mais frequente é de 10 s (Figura 19C). As alturas de ondas mais frequentes na baixa-mar e preia-mar são similares e variam entre 0,65 m e 0,9 m; enquanto no regime de meia maré, a  $H_s$  de 0,77 m representa a média mais frequente. As principais direções de correntes associadas com todos os regimes de marés se situam nos quadrantes de NNE e NE (Figura 19D).

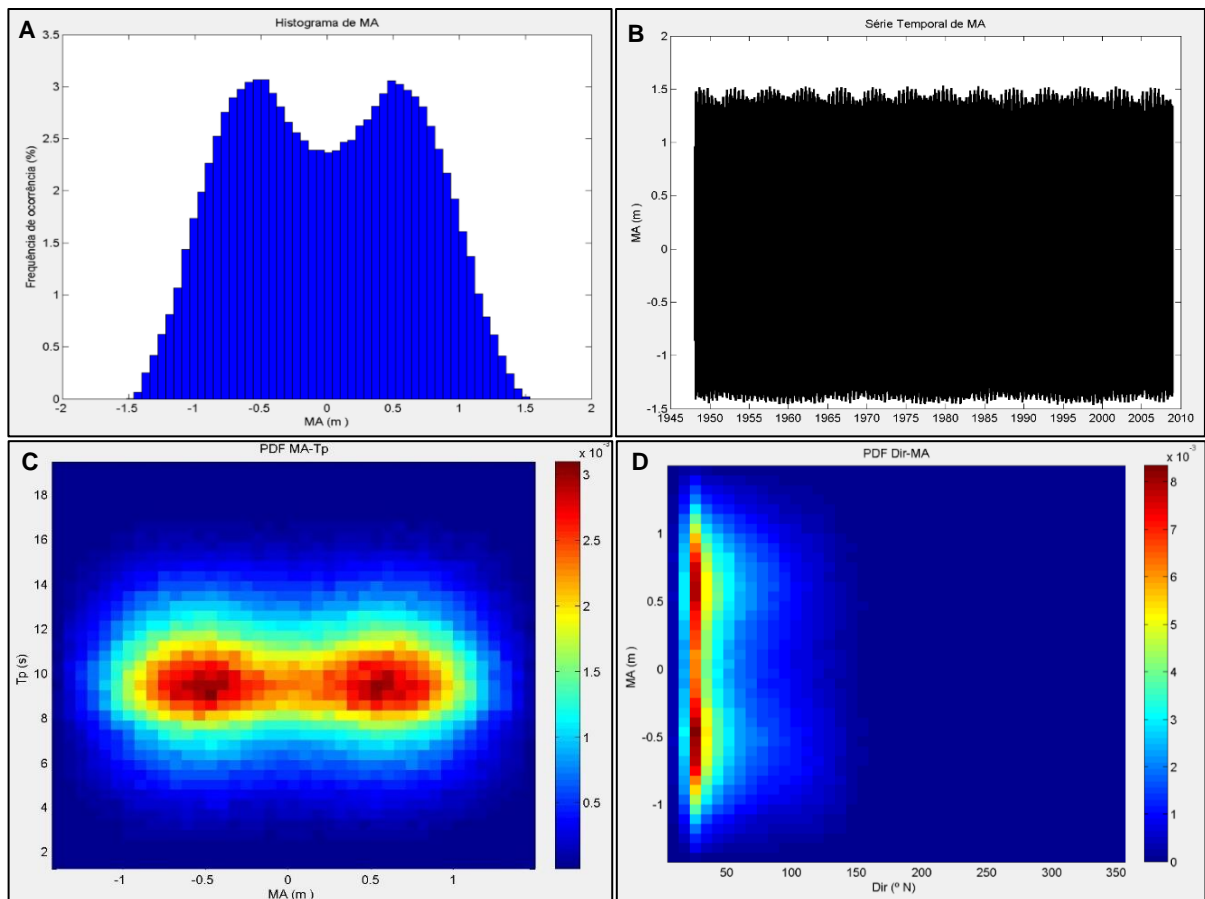


Figura 19. Dados de maré astronômica (MA) para o período de 1948 a 2008. A) Histograma de maré astronômica mostra que a amplitude média máxima é de 3 m. B) Série histórica de MA, observa-se a persistência da amplitude de MA em 3 m. C) Diagrama da maré astronômica pelo período de pico de onda, tem-se que os  $T_p$  entre 8,5 e 10,8 s possuem maior probabilidade de ocorrência nas marés baixa e alta. D) Diagrama de direção de corrente por nível de maré astronômica, analisa-se que as correntes de quadrantes de NNE e NE estão altamente associadas com todas as amplitudes de marés.

### 7.3. Maré Meteorológica

A amplitude média da maré meteorológica varia de - 0,13 m a 0,18 m, sendo que a maior frequência gira em torno de 0,05 m (Figura 20A).

As direções da maré meteorológica se originam, principalmente, na direção NNE e NE(Figura 20B). A MM apresenta maior interação com MA com intervalos de alturas de -0,9 m a -0,3 m e de 0,3 m a 0,9m (Figura 20C).

A série temporal da MM indica que o intervalo médio de altura está entre -0,05 m e 0,12 m, e, esporadicamente, ocorrem MM de alturas menores ou maiores em relação ao padrão (Figura 20D).

Os climas de ondas mais frequentes associados com a MM são caracterizados por alturas entre 0,6 m e 0,85 m, períodos de pico de 8 s a 11 s e direções entre 20° e 40°.

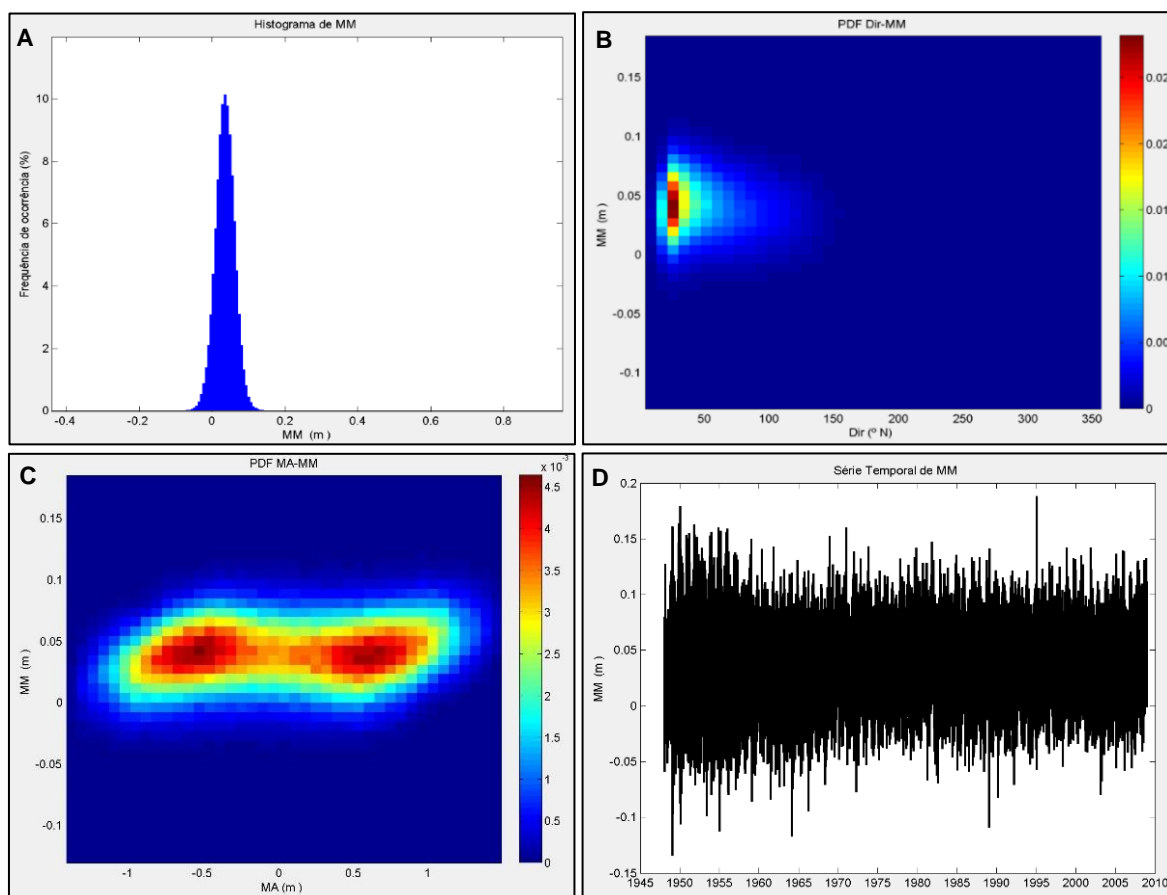


Figura 20. Dados da maré meteorológica (MM) para o período de 1948 a 2008. A) Histograma de MM indicando que a amplitude média máxima da maré meteorológica varia de -0,13 m a 0,18 m, e a maior frequência está em torno de 0,05 m. B) Diagrama de direção de corrente por maré meteorológica. A MM mantém relação direta com correntes de direções NNE e NE. C) Diagrama de maré astronômica pela maré meteorológica. A MM predomina em conjunto com a MA de amplitudes entre -0,9 m a 0,9. D) Série histórica da maré meteorológica. Observa-se que a altura padrão da MM está entre -0,05 m e 0,12 m, com variações esporádicas.

