

CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS DAS PRAIAS DO CABO BRANCO E SEIXAS, JOÃO PESSOA (PB)

Nadja Cecília de Freitas Silva ¹
Larissa Fernandes de Lavor ²
Jefferson da Costa Silva ³
Maria Cecília Silva Souza ⁴
Saulo Roberto de Oliveira Vital ⁵
João Victor Araújo da Silva ⁶
Luana Ramos de Oliveira ⁷
Christianne Maria da Silva Moura ⁸

INTRODUÇÃO

A zona costeira configura uma das áreas de maior velocidade de alterações morfológicas naturais do planeta. Nesse cenário, as ondas marinhas atuam de maneira significativa desempenhando um papel fundamental na modelagem dessas praias, por meio do transporte de energia de águas profundas para rasas, elas influenciam diretamente as feições costeiras possibilitando que as praias tenham variações de suas formas em diferentes escalas, temporais e espaciais. Com isso, as formas das praias refletem a capacidade do clima de ondas em redistribuir sedimentos ao longo da costa. De acordo com Almeida *et al.*, (2015), parâmetros como altura de onda, período e direção afetam a costa através da quebra de ondas que podem contribuir com a erosão da praia e com a formação de correntes longitudinais.

Segundo Almeida *et al.*, (2015) tais parâmetros são aplicados em projetos de mitigação de processos erosivos instalados em praias urbanas, na condução de operações seguras de navegação, em projetos portuários e de plataformas petrolíferas, entre outras obras de engenharia; além de apoio à gestão costeira uma vez que é comum a existência de conflitos entre os aspectos de conservação/preservação ambiental e os interesses dos investidores

¹ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, nadja.freitas@academico.ufpb.br;

² Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS, larilavor@gmail.com;

³ Graduado, Superintendência de Administração do Meio Ambiente - SUDEMA, jeffersonsilvageo@gmail.com;

⁴ Pós-Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, ceciliasilvalegat@gmail.com;

⁵ Doutor em Geociências, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, saulo.vital@academico.ufpb.br;

⁶ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, joavictor3gb@gmail.com;

⁷ Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, lro@academico.ufpb.br.

⁸ Professora orientadora: Doutora em Geociências, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, cmm_reis@yahoo.com.

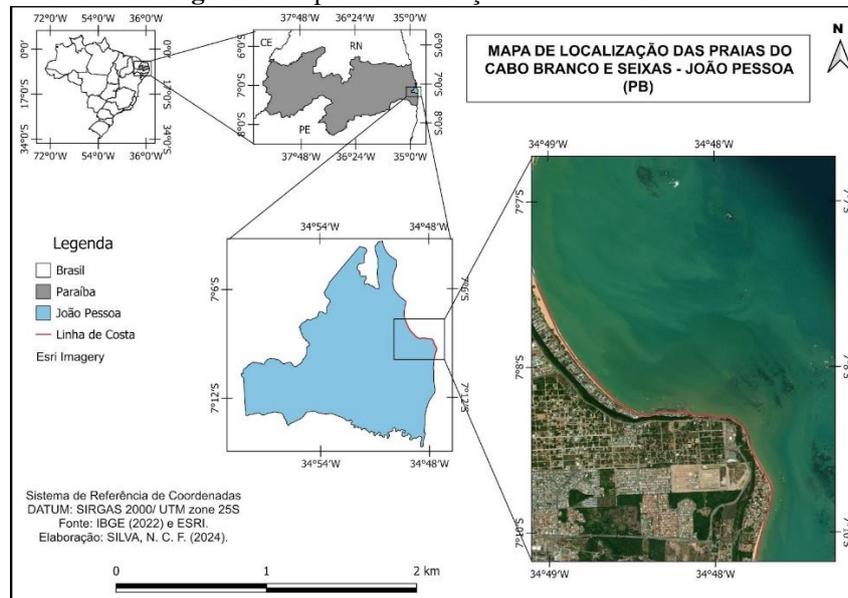
privados e do poder público local na apropriação da zona costeira, por meio da privatização da região adjacente à linha de costa e/ou implantação de equipamentos urbanos públicos.

