



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCO E DESASTRE NA
AMAZÔNIA**

LOURY BASTOS MELLO

**CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: PROPOSTA DE
ORDENAMENTO TERRITORIAL FRENTE AOS PROCESSOS
EROSIVOS NA ORLA MARÍTIMA DAS PRAIAS DO CRISPIM E DE
MARUDÁ NO MUNICÍPIO DE MARAPANIM-PA.**

**Belém – PA
2018**

LOURY BASTOS MELLO

**CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: PROPOSTA DE
ORDENAMENTO TERRITORIAL FRENTE AOS PROCESSOS
EROSIVOS NA ORLA MARÍTIMA DAS PRAIAS DO CRISPIM E DE
MARUDÁ NO MUNICÍPIO DE MARAPANIM-PA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação – (*Stricto Sensu*) Mestrado Profissional em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Gestão Territorial em Zonas Costeiras.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Fabian Szlafsztein

**Belém – PA
2018**

Ficha Biblioteca IG

LOURY BASTOS MELLO

**CARTA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO: PROPOSTA DE ORDENAMENTO
TERRITORIAL FRENTE AOS PROCESSOS EROSIVOS NA ORLA MARÍTIMA
DAS PRAIAS DO CRISPIM E DE MARUDÁ NO MUNICÍPIO DE MARAPANIM-PA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação (*Stricto Sensu*) Mestrado Profissional em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais.

Data de aprovação: 07/02/2018

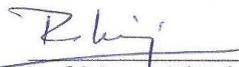
Banca Examinadora:



Prof. Claudio Fabian Szlafsztajn – Orientador
Doutor em Ciências Naturais
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, CAU, Alemanha.



Prof.ª Milena Marília Nogueira de Andrade – Membro
Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará



Prof. Maamar El Robrini – Avaliador Externo
Doutor em Fisiologia dos Oceanos e Litorais
Université de la Sorbonne Paris IV, PARIS IV, França.



Prof.ª Aline Maria Meiguins de Lima – Membro
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Claudio Szlafsztain, pela paciência ao longo desse período de dois anos, pela paciência e profissionalismo, mesmo distante na reta final, nunca me deixou desamparada. Suas correções impecavelmente rigorosas e intermináveis, possibilitou o excepcional desenvolvimento desta dissertação.

Ao Marcelo Moreno, pelas campanhas de campo realizadas mensalmente e pelo grande esforço para a finalização de um trabalho técnico de qualidade.

Aos estagiários do LGA (Laboratório Geologia Marinha e Ambiental), que auxiliaram nas campanhas de campo para aquisição dos dados de perfis de praia, vocês foram essenciais.

Agradeço a CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pela licença para a elaboração da dissertação e campanhas de campo, e meus chefes Jorge Pimentel, Edgar Shinzato e Sandra Silva por acreditarem no potencial da pesquisa sugerida por mim. OBRIGADA PELA CONFIANÇA!!

Agradeço ao meu companheiro, Valmor Freddo, que aturou minhas crises nesse período de dois anos, que esteve sempre no meu lado me incentivando e me dando força para finalizar esse ciclo. Por fazer parte da minha história, e deixar meu dia mais leve, sem você não seria da mesma forma. OBRIGADA AMOR!

A minha família, não poderia deixar de agradecer, que mesmo distante, e algumas poucas visitas ao longo do ano, foi quem me deu a base para que eu chegasse até aqui. Agradeço a minha mãe, Arlinda Bastos, por toda força que sempre me deu e por acreditar no meu potencial. A minha vó, Eliza Silva, que sempre investiu a minha educação, não seria possível sem você. E minha irmã, Monique Mello, que sempre foi meu espelho e minha amiga, obrigada por todo exemplo de vida.

Aos meus amigos, seria difícil citar todos, mas em especial Rodolfo de Paula, Luiz Otávio e Lara Carvalho, são essenciais na minha vida, mas em especial nesses dois anos me deram todo o suporte que precisei para continuar firme nessa luta diária! Amo vocês! Obrigada por tudo!

E não poderia deixar de citar meus filhotes, Lina e Chico, que apesar de toda bagunça, foram os mais companheiros nas intermináveis tardes e madrugadas na frente do notebook escrevendo a dissertação.