#### **7.4. Transporte total e líquido anual de sedimentos**

Para o cálculo do transporte litorâneo, primeiramente foram processados estados de mar representativos em situações de curto prazo (pré-processo) (Figuras 21 e 22); em seguida, foram estimados dados do fluxo médio de energia (FME) e da taxa anual de transporte para situações de longo prazo nos perfis 01, 02, 03, 04 e 05, que são numerados de leste para oeste e perpendiculares a linha de costa (Figura 23). Os dados gerados foram baseados nas formulações de Kamphuis (1991), CERC (1984) e Bayram *et al.* (2007) (Tabela 1).

O transporte litorâneo positivo ( $Q_+$ ) se refere ao balanço de sedimentos transportado para a direita, e o negativo ( $Q_-$ ) representa a deriva desenvolvida para a esquerda, considerando um observador de frente para o mar. A diferença entre  $Q_+$  e  $Q_-$  é o transporte líquido de sedimentos litorâneos ( $Q_a$ ), este revela a sentido efetivo da deriva litorânea.

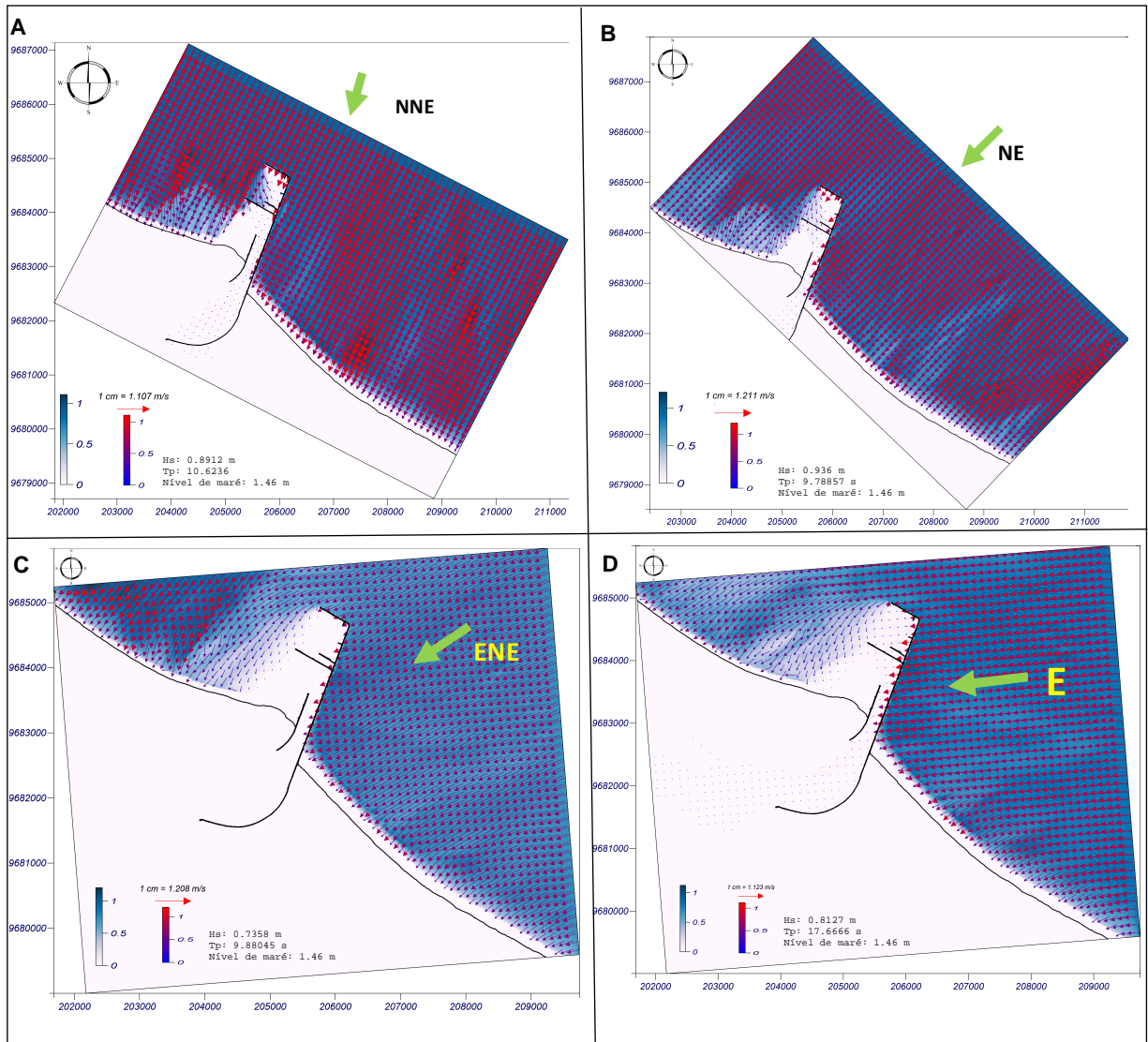


Figura 22. Quatro dos 339 mapas gerados da altura significativa de onda ( $H_s$ ) e vetores de direção média ( $\text{Dir.m}$ ) para condições médias no regime de meia-maré e para um período de 24h. De modo geral, as ondulações no setor leste chegam a costa com vetores voltados para a esquerda e com magnitude média, exceto para o regime de onda proveniente de NNE, que chega paralelisada à linha de costa; no setor oeste, a magnitude da onda é alta e direcionada para NW, entretanto, na adjacência dos molhes, as ondulações são dissipada e invertidas para SE. Casos de ondas típicos provenientes de: A) NNE; B) NE; C) ENE e D) E.