Nesse sentido, justifica-se a realização de estudos sobre a dinâmica costeira, sobretudo na caracterização do clima de ondas que alcança a linha de costa e interage com as feições naturais ou antrópicas ali instaladas. Além disso, vale ressaltar que para que esse ambiente siga seu ciclo dinâmico, em suas diversas escalas espacial-temporal, as praias precisam de espaço à sua retaguarda, onde possam ocorrer a mudança de suas formas, bem como a sua migração de local. Com isso, o presente estudo tem como objetivo principal apresentar a caracterização do clima de ondas da localidade analisada.

ÁREA DE ESTUDO

No tocante à área de estudo em questão, a mesma corresponde às praias do Cabo Branco e Seixas (figura 1), as quais estão situadas no município de João Pessoa, porção central do litoral do Estado da Paraíba. O setor costeiro da área em estudo apresenta uma morfologia onde se destacam dois domínios geomorfológicos distintos, os Baixos Planaltos Costeiros e a Baixada Litorânea. Os Baixos Planaltos Costeiros ou Tabuleiros Costeiros são sustentados pelos sedimentos da Formação Barreiras e é a unidade predominante no setor costeiro Sul da Paraíba. No geral, apresentam-se com superfícies aplainadas, suavemente inclinadas para o mar. São interrompidos abruptamente, a Leste, pelas falésias marinhas “vivas” (ativas), a exemplo das falésias da barreira do Cabo Branco, ou “mortas” (inativas) como ocorre na retaguarda da enseada do Cabo Branco. A Baixada Litorânea corresponde aos terrenos planos de baixa altitude formados por sedimentos depositados no Quaternário.

Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo.



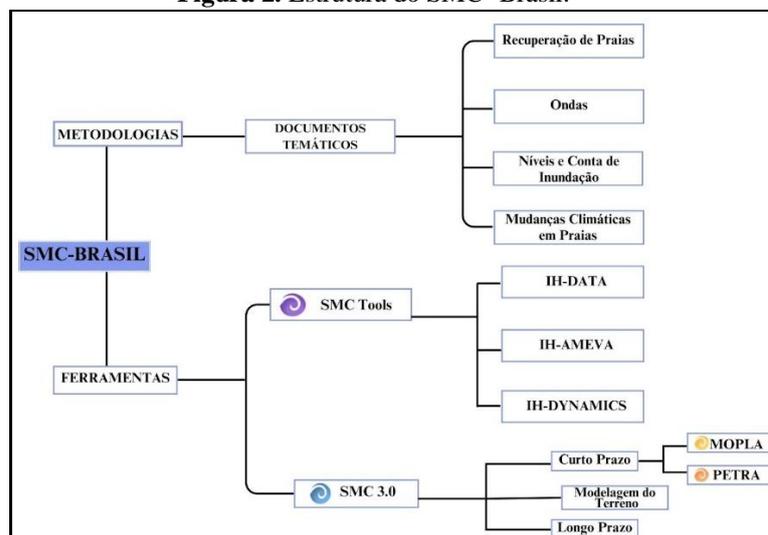
Fonte: Autores (2024).

METODOLOGIA

Para analisar o clima de ondas das praias do Cabo Branco e Seixas foi utilizado o Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil), que corresponde a uma ferramenta computacional que combina metodologias de trabalho, bases de dados de cartas náuticas e modelos numéricos orientados para o estudo de problemas na zona costeira. O mesmo foi inicialmente desenvolvido pelo Instituto Hidráulico Ambiental da Cantábria (IH Cantábria) da Universidade da Cantábria, com o apoio da Diretoria Geral de Costas do Ministério do Meio Ambiente da Espanha. Posteriormente foi adaptado e transferido para a administração pública brasileira através do projeto intitulado “Transferência de metodologias e ferramentas de apoio à gestão do litoral brasileiro”, com a colaboração do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), entre outros (IH-Cantabria, 2013a, p. 18).

A metodologia usada consiste em duas etapas principais: (I) A primeira etapa correspondeu ao estudo e capacitação no uso das ferramentas do SMC-Brasil a partir dos manuais do usuário e dos manuais de referência do Sistema. (II) Em sequência, utilizando o SMC-Brasil, realizou-se a análise do clima de ondas em águas intermediárias visando obter dados que viabilizem o uso das ferramentas e aplicação das metodologias estabelecidas nos manuais do SMC-Brasil (figura 2).