RESUMO

Os desastres naturais vêm aumentando consideravelmente nas últimas décadas, e conseqüentemente, o número de afetados e o volume de impactos danosos. Seguido do aumento populacional, as cidades inseridas na Zona Costeira Paraense (ZCP), assim como nas grandes cidades, desenvolvem aglomerados populacionais de alta vulnerabilidade socioeconômica cada vez mais expostos aos processos naturais recorrentes, como o avanço das marés, ressacas e erosões. Os estudos voltados para a dinâmica costeira com ênfase nos aspectos socioeconômicos no Brasil começam a se aprofundar após a aprovação, da Lei federal nº 7.661/88 do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). A ZCP caracterizada por um regime de macromarés e planícies estuarinas, vem sendo alvo de desastres naturais de grande intensidade, os quais estão se tornando cada vez mais recorrentes. No intento de prover uma melhoria na qualidade de vida da população residente na orla marítima de Marudá e Crispim, e minimizar os recorrentes danos que afetam a orla marítima destas praias, esta pesquisa propõe o desenvolvimento da carta de aptidão a urbanização a partir do mapeamento de áreas com alta, média e baixa suscetibilidade, perigo e vulnerabilidade à erosão costeira. Foram indicadas das áreas aptas, aptas com intervenções, e as áreas não aptas à urbanização, e este produto servirá de subsídio às políticas públicas de gerenciamento e ordenamento territorial na ZC do município de Marapanim. A metodologia deste trabalho consiste basicamente em: compilação bibliográfica e de dados publicados; definição das variáveis analisadas; análise e aquisição de imagens de satélite; campanha de campo; classificação das variáveis em unidades; atribuição de notas para cada unidade de acordo com sua vulnerabilidade, perigo ou suscetibilidade; elaboração do espectro vetorial de cada variável e suas respectivas unidades; transformação destes vetores em dado raster; análise multicritério a partir de modelagem em ambiente SIG (AHP); elaboração do mapa de vulnerabilidade; elaboração do mapa de perigo; e integração dos mapas obtidos e elaboração final da carta de aptidão a urbanização através da álgebra de mapas. Foram encontradas áreas de baixo, médio e alto perigo e vulnerabilidade ao longo das vilas do Crispim e de Marudá, região mais afetada pelos processos de erosão, sendo esta área análoga à região com maiores indícios de danos gerados em eventos de alta magnitude, variação da linha de costa, variação do perfil de praia. As áreas de maior vulnerabilidade são determinadas, principalmente pelas regiões com maiores índices de exposição aos processos costeiros e baixos padrões construtivos. Os dados obtidos neste trabalho de dissertação de mestrado são considerados extremamente úteis para a realização de adaptações na região de estudo, como obras de

contenção ao avanço marinho, bem como de um manejo minucioso dos ambientes nela encontrados, no cenário de mudanças climáticas globais. Assim, será possível planejar adequadamente o uso, a ocupação e a adaptação desta região costeira, valendo-se, sobretudo, das individualidades de cada área.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Suscetibilidade. Perigo. Erosão Costeira.

ABSTRACT

Natural disasters have considerably increased considerably in the last decades, and consequently, the number of affected and the volume of damages impacts. Following the increase in population, the cities located in the Coastal Zone of Paraense (ZCP), as well as in the big cities, develop populations of high socioeconomic vulnerability exposed to recurrent natural processes increasingly, such as tides, breakers and erosion. The studies focused on the coastal dynamics with emphasis on socioeconomic aspects in Brazil begin to advance after the approval of Federal Law 7,661 / 88 of the National Coastal Management Plan (PNGC). The ZCP characterized by a regime of macrotidal and estuarine plains, has been the target of natural disasters of great intensity, which are becoming more and more recurrent. In an attempt to provide an improvement in the quality of life of the population living on the Marudá and Crispim coastlines, and to minimize the recurrent damages that affect the seafront of these beaches, this research proposes the development of the suitability chart to urbanization from the mapping of areas with high, medium and low susceptibility, hazard and vulnerability to coastal erosion. Were indicated suitable areas, suitable trough interventions, and areas not suitable to urbanization, and this product will serve as a subsidy to the public policies of management and territorial planning in the ZC of the Marapanim city. The approach consists of: bibliographical compilation and published data; definition of analyzed variables; analysis and acquisition of satellite images; field campaign; classification of variables in units; quantification each unit according to its vulnerability, danger or susceptibility; elaboration of the vectorial spectrum of each variable and its respective units; transformation of these vectors into raster data; multicriteria analysis from GIS environment modeling (AHP); vulnerability mapping; hazard mapping; and integration of the maps obtained and final elaboration of the suitable chart to urbanization through map algebra. Areas of low, medium and high risk and vulnerability were found in Crispim and Marudá, the region most affected by erosion processes, being this area analogous to the region with the highest signs of damage generated in high magnitude events, shoreline and beach profile variation. The areas of greatest vulnerability are determined, mainly by the regions with the highest indexes of exposure to coastal processes and low construction kind. The data obtained in this work are considered extremely useful for adaptations in the region of study, as containment construction to the marine advance, as well as a detailed management of the environments found in the scenario of global climate change. Thus, it will be possible to plan adequately the

use, occupation and adaptation of this coastal region, using, above all, the individualities of each area.