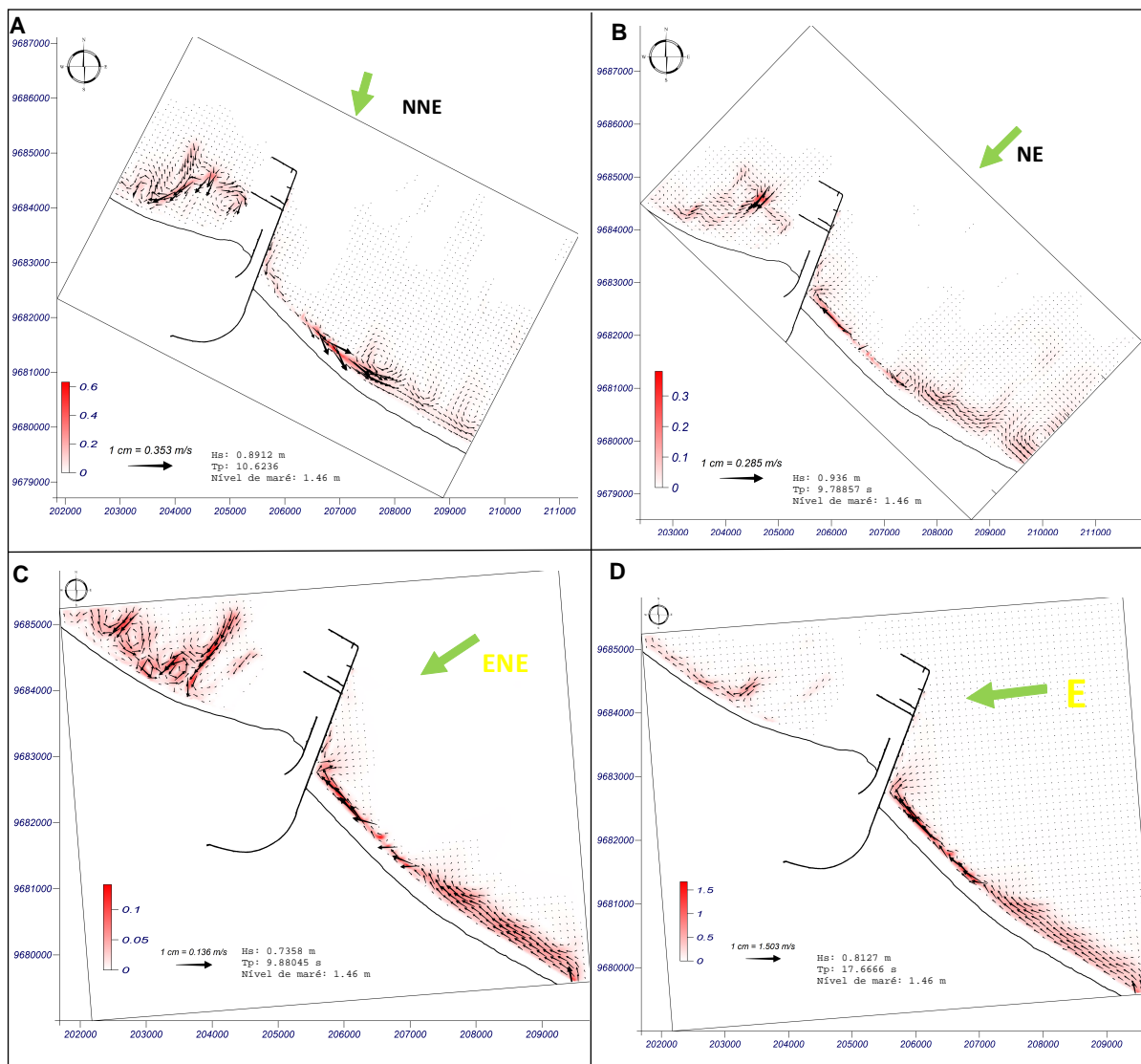


Figura 22. Quatro dos 339 mapas gerados, com vetores e magnitudes de correntes, em condições médias no regime de meia-maré, para um período de 24h. De modo geral, observa-se que as correntes geradas no setor leste são direcionadas para NW, exceto quando originadas em NNE, e são bruscamente interrompidas pelos molhes, parte da corrente contorna o molhe no sentido do oceano; a oeste dos molhes, as correntes apresentam menores magnitudes na proximidade dos molhes e os vetores de correntes mostram sentidos variados. Tem-se as correntes geradas para as ondulações provenientes das quatro principais direções: A) NNE; B) NE; C) ENE; e D) E.



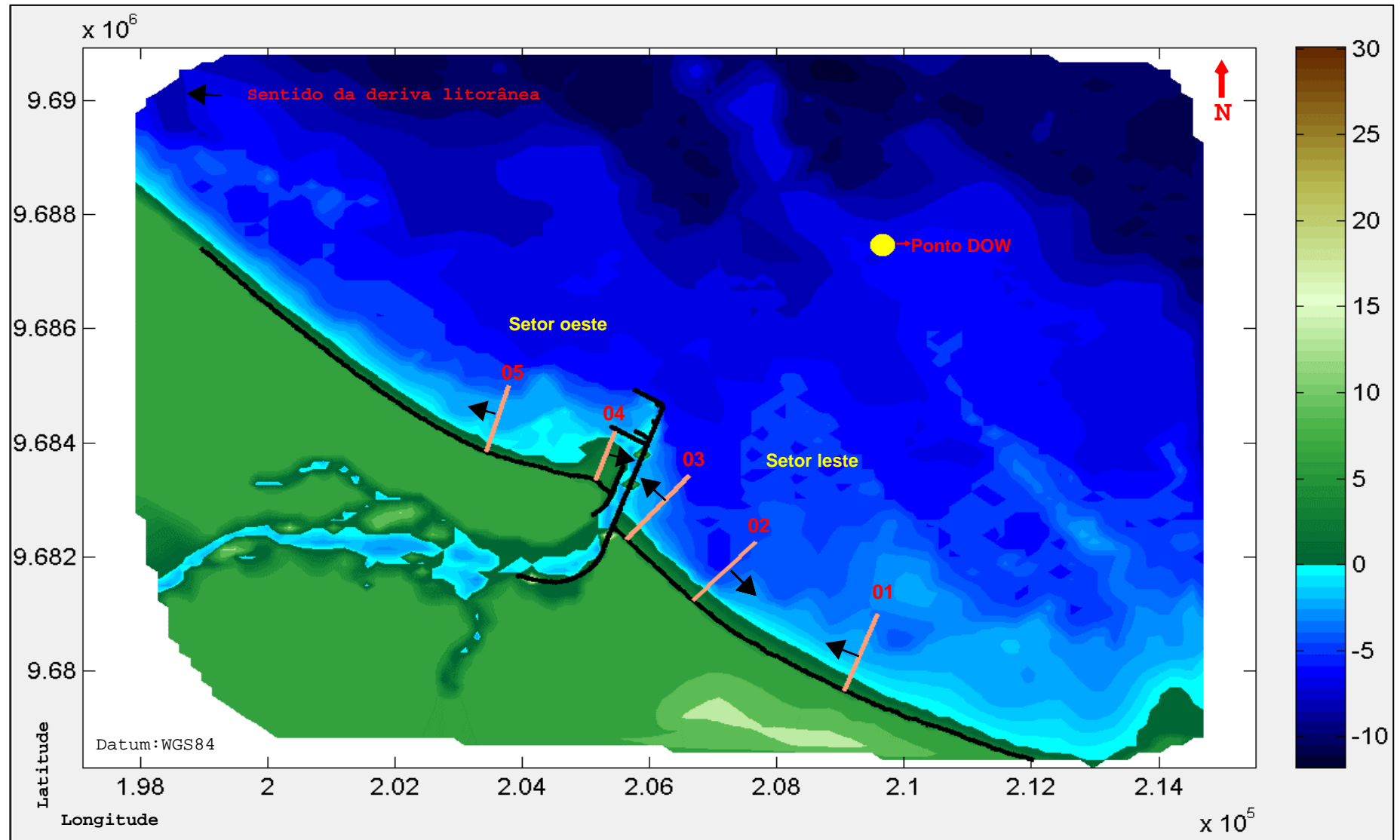


Figura 23. Mapa de localização dos cinco perfis gerados no setor leste e oeste, onde foi calculada a estimativa do fluxo médio de energia (FME) e da taxa anual do transporte líquido de sedimentos ( $Q_a$ ), tendo como base os dados de estado de mar obtidos no ponto DOW (Downscaled Ocean Waves). Observa-se que, nos perfis 02 e 04 o sentido de  $Q_a$  é para direita, enquanto os perfis 01, 03 e 05 possuem  $Q_a$  para esquerda.



Tabela 1. Valores do fluxo médio de energia (FME), do transporte litorâneo de sedimentos positivo (Q+) negativo (Q-) e líquido (Qa) obtidos por meio da formulação de Kamphuis (1991), CERC (1984) e Bayram *et al.* (2007) para cada um dos cinco perfis.

Perfil	FME [J/(m.s)]	Dir. [°N]	Q+ [m³/ano] Kamphuis (1991)	Q+ [m³/ano] CERC (1984)	Q+ [m³/ano] Bayram <i>et al.</i> (2007)	Q- [m³/ano] Kamphuis (1991)	Q- [m³/ano] CERC (1984)	Q- [m³/ano] Bayram <i>et al.</i> (2007)	Q [m³/ano] Kamphuis (1991)	Q [m³/ano] CERC (1984)	Q [m³/ano] Bayram <i>et al.</i> (2007)
01	354,78	33,89	1610,49	12787,55	2802,86	-13557,91	-291477,09	-1456,06	-11947,42	-278689,54	1346,80
02	334,19	33,44	28547,97	347765,90	9576,40	-2993,52	-49495,24	-1094,44	25554,44	298270,66	8481,96
03	398,69	51,69	1780,83	18204,41	3002,19	-20592,32	-343632,50	-3376,46	-18811,49	-325428,09	-374,27
04	74,89	3,63	3598,86	66804,22	63,37	-241,76	-3806,96	-0,11	3357,10	62997,26	63,26
05	961,96	25,84	656,39	6103,22	610,47	-18313,63	-376091,35	-771,13	-17657,24	-369988,13	-160,65

#### 7.4.1. Perfil 01

Os sedimentos do perfil 01 são de tamanho areia fina e moderadamente selecionado, com função de distribuição platicúrtica, unimodal e aproximadamente simétrica (Tabela 2 e figura 24).

78 % dos grãos são subangulares, 20 % subarredondados e 2 % arredondados. A esfericidade é média e de textura sacaróide polida. Composto por 93 % de quartzo, 6 % de meio biótico, 1 % de minerais acessórios (tremolita, ilmenita, epidoto, turmalina, actinolita) e 0,03 % de micas (Figura 25).

Apresenta fluxo médio de energia de 354.78 J/(m.s)/ano e direção média de corrente de 33,89°. Segundo a fórmula de Kamphuis (1991), a deriva líquida anual é para NW, com taxa de -11947,42 m<sup>3</sup>/ano. A equação de CERC (1984) obteve o Q<sub>a</sub> negativo, com o valor de -278689,54 m<sup>3</sup>/ano. O método de Bayram *et al.* (2007), ao contrário das demais fórmulas, indica o Q<sub>a</sub> dirigindo-se para a SE, com valor de 1346,80 m<sup>3</sup>/ano (Tabela 1).

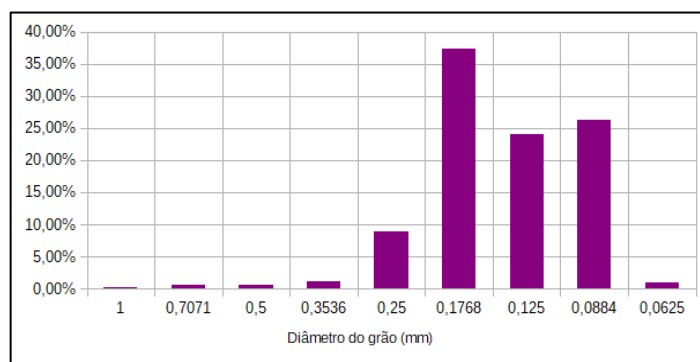


Figura 24. O Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos indica que os grãos são moderadamente selecionados e que a fração areia fina (0,1768 mm e 0,125 mm) é predominante.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos dos sedimentos relativos ao perfil 01 (Folk & Ward).