Figura 2. Estrutura do SMC- Brasil.



Fonte: Autores (2024).

As ferramentas do SMC-Brasil podem ser divididas em duas: SMC Tools e SMC 3.0.

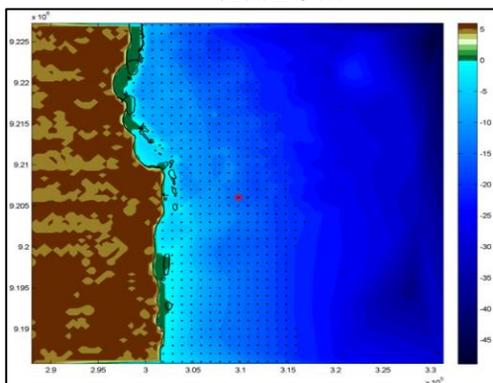
SMC Tools - abrange uma base de dados de batimetria, ondas e nível do mar (IH-DATA); ainda possui duas ferramentas de processamento de dados integradas, uma destinada a realizar análise estatística das variáveis ambientais (IH-AMEVA), e a outra permite realizar

a transferência de uma série de ondas a partir de profundidades indefinidas para pontos na costa (IH-DYNAMICS). Além disso, é através dele que se realizam os sub-módulos de pré-processo e pós-processo (IH-Cantabria, 2013b, p. 20).

Pré-processo: proporciona os dados de entrada necessários para os modelos numéricos de propagação do SMC 3.0, como por exemplo, a seleção da área de estudo, a utilização de dados batimétricos digitalizados das cartas náuticas do litoral brasileiro, que além destes, foi necessário realizar uma batimetria de detalhe ajustada, isto é, ponto a ponto, uma vez que, não há batimetria de detalhe disponibilizada para a área de estudo em questão. Posteriormente realizou-se a seleção do ponto DOW (*Downscaled Ocean Waves*), que, por sua vez, correspondeu a um conjunto de dados característico de ondas, e a partir dele foi possível reconstituir a série completa dos estados de mar (condições médias “estacionárias”, das ondas durante um intervalo de tempo, 1 hora, por exemplo) para qualquer ponto próximo à costa (Brasil, 2018).

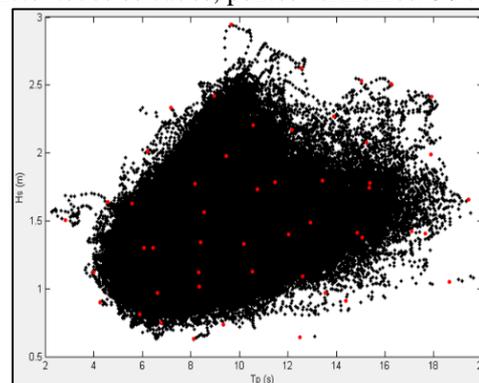
Além disso, para a realização da propagação de onda criou-se duas malhas, uma para cada direção dominante, nas quais estão acopladas outras duas malhas na parte interna, com maior número de divisões que possibilita um resultado com maior detalhe para a área das praias. Após a criação das malhas, foi necessário escolher novamente um ponto DOW, para a criação dos casos mais representativos de onda, e o mesmo deve estar dentro de ambas malhas gerais. Neste estudo, o ponto DOW selecionado encontra-se a uma profundidade de 14.528 m em águas intermediárias, localizado nas coordenadas UTM 309751 m E e 9206052 m S, situado na zona UTM 25S (figura 3). No tocante à propagação dos casos, com o intuito de diminuir o esforço computacional e também filtrar os casos mais significativos, garantindo que todos os possíveis estados de mar fossem representados, foi utilizado um algoritmo de seleção por máxima dissimilaridade (MaxDiss), este pode ser observado na figura 4.

Figura 3. Zona de estudo: batimetria e pontos de onda DOW.



Fonte: SMC - Tools; Autores (2024).

Figura 4. Seleção utilizando o MaxDiss - Pontos preto: todos os dados; pontos vermelhos: 50 casos.