Keyword: Vulnerability. Suscetibility. Hazard. Coastal Erosion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Perfil de delimitação da orla marítima.....	26
Figura 2- Diagrama do perfil de praias de macromarés segundo a hidrodinâmica e a morfologia	28
Figura 3- Processos de deriva sedimentar na região costeira	30
Figura 4- Tipos de quebra de onda nas zonas costeiras.	32
Figura 5- Mapa de localização dos municípios pertencentes à ZCP	35
Figura 6- Mapa de localização do município de Marapanim	38
Figura 7- Mapa de localização das praias de Marudá e Crispim.	39
Figura 8- Coluna estratigráfica do NE do Pará	43
Figura 9- Mapa das unidades morfológicas da planície costeira de Marapanim.	46
Figura 10- Variação da maré ao longo do mês de março de 2017	46
Figura 11- Magnitude, direção dos ventos, altura e direção média de ondas no município de Marapanim.....	47
Figura 12- Série histórica da precipitação mensal (1989-2016) no município de Marapanim	50
Figura 13- Variação populacional e residencial, no município de Marapanim (1970 – 2010).	53
Figura 14- Fluxograma síntese da metodologia adotada para este trabalho.....	61
Figura 15- Tipologias de orla segundo suas características físicas e posição.	65
Figura 16- Mapa com transectos gerados pela extensão DSAS sobre imagem rapideye 2015.	66
Figura 17- (A) Perfis topográficos p1 e p2 na praia do Crispim. (B) Perfis topográficos p1 na praia de Marudá.....	68
Figura 18- Método de levantamento topográfico de praia utilizado no estudo. (A) Estação total ruide rts-822r ³ . (B) Alinhamento da equipe com prisma para o levantamento topográfico. Praia do Crispim (Marapanim-PA)	69
Figura 19- Mapa geomorfológico da área de estudo	77
Figura 20- (A) Unidade <i>chenier</i> entre o manguezal, na praia do Crispim. (B) Tabuleiro costeiro aflorando a formação barreiras em processo erosivo, em Marudá	79
Figura 21- (A) Paleodunas recorta por estrada de acesso à praia do Crispim. (B) Dunas frontais verticalizadas existentes na região central da praia do Crispim no ano de 2015	80
Figura 22- (A) Barras arenosas na foz de rio entre as praias do Crispim e Marudá. (B) Lagos interdunas próximos à comunidade do Crispim	81
Figura 23- (A) Praia arenosa de macromaré em marudá. (B) Canal de maré recorta a praia do Crispim	82
Figura 24- Planície fluviomarinha densamente vegetada por manguezal	83

Figura 25- Mapa de suscetibilidade a erosão com base nos unidades geomorfológicas.	85
Figura 26- Mapa de suscetibilidade a erosão costeira com base nos diferentes tipos de orla, na orla marítima do Crispim e Marudá.....	86
Figura 27- (A) Setor de praia exposta em Crispim (B) Setor da praia semi-abrigada em Marudá. (C) Setor de praia abrigada por manguezal em Marudá.....	87
Figura 28- (A) Manguezal soterrado por deposição de sedimentos arenosos na praia do Crispim, em 2016. (B) Destruição de rua beira-mar a partir do recuo da linha de costa na praia do Crispim, no ano de 2015.....	90
Figura 29- Variação da linha de costa em setor com maiores taxas de recuo na praia do Crispim. (A) Outubro de 2016. (B) Abril de 2017. (C) Setembro de 2017.....	90
Figura 30- (A) Índícios do intenso processo erosivo, destruição de cordão de enrocamento. (B) Descalçamento de cordão através da remobilização de material	91
Figura 31- Mapa da variação da linha de costa da orla marítima da praia do Crispim e Marudá	92
Figura 32- (A) Variação dos perfis topográficos 1 da praia do Crispim. (B) Variação dos perfis topográficos 2 da praia do Crispim. (C) Variação dos perfis topográficos 1 da praia de Marudá	93
Figura 33- Perfis de comparação por pares ao longo do ano de 2013 a 2017 para o perfil 1 da praia do Crispim	96
Figura 34- Variação do perfil topográfico do ano de 2013 a 2017 no perfil 1 da praia do Crispim	97
Figura 35- (A) Setor perfil 1 março de 2015 na praia do Crispim. (B) Setor perfil 1 em abril de 2016 na praia do Crispim. (C) Setor perfil 1 em junho de 2017 na praia do Crispim	97
Figura 36- Perfis de comparação dos meses de março/2015 e setembro/2015 para o perfil 2 da praia do Crispim	98
Figura 37- Variação dos perfis topográficos ao longo dos meses de fevereiro/2015 a junho/2017 no perfil 2 da praia do Crispim.....	99
Figura 38- (A) Dunas vegetadas e sem sinais de processo erosivo atuante em 2011; (B) Duna vegetada, com perfil verticalizado, indicando a ação da erosão em março de 2015; (C) Mesma área com duna completamente erodida em 2017	100
Figura 39- Variação dos perfis topográficos ao longo dos meses de outubro/2016 a outubro/2017 no perfil 1 da praia de Marudá.....	101
Figura 40- Mudanças de aporte sedimentar são claramente observadas ao longo do ano de 2017 na praia de Marudá. (A) Junho. (B) Setembro. (C) Outubro.....	101
Figura 41- Mapa da variação do perfil de praia, nas praias do Crispim e Marudá.	102
Figura 42- Mapa de exposição da população à erosão costeira na praia do Crispim e Marudá.	104