Mediana (Phi)	2.5267835 = areia fina
Média (Phi)	2.6016273 = areia fina
Desvio padrão	0.5581066
Curtose	0.8480758
Curtose normalizada	0.4588967

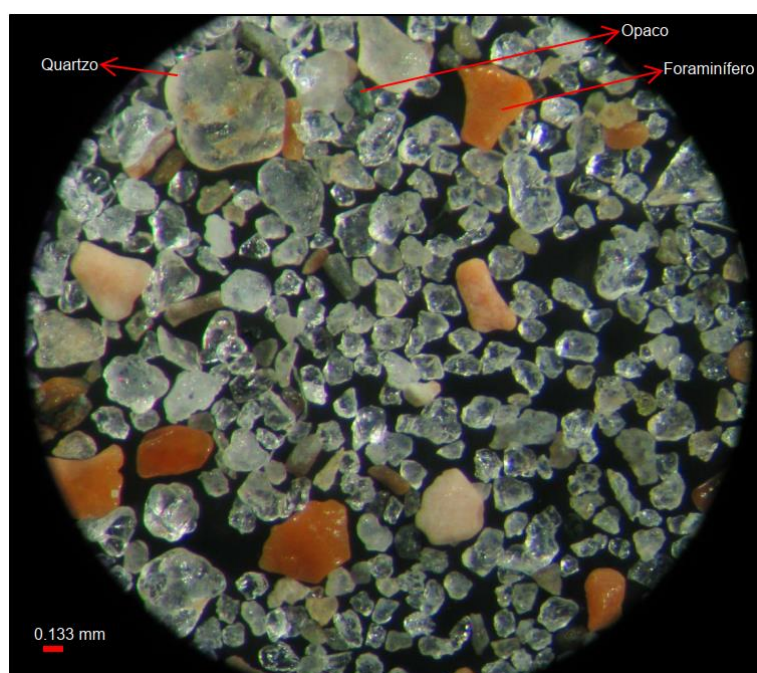


Figura 25. Os sedimentos correspondentes a área do perfil 01, coletados na zona de estirâncio, variam de subangulosos a arredondados, são compostos por 93% de quartzo, 6% de meio biótico, 1% de minerais acessórios e menos de 1% de micas.

#### 7.4.2. Perfil 02

O perfil 02 apresenta sedimentos predominantemente de tamanho areia fina, muito bem selecionados, com função de distribuição platicúrtica, unimodal, aproximadamente simétrica e de baixo desvio padrão. (Tabela 3 e figura 26).

68 % dos grãos são subangulares, 30 % subarredondados e 2 % arredondados. Predominantemente de esfericidade baixa e de textura sacaróide polida. A

composição é de 96% de quartzo, 3 % de meio biótico, 1 % de minerais acessórios (tremolita, ilmenita, epidoto, turmalina, actinolita) e 0,04 % de micas (Figura 27).

O fluxo médio de energia das correntes foi calculado em 334,19 J/(m.s)/ano com direção média de 33,44°. O valor de  $Q_a$  para as três equações indicaram a deriva litorânea positiva. Para Kamphuis (1991) a taxa média de transporte é de 25554,44 m<sup>3</sup>/ano; para CERC (1984), de 298270,66 m<sup>3</sup>/ano e segundo Bayram *et al.* (2007), Q representa 8481,96 m<sup>3</sup>/ano (Tabela 1).

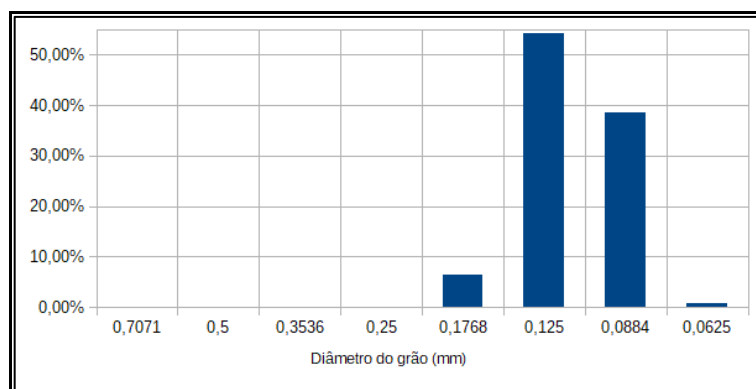


Figura 26. O Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos relacionados ao perfil 02 indica que os grãos são muito bem selecionados e que a fração areia fina (0,1768 mm e 0,125 mm) predomina.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos (Folk & Ward)

Mediana (Phi)	2.9012189 = areia fina
Média (Phi)	2.9302831 = areia fina
Desvio padrão	0.3395284
Curtose	0.8457006
Curtose normalizada	0.4582003

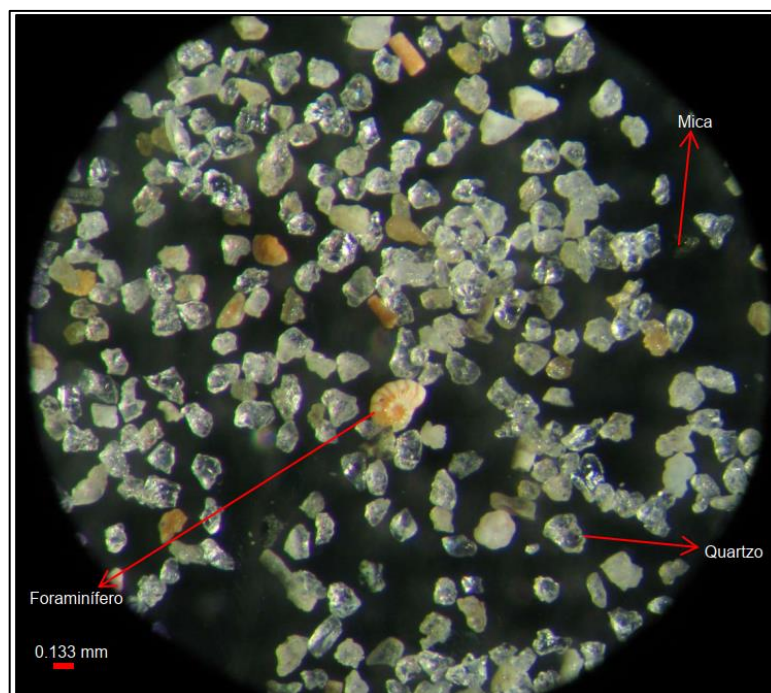


Figura 27. Os sedimentos correspondentes a área do perfil 02, coletados na zona de estirâncio, variam de subangulosos a arredondados, sendo compostos por 96 % de quartzo, 3 % de meio, 1 % de minerais acessórios e menos de 1 % de micas.

#### 7.4.3. Perfil 03

O perfil 03 apresenta sedimentos de tamanho areia muito fina e muito bem selecionados, com função de distribuição platicúrtica, unimodal e aproximadamente simétrica (Tabela 4 e figuras 28).

56 % dos grãos são subangulares, 40 % subarredondados e 4 % arredondados. Predominantemente de esfericidade baixa e textura sacaróide polida. Composto por 98 % de quartzo, 1 % de meio biótico, 0,8 % de minerais acessórios (tremolita, ilmenita, epidoto, turmalina e actinolita) e 0,08 % de micas (Figura 29).

O perfil apresenta fluxo médio de energia anual de 398,69 J/(m.s)/ano, com direção média de 51,69°. A fórmula de Kamphuis (1991) calcula  $Q_a$  em 18811,49 m<sup>3</sup>/ano; enquanto para CERC o valor é estimado em 325428,09 m<sup>3</sup>/ano; para Bayram *et al.* (2007) o  $Q_a$  é de 374,27 m<sup>3</sup>/ano (Tabela 1).