Fonte: SMC - Tools; Autores (2024).

Para os 50 casos selecionados foram considerados dois estados de maré diferentes para gerar as simulações: maré baixa e preamar, por meio dessas simulações, e sabendo as séries temporais das marés, pode-se reconstruir as características das ondas para qualquer ponto inserido na malha de propagação.

Pós-processo: compõe parte do módulo IH-DYNAMICS, e realiza a propagação da série temporal de ondas a partir de um ponto DOW até o ponto de quebra de onda em um perfil de praia. Além disso, permite avaliar o transporte litorâneo de sedimento na costa, a direção do fluxo médio de energia das ondas próximo à praia, entre outros.

SMC 3.0 - compreende uma série de modelos numéricos, que possibilitam um suporte prático à correta aplicação da metodologia de trabalho proposta nos Documentos Temáticos (Recuperação de Praias; Ondas; Níveis e Cota de Inundação; Mudanças climáticas em praias e Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação do Brasil), que por sua vez, tem como finalidade apresentar e detalhar metodologias de projeto para usos variados no estudo da costa, incluindo as metodologias para o pré-tratamento de dados de dinâmicas marinhas (ondas e nível do mar).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os dados obtidos através do SMC-Brasil para o ponto DOW selecionado na área de estudo em questão, para o período de análise entre os anos de 1948 e 2008, constatou-se que duas direções de ondas têm comportamento predominante, são elas: provenientes de leste (E) e principalmente de leste-sudeste (ESE), que em conjunto correspondem a mais de 93,7% das ondas que incidem no ponto em questão. No entanto, também incidem sobre esse ponto ondas de nordeste (NE), leste-nordeste (ENE) e sudeste (SE), que totalizam os 6,3% restantes, tendo a primeira direção menor incidência de ondas, com apenas 0,05%, como representados na tabela 1.

Tabela 1. Probabilidade de ocorrência de cada direção de ondas, e suas respectivas alturas e períodos, para o ponto DOW selecionado, calculado no módulo IH-AMEVA.

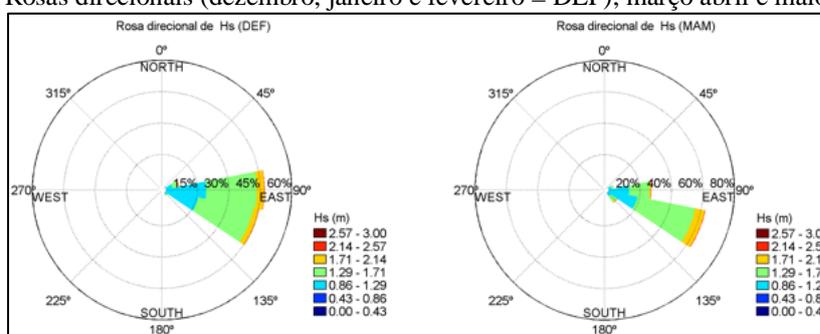
Direção	Probabilidade (%)	Hs _{50%} (m)	Hs ₁₂ (m)	Tp _{50%} (s)	Tp ₁₂ (s)
NE	0.05	1.16	1.56	10.17	19.50
ENE	2.42	1.28	2.40	11.12	18.74
E	23.81	1.37	2.38	8.72	17.32
ESE	69.93	1.48	2.45	7.86	13.96
SE	3.79	1.41	2.09	6.37	10.50

Fonte: Autores (2024).

Na tabela 1 também é possível observar as condições medianas, nas quais a altura de onda ($H_{s50\%}$) apresenta variação entre 1,16 e 1,41 m, com período de pico ($T_{p50\%}$) variando entre 6,37 e 10 s. Considerando as condições de tempestade, tem-se que as ondas (H_{s12}) variam entre 1,56 e 2,09 m e os períodos de pico (T_{p12}) apresentam variação entre 10,5 e 19,5 s. Além disso, as rosas direcionais de ondas para a área de estudo demonstram a dominância da direção e altura das ondas significativas (H_s) para os períodos compreendidos nas estações.

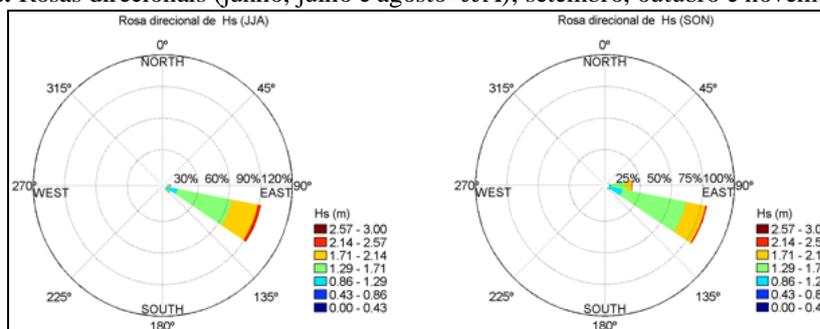
Com isso, viu-se que há uma predominância de ondas de leste-sudeste (ESE), tendo nos meses de junho, julho e agosto, ondas acima de 2,14 metros. Com exceção dos meses dezembro, janeiro e fevereiro, onde as ondas significativas provenientes de leste (E) apresentam uma maior incidência, como é possível visualizar nas figuras 5 e 6.

Figura 5. Rosas direcionais (dezembro, janeiro e fevereiro = DEF); março, abril e maio = MAM)



Fonte: Relatório gerado pelo SMC-Brasil (2024).

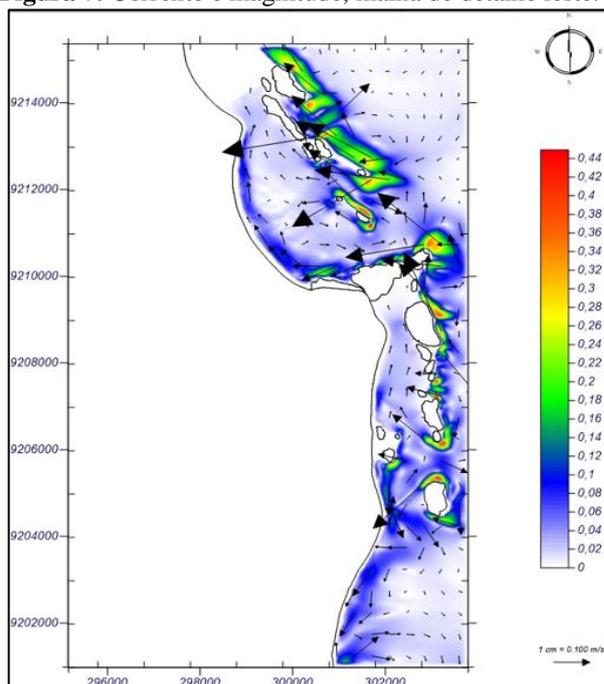
Figura 6. Rosas direcionais (junho, julho e agosto = JJA); setembro, outubro e novembro = SON)



Fonte: Relatório gerado pelo SMC-Brasil (2024).

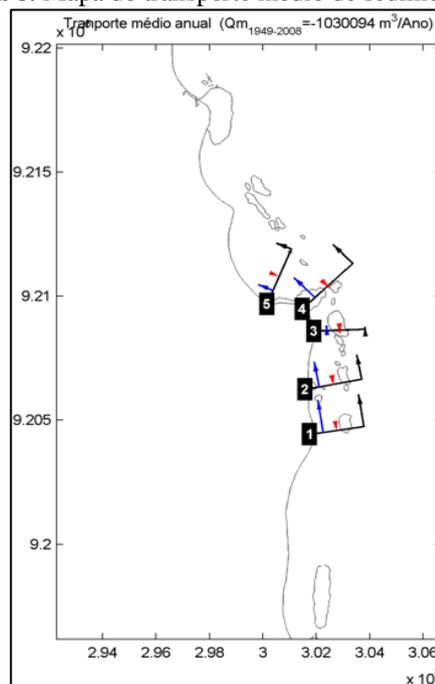
Segundo Muehe (1995), a angulosidade de incidência das correntes é relevante no transporte de sedimentos e na deposição, pois este fator determina sua velocidade e, portanto, a trajetória percorrida pelos sedimentos. As correntes de deriva litorânea na costa do Estado da Paraíba ocorrem no sentido de sul para norte, essa condição proporciona a formação de áreas com tendência natural à erosão e outras com tendência à acumulação de sedimentos. O comportamento das correntes e transporte de sedimentos médio anual, podem ser vistos nas figuras 7 e 8, respectivamente.