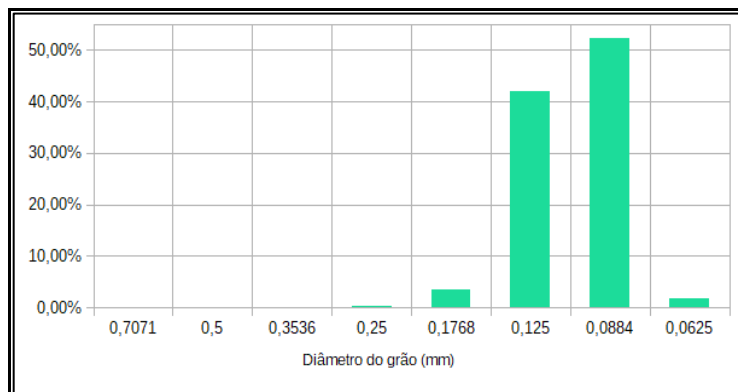


Figura 28. O Histograma de distribuição granulométrica dos sedimentos indica que os grãos são muito bem selecionados e que a fração areia muito fina (0,0884mm e 0,0625) é predominante.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos (Folk & Ward)

Mediana (Phi)	3.0399098 = areia muito fina
Média (Phi)	3.0166783 = areia muito fina
Desvio padrão	0.3244
Curtose	0.7437
Curtose normalizada	0.4265

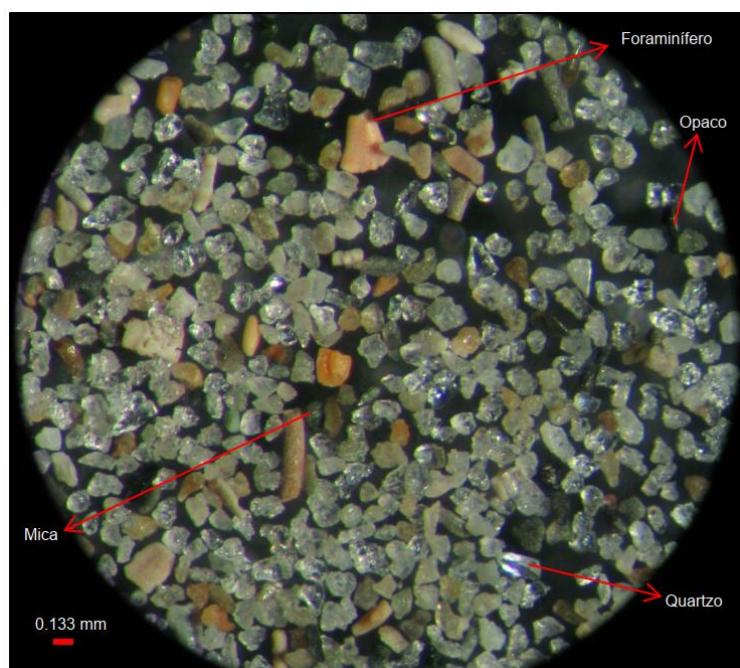


Figura 29. Sedimentos de tamanho areia muito fina, muito bem selecionado, composto por 98 % de quartzo, 1 % de meio biótico e quantidades inferiores a 1 % de micas e de minerais acessórios.

#### 7.4.4. Perfil 04

Os sedimentos do setor oeste, segundo Paula (2013), possuem textura média de tamanho areia grossa e média. Para a simulação do perfil o valor do  $D_{50}$ , utilizado foi de 0,250mm.

O perfil 04 apresenta o FME de 74,89 J/(m.s)/ano, com direção média de 3,63°. O valor de  $Q_a$  obtido por Kamphuis (1991) foi de 3598,86 m<sup>3</sup>/ano; por CERC (1984), de 62997,26m<sup>3</sup>/ano; e por Bayram *et al.* (2007), de 63,26m<sup>3</sup>/ano (Tabela 1).

#### 7.4.5. Perfil 05

Para o perfil 05, assim como no perfil 04, o tamanho médio de sedimentos utilizados na modelagem foi de areia média.

O FME foi identificado em 961,96 J/(m.s)/ano, com direção média de 25.84°. De acordo com o método de Kamphuis (1991), o  $Q_a$  calculado é de -17657,24 m<sup>3</sup>/ano; para CERC (1984), de - 369988,13 m<sup>3</sup>/ano; e pela equação de Bayram *et al.* (2007) o valor estimado de  $Q_a$  é de 160,65 m<sup>3</sup>/ano.

## 8. DISCUSSÃO

### 8.1. Clima de ondas em águas profundas

As direções do climas de ondas relacionados com a área de estudos já foram descritas por outros estudos, através de reanálises atmosféricas, análises de ventos locais e de observações obtidas *in locu* para séries temporais variadas.

Pianca *et al.* (2010), através de reanálises atmosféricas, em séries de janeiro de 1997 a dezembro de 2007, concluiu que as direções de ondas para a região



nordeste variam entre N e SE, das quais, as maiores ocorrências são de ondas de origem N, E e SE.

Bittencourt *et al.* (1990) estimou a direção de ondas para o litoral de Atalaia-PI por meio de dados coletados entre agosto de 1985 a abril de 1986 no Posto de Meteorologia da cidade de Parnaíba, que está distante da área de estudo cerca de 10 km, e obteve direções de ventos entre N e NW, com predominância absoluta de ventos advindos de NE e E.

Paula (2013) coletou dados de ondas em campo, no período de 2010 a 2012, e identificou a predominância de ventos originados no quadrante de 0° a 90°, presentes sobretudo entre as direções NNE e ENE.

É possível observar semelhanças de direções de ondulações entre os estudos e os resultados do SMC-Brasil. Confirma-se que a predominância de direções de ventos, na área de estudo, ocorre no quadrante de 0° a 90°. Os quadrantes de NE e E, também são citados por Bittencourt *et al.* (1990) e Paula (2013) como de grandes frequências. Os resultados de Paula (2013) se apresentam concordantes com os gerados neste estudo e é considerado como o de método mais preciso, por ser direto. Pequenas diferenças nas precisões das direções de maiores frequências em relação ao trabalho de Pianca *et al.* (2010) ocorrem devido os dados abrangerem todo o litoral nordestino, mostrando-se muito amplo. Enquanto as análises de Bittencourt *et al.* (1990), embora regionalizadas, dispõe de dados atmosféricos colhidos no continente.

Em relação a maior frequência de Hs obtido pelo SMC-Brasil, que é de 0,6 m a 0,85 m, observa-se compatibilidade com os resultados de Bittencourt *et al.* (1990), que observou alturas predominantes de ondas entre 0,50 e 0,75 m; e Paula (2013) que obteve valores médios de Hs entre 0,64m e 0,83m. Pianca *et al.* (2010), por sua vez, encontrou registros de Hs maiores para a região nordeste do Brasil, com variação de 1 m a 3 m, sendo que a maior frequência foi estimada entre os intervalos de 1 m e 2 m. Observa-se similaridades entre os dados do SMC-Brasil com os de Bittencourt *et al.* (1990) e Paula (2013), que foram obtidos *in locu*, entretanto os resultados de Pianca *et al.* (2010) são menos refinados por desconsiderar as mudanças locais, como a morfologia da costa. Ainda assim, todos os resultados confirmam que as alturas de ondas da área de estudo são, de fato, pequenas.



Os resultados de  $T_p$  mais frequentes de acordo com SMC-Brasil são de 8,5 s a 10,5 s, enquanto o  $T_p$  médio observado por Paula (2013) variou de 6 s a 9 s. Pianca *et al.* (2010) obteve  $T_p$  frequentes de 6 s a 8 s. Os estudos apresentam valores próximos e que confirmam que na área de estudo predominam valores de  $T_p$  médios abaixo de 11 s.

## **8.2. Maré Astronômica e Meteorológica**

A amplitude média da maré astronômica em 3 m indica um regime de mesomaré para a praia de Atalaia, fato já descrito por Bittencourt *et al.* (1990).

A amplitude média da maré meteorológica varia de - 0,13 m a 0,18 m, apontando que a maré meteorológica geralmente tem pouca importância na área de estudo, a média de 0,05 m indica que os valores de refluxo são mais frequentes que o de empuxo.

As direções predominantes da MA e MM são idênticas: NNE e NE. Caso ocorram simultaneamente, existe uma alta probabilidade de que as forças de ambas sejam somadas.

## **8.3. Setor Leste**

A textura de sedimentos do setor leste varia entre areia muito fina e fina, percebe-se que, do perfil 01 para o 03, os grãos tornam-se mais finos e melhor selecionados e a proporção de sedimentos de composição biótica decresce. O FME mantêm-se na média de 362 J/(m.s) e apresenta pouca diferença entre os perfis. Para todos os perfis do setor, ondas de origem NNE, geram correntes de para SE.

O perfil 01 é o único que apresentou discordância do sentido de  $Q_a$  entre os métodos de Kamphuis (1991), CERC (1984) e Bayram *et al.* (2007). Pelas equações de Kamphuis (1991) e CERC (1984), o sentido da deriva litorânea líquida anual de sedimentos é para a esquerda; enquanto pelo método Bayram *et al.* (2007), o valor de  $Q_a$  é positivo. Cabe ressaltar que Kamphuis (1991) prioriza em sua fórmula os dados de período de onda, a inclinação da praia, o diâmetro das partículas e a

inclinação das ondas em relação a linha de costa. CERC (1984) não considera o tamanho médio do grão em seu cálculo. Por fim, a equação de Bayram *et al.* (2007) considera o transporte por suspensão o mais importante e que as ondas atuam apenas como o agente que coloca os sedimentos em movimentos no momento da quebra, e após, outras correntes são as responsáveis pelo transporte sedimentar litorâneo (SMC, 2014). Devido a estas particularidades e considerando que a granulometria média do perfil 01 é de areia fina, supõe-se que os dados de Kamphuis (1991) é o mais indicado e completo para estimar o  $Q_a$ .

O sentido da deriva líquida litorânea do perfil 02 é para SE. Este perfil se mostra mais influenciado pelas ondas de origem NNE, que são as mais frequentes, sendo por esta razão o perfil com maior taxa de transporte de sedimento anual do setor.

No perfil 03 o sentido de  $Q_a$  é para a esquerda. As correntes mais energéticas estão relacionadas com clima de ondas de direção ENE e E (Figura 22). Para ondas de NE, ENE e E são evidenciados vetores de correntes paralelas ao molhe e em direção ao oceano. Em campo foi observado que, nesta área, os campos de dunas são melhor desenvolvidos (Figura 8), evidenciando uma zona de progradação.

#### **8.4. Setor Oeste**

Diferentemente dos perfis do setor leste, que os sedimentos predominam entre areia fina a muito fina, os sedimentos do setor oeste, segundo Paula (2013), possuem tamanho médio entre areia grossa e média. Esta diferença textural entre os setores ocorre devido a proximidade da área com o rio Igaraçu, que é o principal suprimento sedimentar do setor (Silva *et al.*, 2019).

O FME do perfil 04, localizado na área abrigada a sotamar do molhe de Luís Correia, possui a menor magnitude de energia dentre todos os perfis analisados. Este dado indica que as ondas alcançam o perfil com a energia dissipada. Clima de ondas de direção NNE e NE geram as correntes mais energéticas. As ondas incidentes são interrompida ao alcançar os molhes, sendo observado o fenômeno da difração de ondas, que modifica o sentido das ondulações para SE. A corrente, ao ser invertida, interrompe o fluxo natural dos sedimentos descarregados pelo rio e faz com que parte do material retorne e se

deposite em áreas menos energéticas próximas a foz do rio, gerando os bancos arenosos, pois as ondas atuam de maneira construtiva. Avalia-se que, embora a corrente produzida pelo rio Igarauçu, que é uma componente importante no balanço sedimentar, seja desprezada nos cálculos deste trabalho, a formação do banco é um indicativo geológico de que as ondas desempenham um papel fundamental na dinâmica dos sedimentos na área abrangente pelo perfil. Evidencia-se ainda que esta dinâmica é local e que tem como causa a interferência da estrutura costeira.

Para o perfil 05 foi identificado o maior FME anual, estimado em 961,96 J/(m.s). Dado corroborado por Paula (2013), que afirma que o setor oeste apresenta característica de praia reflectiva. O alto FME e o aprisionamento de sedimentos já pode estar causando a erosão nas imediações do perfil 05, pois Silva *et al.* (2019) ao monitorar a linha de costa em perfis, utilizando imagens de satélites de 1972 a 2016 e tendo o ano de 1972 como referência inicial, concluiu que a área localizada próxima ao perfil 05 apresenta histórico de retração da linha de costa e, com exceção do ano de 1980, em todos os anos analisados ocorreram decréscimo da linha de praia, que teve o recuo máximo de -94 m no ano de 1983 (Figura 30).

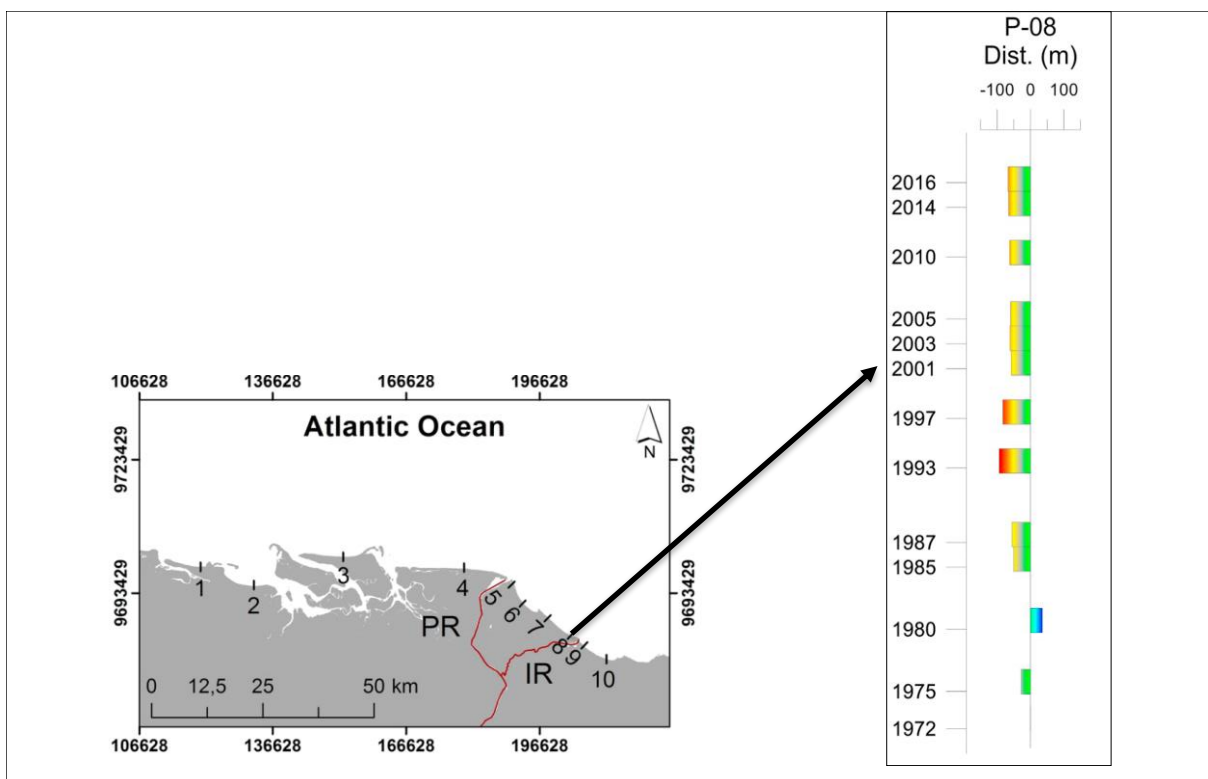


Figura 30. Perfil do deslocamento da linha de costa monitorado por imagens de satélites para área do setor oeste do rio Igarauçu. Período de 1972 a 2016. Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2019).

## 8.5. Geoindicadores

Geoindicadores são definidos como elementos da superfície terrestre que caracterizam os fenômenos variáveis da geologia, geomorfologia, geotecnia ou da hidrogeologia dentro de uma escala de tempo de até 100 anos (Berger & Iams, 1996). Neste sentido, os resultados do clima de ondas, cálculo do transporte líquido litorâneo e de correntes gerados neste trabalho foram corroborados pelas feições geomorfológicas e geológicas identificadas em imagens do *Google Earth* (Figura 31), registros fotográficos e observações do trabalho de campo.

Os geoindicadores do setor leste que corroboram com o resultado obtidos da deriva litorânea e com os dados do clima de ondas são:

- a) Ocorrência do campo de dunas mergulhando para SW;
- b) Pequenos cursos d'água na zona costeira orientados para NW;
- c) Presença de área em acreção a barlar do molhe de Luís Correia;
- d) Interrupção da incidência regular das ondas (primeiro quadrante) ao alcançar os molhes;
- e) Predominância de ondas alcançando a costa orientadas para SW.

Os geoindicadores que validam os resultados do  $Q_a$  e das correntes litorâneas obtidos para o setor oeste são:

- a) Crescimento do campo de dunas costeiras orientados para SW;
- b) Desenvolvimento do banco arenoso no interior dos molhes;
- c) Difração de onda na área adjacente ao molhe;
- d) Ausência da incidência regular das ondas no interior dos molhes.