Figura 7. Corrente e magnitude, malha de detalhe leste.



Fonte: Relatório gerado pelo SMC-Brasil (2024).

Figura 8. Mapa do transporte médio de sedimentos



Fonte: Relatório gerado pelo SMC-Brasil (2024).

Conforme resultados apresentados nas figuras 7 e 8, foi viável analisar o transporte de sedimentos na área de estudo representado por setas que indicam o comportamento do transporte anual considerando os cinco perfis perpendiculares à linha de costa numerados de sul para norte, onde a seta preta indica a resultante (transporte médio bruto), a seta vermelha indica o transporte médio positivo (sul) e a seta azul se refere ao transporte médio negativo (norte).

Com isso, percebeu-se que houve um transporte médio de sedimentos maior nos perfis 1, 2 e 4 em direção ao norte, ocorrendo de forma menos significativa no perfil 5, mas continua majoritário no sentido norte. Já no perfil 3 o transporte médio de sedimento ocorre em direção ao sul, como é pode ser observado na figura 8, esse comportamento pode ser explicado, provavelmente, pela presença de recifes de corais, que funcionam como um obstáculo contribuindo para a difração, isto é, há uma transferência lateral de energia, produzindo mudanças na altura e direção da onda, e conseqüentemente no sentido do transporte de sedimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho aplicou-se o SMC-Brasil com o intuito de compreender o comportamento do clima de ondas, o sistema de correntes e o transporte sedimentar em um trecho do litoral de João Pessoa-PB, especificamente nas praias do Cabo Branco e Seixas. O mesmo inclui uma base de dados de 60 anos (dados horários) para o período de 1948 a 2008,

além de metodologias e ferramentas que permitem analisar as dinâmicas e sua resposta na costa a curto, médio e longo prazo, contribuindo para um maior entendimento dos processos atuantes na área de estudo em questão.

Como resultado da análise, foi possível observar uma incidência significativa de ondas provenientes de leste (E) e principalmente de leste-sudeste (ESE), que em conjunto correspondem a mais de 93,7% das ondas que incidem no ponto analisado. Além disso, considerando o transporte médio de sedimentos anual, viu-se que na maioria dos perfis traçados o sentido do transporte sedimentar segue as correntes de deriva litorânea na costa do Estado (sul para norte).

Vale ressaltar que as ondas que se propagam até a costa, ao longo do seu trajeto, experimentam alguns fenômenos, como a difração e refração por exemplo, que neste caso estão associadas a presença de recifes ao decorrer do trecho do litoral em questão e modificam o comportamento da onda. Salienta-se, ainda, o uso do SMC-Brasil, como uma ferramenta relevante para avaliação da dinâmica marinha e seus impactos relacionados à estabilidade das praias.

Palavras-chave: Dinâmica Costeira; SMC-Brasil, Clima de ondas, Erosão Costeira, Transporte Sedimentar.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. R. DE; AMARO, V.; MARCELINO, A. M.T.; SCUDELARI, A.C. **Avaliação do clima de ondas da praia de Ponta Negra (RN, Brasil) através do uso do SMC-Brasil e sua contribuição à gestão costeira.** Revista de Gestão Costeira Integrada, 15 (2): 135-151. 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC-Brasil: Documento Temático – Ondas.** Brasília: MMA, 2018.
- IH-CANTABRIA. **SMC 3.0: Manual do Usuário.** IHCANTABRIA, Universidad de Cantabria/UFSC/IO-USP. p.18. 2013a.
- IH-CANTABRIA. **SMC Tools: Manual do Usuário.** IHCANTABRIA, Universidad de Cantabria/UFSC/IO-USP. p.20. 2013b.
- MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: Guerra, A. J. T. Cunha, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 2a edição. Ed. Bertrand Brasil. 253-308p. 1995.