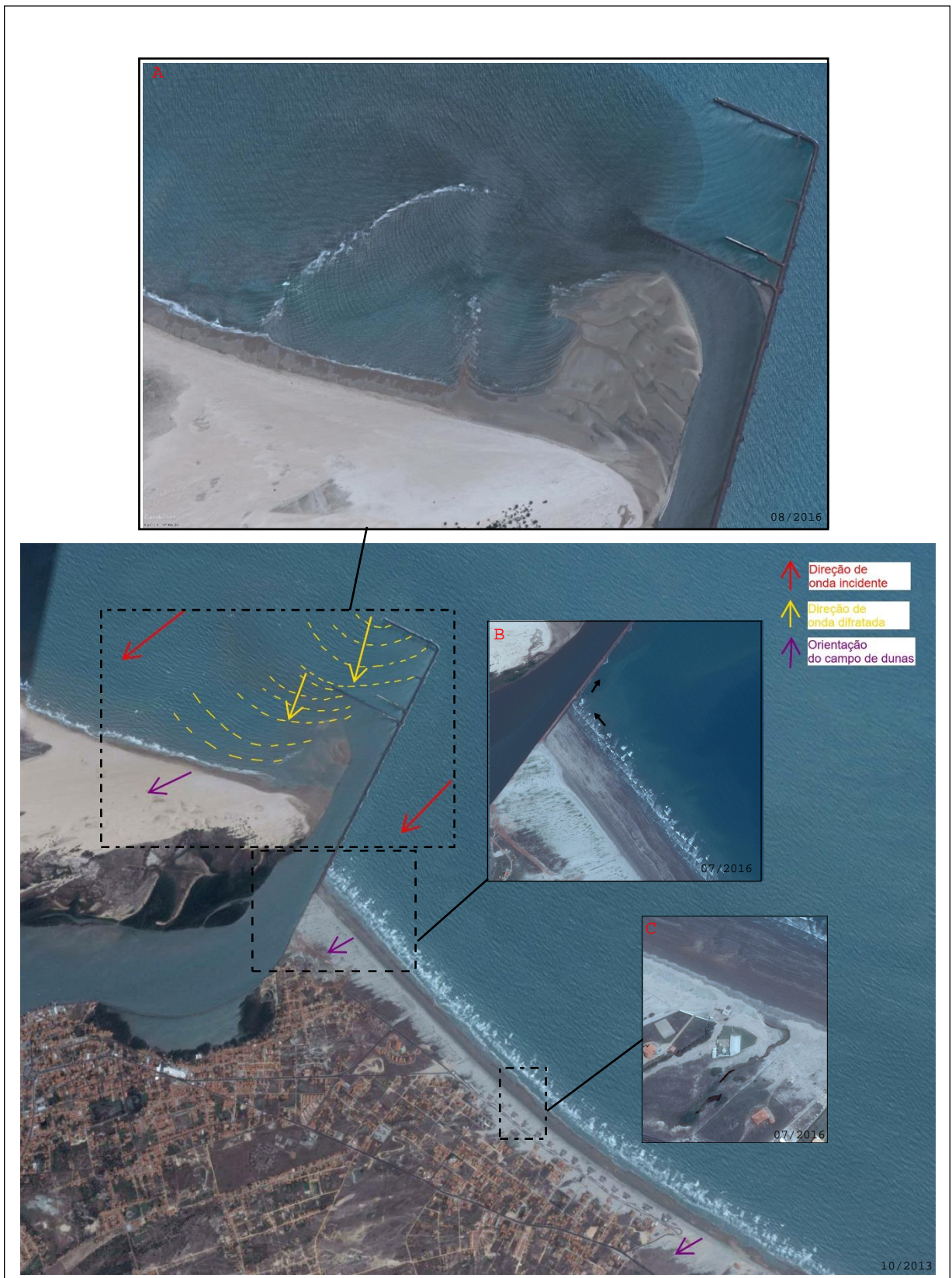


Figura 31. Geoindicadores da deriva litorânea da área de estudo. Detalhe em A: direção de mergulho do campo de dunas para SW; ondulações incidentes de NE interrompidas pelo molhe; processo de difração de ondas a oeste do molhe; e o banco de areia formado na foz do rio Igarauçu. Detalhe em B: Zona de acreção a leste do molhe e pluma de sedimentos contornando a estrutura em direção ao oceano. Detalhe em C: pequenos cursos d'água orientados para NW. Fonte: *Google Earth*.



## 9. CONCLUSÃO

A partir da discussão, conclui-se que:

- O clima de ondas típico, em mar profundo, para a região de Atalaia varia entre as direção N e NNW, sendo que ondas de NNE, NE, ENE e E representam 90% das ocorrências, o  $T_p$  médio é de 8,5 s a 10,5 s, e a  $H_s$  de maior frequência varia de 0,6 m a 0,85 m.
- A maré astronômica é do tipo mesomaré com níveis médios na baixa-mar, meia-maré e preamar de 0 m, 1,46 m e 3,0 m, respectivamente.
- A maré meteorológica varia entre - 0,13 m e 0,18 m, com média de ocorrência em 0,05 m.
- O setor a leste do molhe de Luís Correia apresenta sedimentos com textura de areia fina a muito fina, sendo que, do perfil 01 para o 03, há a tendência dos grãos tornarem-se mais finos e melhor selecionados.
- O perfil 01 é o mais amplo e de menor declividade do setor e o transporte sedimentar líquido anual é para NW.
- O perfil 02 se mostrou mais influenciado pelas correntes de origem NNE e o  $Q_a$  calculado é para SE.
- O perfil 03 apresenta o maior FME dentre os perfis a leste da estrutura e a deriva líquida de sedimentos resulta para NW.
- Os geoindicadores da deriva litorânea para o setor a leste do molhe são representados pelos (a) campos de dunas mergulhando para SW; (b) pequenos cursos d'água na zona costeira orientados a NW; (c) a área em acreção que se forma a barlar do molhe de Luís Correia; (d) interrupção da incidência regular das ondas ao alcançar os molhes; e (e) predominância do registro de ondas orientadas para SW.
- O setor oeste apresenta características de praia reflectiva e as ondulações, em geral, alcançam o perfil com alto fluxo de energia.
- O perfil 04, dentre todos, é o mais influenciado pelo molhe, que diminui consideravelmente o FME e modifica a direção incidente das ondas.
- O perfil 05 apresentou o mais alto FME dentre todos e se mostrou afetado pelo molhe para ondas de origem E.

- Os geoindicadores do setor oeste são evidenciados pela (a) direção de crescimento do campo de dunas costeiras mergulhando para SW; (b) desenvolvimento do banco arenoso no interior do porto; (c) inversão da deriva litorânea causada pelo efeito de refração das ondulações pelo molhe; e (d) interrupção da incidência regular das ondas no interior dos molhes.
- O molhe de Luís Correia afeta diretamente o balanço de sedimentos do litoral de Atalaia e adjacente ao obstruir a deriva litorânea proveniente de NW e causar a inversão da deriva litorânea para SE no perfil 04, gerando o aprisionando os sedimentos na foz do rio Igarauçu.
- Dentre as três formulações utilizadas pelo SMC-Brasil, as equações de Kamphuis (1991) e CERC (1984) apresentaram os resultados mais congruentes com os geoindicadores identificados.
- Os resultados da modelagem numérica utilizando o SMC-Brasil permitiu estimar a taxa líquida de transporte de sedimentos da praia de Atalaia-PI e identificar as possíveis variáveis que atuam na dinâmica sedimentar litorânea. A ferramenta pode ser utilizada, desde que em conjunto com métodos validadores, na prevenção ou caracterização dos impactos decorrentes de obras de proteção costeiras.

## 10. REFERÊNCIAS

- Baptista, E.M.C. 2004. *Caracterização e importância ecológica e econômica dos recifes da zona costeira do estado do Piauí*. Teresina-PI. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí.
- Baptista, E.M.C. & Filho, N.O.H. 2014. Mapa geológico da planície costeira adjacente aos recifes de arenito do litoral do estado do Piauí. *Revista Geonorte*, Edição Especial 4, v. 10, n. 1, p.105-109.
- Bayram, A.; Larson, M. & Hanson, H. 2007. A new formula for the total longshore sediment transport rate. *Coastal Engineering*, v. 540, n. 9, p. 700-710.
- Berger, A. R.; Iams, W. J. 1996. *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam, Balkema, 477 p.

- Bird, E.C.F. 1996. *Beach Management*. New York: John Wiley & Sons, 281 p.
- Bittencourt, A.C.S.P; Dominguez, M.L.J. & Filho, O.M. 1990. Variações texturais induzidas pelo vento nos sedimentos da face da praia (praia de Atalaia, Piauí). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 20, p. 201-207.
- Bittencourt, A.C.S.P; Dominguez, M.L.J.; Martin, L. & Silva, I.R. 2005. *Marine Geology*, 219: 219 – 234.
- CERC. Coastal Engineering Research Center. 1987. Shore Protection Manual. US Army Corps of Engineers, Washington DC, Vol. I, 597 p.
- Cavalcanti, A.P.B. 2004. Análise integrada das unidades paisagísticas na planície deltaica do Rio Parnaíba – Piauí/Maranhão. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 03, n. 6.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2006. *Mapa Geológico do Estado do Piauí*. Divisão de Geoprocessamento.
- Davies. J.L. 1980. *Geographical Variation in Coastal Development*. Londres: Longman,
- El-Robrini. L.A. & RANIERI, M. 2016. Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina - Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 16, n. 2, p.133-146.
- Gurgel, D.F. 2017. *Modelagem do Transporte de Sedimentos na Zona Costeira da Barreira do Inferno – RN, Através do SMC-Brasil*. Natal – RN. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande Do Norte.
- IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1998. *Plano de gestão e diagnóstico geoambiental e socioeconômico da APA do Delta do Parnaíba*. Fortaleza-CE, IEPS/UECE, 101 p.
- King, C.A.M. 1972. *Beaches and coast*. London, Edward Arnold, 2.ed. 570 p.
- Koch, Z. 2018. Construção do Porto em Luís Correia (PI) - Região Hidrográfica Parnaíba. *Onde está a Água no Brasil?* EBC, 2018. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/especiais-agua/agua-no-brasil/>> Acesso em: 12 de nov. de 2018.
- Komar, P.D. 1976. *Beach processes and sedimentation*. New Jersey, Prentice-Hall, 429 p.



- Lima, F.C.S. 2005. *Condicionantes geoambientais e alternativas de sustentabilidade – Macapá/Luís Correia-PI*. Teresina-PI. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí.
- 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*. Natal – RN. Tese de Doutorado, Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte.
- Marengo, J.A. 2007. *Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI*. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v.1, 214 p.
- Medeiros, E.C.S. 2017. *Percepção ambiental da erosão costeira: acompanhamento do antes, durante e depois da implantação de obras emergenciais no litoral do nordeste do Brasil*. Fortaleza-CE. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará.
- Monteiro, G.M.M. & Carvalho, E.M.B. 2014. A reestruturação da orla da praia de atalaia, luís correia – PI e sua relação com a geomorfologia. *Revista Geonorte*, Edição Especial 4, v.10, n.1, p.1-6.
- Oliveira, P.F.P. 2014. *Utilização de tradescantia pallida como bioindicador de contaminação ambiental ao longo do Rio Igarçu, Piauí*. Recife. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco.
- Oliveira, M.L.; Valença, L.M.M.; Barreto, E.P. & Manso, V.A.V. 2018. In: Dalinghaus, C.; Almeida, L.R.; González, M. & Klein, A.H.F. (Org.). *Sistema de modelagem costeira do Brasil: estudos de caso*. Florianópolis, Editora da UFSC, p. 127-146.
- Paula, J.E.A. 2013. *Dinâmica morfológica da planície costeira do estado do Piauí: evolução, comportamento dos processos costeiros e a variação da linha de costa*. Fortaleza-CE, 242p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará.
- Paula, J.E.A.; Morais, J.O., Baptista, E.M.C. & Pinheiro, L.S. 2016. Piauí Beach Systems. In Short, A.D. & Klein, A.H.F. (eds.). *Brazilian Beach Systems*. Flórida, Coastal Research Library 17, p. 153-174.
- Pianca, C.; Mazzini, P.L.F. & Siegle, E. 2010. Brazilian Offshore Wave Climate Based on NWW3 reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, São Paulo, v. 58, n. 1, p. 53-70.

- Queiroz, M.A. 2003. Determinação do Índice de Sensibilidade Litoral Trecho Pecém – Mundaú - CE. Fortaleza-CE, 243p. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,
- Rocha, G.C. 2015. *Propostas para a elaboração de plano de gestão para a praia de Macapá – Luís Correia – PI*. Rio Claro-SP. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista.
- Rocha, G.C. 2016. Relação atmosfera e dinâmica sedimentar nas praias de Macapá e Maramar – Luís Correia - Piauí – Brasil. *Caderno de Geografia*, v. 26, n. 2.
- Rocha, G.C. & Tavares, A.C. 2017. Levantamento de informações socioambientais na comunidade da praia de Macapá-Luís Correia-Piauí-Brasil: contribuições ao gerenciamento costeiro participativo. *Caderno de Geografia*, Belo Horizonte, MG, Pontifícia Universidade Católica de Belo Horizonte, v. 27, n. 1, p. 67-83.
- Rodrigues, T.K., Barreto, S.A. & Souza E.S. 2017. Expansão Urbana e Dinâmica Marinha da Praia da Costa no Município de Barra dos Coqueiros – Sergipe. *In: I CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA*, 2017, Campinas - SP.
- SEP. Secretaria Especial dos Portos. 2012. *Nota técnica 2: Porto de Luís Correia*. Brasília, DF. 11 p.
- Silva, L.A.O. 2011. *Distribuição da Matéria Orgânica em Sedimentos da Planície Flúviomarinha do Delta do Parnaíba, PI*. Bom Jesus-PI, 42p. Monografia - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Piauí.
- Silva, M.M.M. 2013. *O turismo nas ondas do litoral e das políticas públicas do Piauí*. Belo Horizonte-MG. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais. 216 p.
- Silva, A.G.A.; Stattegger, K.; Vital, H. & Schwarzer, K. 2019. Coastline change and offshore suspended sediment dynamics in a naturally developing delta (Parnaíba Delta, NE Brazil). *Marine Geology*, 410: 1–15.
- SMC. Sistema de Modelagem Costeira. [2014]. *Ondas - Documento Temático*. Cantabria. Universidade da Cantabria, [s.n.] 161 p.

Souza, S.O. & Vale, C.C. 2016. Vulnerabilidade ambiental da planície costeira de Caravelas (BA) como subsídio ao ordenamento ambiental. *Soc. & Nat.*, Uberlândia, v. 28 n. 1, p. 147-160.

ANEXO A – CASOS DE ONDAS PROPAGADOS NA MODELAGEM NUMÉRICA

Caso	Hs	Tp	direção
1	2.45	16.46	10.22
2	0.39	8.12	14.62
3	0.76	12.13	130.38
4	01.09	18.48	11.97
5	0.59	2.15	94.42
6	1.54	9.28	10.49
7	0.92	12.43	57.55
8	0.71	11.89	328.22
9	0.41	8.57	85.21
10	0.91	4.40	38.55
11	0.81	17.67	91.40
12	1.73	15.37	18.70
13	0.56	14.83	18.01
14	0.96	7.36	349.11
15	0.29	1.98	139.65
16	1.13	13.21	7.73
17	1.00	7.58	79.37
18	0.43	3.22	1.29
19	0.47	7.15	321.87
20	0.36	04.07	51.56
21	0.38	7.35	132.95
22	01.04	8.85	31.09
23	0.49	10.53	48.07
24	1.38	11.70	45.62
25	0.73	10.86	6.80
26	0.70	5.98	106.31
27	0.64	12.36	92.14
28	0.93	16.14	40.93
29	0.66	07.01	56.06
30	02.05	17.67	10.27
31	0.69	1.50	128.02
32	1.33	15.86	25.85

<b>Caso</b>	<b>Hs</b>	<b>Tp</b>	<b>direção</b>
33	0.81	9.44	107.80
34	1.81	11.96	10.70
35	0.81	4.19	72.65
36	0.74	6.45	15.57
37	0.41	5.13	83.77
38	2.14	14.26	12.64
39	0.59	4.24	334.04
40	0.74	9.88	71.57
41	0.41	4.28	118.07
42	0.94	15.83	356.28
43	0.84	13.03	27.76
44	1.14	10.04	3.68
45	0.89	15.11	74.16
46	0.58	8.74	347.04
47	1.47	12.86	17.66
48	0.74	17.67	19.58
49	1.22	8.83	59.07
50	0.71	8.54	138.52
51	1.42	19.51	8.87
52	0.58	3.55	27.69
53	0.81	8.92	325.61
54	0.70	8.99	30.60
55	0.94	13.13	104.68
56	1.14	13.81	40.27
57	0.98	11.73	344.95
58	1.49	16.14	1.59
59	0.39	6.52	37.80
60	0.93	4.00	98.12
61	0.70	13.37	354.50
62	0.52	06.04	355.31
63	0.99	6.94	50.79
64	0.45	11.74	16.63
65	0.36	6.78	106.41
66	1.72	17.95	8.71

<b>Caso</b>	<b>Hs</b>	<b>Tp</b>	<b>direção</b>
67	1.14	11.42	27.60
68	0.67	07.07	82.23
69	0.59	12.22	66.48
70	0.31	6.44	63.18
71	0.70	4.17	125.86
72	0.95	10.72	87.80
73	0.94	9.79	52.74
74	0.59	2.21	69.46
75	0.55	8.60	116.26
76	01.05	15.32	19.41
77	0.89	8.75	10.38
78	0.91	7.41	126.04
79	0.67	3.97	50.40
80	1.41	11.92	356.48
81	0.75	11.25	42.14
82	1.27	8.25	18.41
83	0.78	14.46	51.99
84	0.46	8.62	61.98
85	0.47	5.48	17.99
86	0.57	9.71	314.88
87	0.92	17.56	70.37
88	01.07	4.42	66.92
89	0.58	10.13	97.44
90	0.66	5.87	36.35
91	01.06	6.84	20.05
92	0.83	9.63	346.65
93	0.89	10.62	24.47
94	1.38	10.11	27.73
95	0.45	10.26	359.83
96	0.68	6.79	339.21
97	0.79	2.55	110.42
98	1.14	17.41	30.79
99	0.81	14.69	11.54
100	0.67	4.38	91.12

<b>Caso</b>	<b>Hs</b>	<b>Tp</b>	<b>direção</b>
101	0.63	8.40	8.90
102	1.36	14.20	359.37
103	0.56	5.27	66.54
104	1.55	14.64	31.88
105	0.55	06.02	123.90
106	0.69	9.23	51.64
107	1.12	11.44	48.62
108	0.85	7.25	32.62
109	0.59	10.67	140.21
110	0.51	2.34	114.55
111	1.55	16.83	21.73
112	0.85	7.44	96.50
113	0.62	10.80	118.34