Figura 43-	(A) Destruição de construções e de rua beira-mar na praia do Crispim, em 2016. (B) Construções expostas aos agentes costeiros devido variação da linha de costa, em 2016. (C) Edificações localizadas no ambiente praial, expostas à ação das ondas e marés, em 2017.....	105
Figura 44-	(A) Dunas de aproximadamente 1,5 de altura vegetadas agem como barreiras naturais de proteção as moradias, na praia do Crispim em 2017. (B) Imagem aérea de dunas atuando como barreiras naturais de proteção às moradias, na praia do Crispim, em 2017.....	106
Figura 45-	Pequena vila de pescadores instalada em ambiente pós-praia no Crispim, em 2016.	106
Figura 46-	(A) Moradias instaladas em planície fluviomarinha, na vila de Marudá, em 2017. (B) Imagem aérea da área de manguezal na vila de Marudá.....	107
Figura 47-	(A) Dunas bem preservadas e moradias pouco expostas aos processos costeiros. (B) Obras de contenção com indícios de instabilidade expõem a população residente assim como o turista , na praia de Marudá, em 2017.....	108
Figura 48-	Mapa de tipos de construção com base nos padrões construtivos encontrados na praia do Crispim e Marudá.	110
Figura 49-	(A) Construções de alvenaria de alto padrão na praia de Marudá. (B) construção de madeira preservada característica de alto padrão, na praia do Crispim.....	111
Figura 50-	(A) Moradia mista de madeira e alvenaria, com sua porção de alvenaria arrasada pelos agentes costeiros, na praia do Crispim. (B) Construção de madeira em palafita manifesta pouca ou nenhuma manutenção em sua estrutura, na praia de Marudá.....	111
Figura 51-	(A) Construção de madeira com estaca quebrada pela ação abrasiva dos agentes costeiros, na praia do Crispim. (B) Construções tombadas sobre as outras, devido quebra de estaca, na praia do Crispim	112
Figura 52-	Moradia de alvenaria destruída por agentes erosivos costeiros enquanto construções de madeira permanecem intactas na praia do Crispim. Fotografias do mesmo local. (A) Abril de 2016 (B) Agosto de 2017.....	112
Figura 53-	Disposição das diversas classes de obras de engenharia ao longo da praia de Crispim e Marudá.	114
Figura 54-	(A) Região com ausência de obras de contenção diariamente inundada protegida pela vegetação de mangue. (B) Setor sem obra de contenção e vegetação totalmente exposto aos agentes erosivos	114
Figura 55-	(A) Fissuras no cordão de enrocamento, na praia de Marudá. (B) Destruição e descalçamento de obra, na praia de Marudá	115
Figura 56-	(A) Muro de arrimo demonstra bom estado, na praia de Marudá. (B) Muro particular com furos de drenagem da água.	115
Figura 57-	Caracterização e descrição das classes de aptidão à urbanização.	119

Figura 58- Mapa de perigo à erosão costeira e inundação na orla marítima do Crispim e Marudá.	121
Figura 59- Mapa de vulnerabilidade socioeconômica da população residente na orla marítima do Crispim e de Marudá.	122
Figura 60- Carta de aptidão à urbanização na orla marítima do Crispim e Marudá.	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados de densidade demográfica dos municípios da ZC do Pará	36
Tabela 2- Variáveis físicas e socioeconômicas para cálculo do índice físico (if) e do índice socioeconômico (is).	62
Tabela 3- Planilha de correlação das unidades e seus respectivos graus de suscetibilidade, perigo e vulnerabilidade para cada variável.	73
Tabela 4- Critério análise AHP.	74
Tabela 5- Valores de IR, com n = ordem da matriz	75
Tabela 6- Tabela de julgamento AHP para variáveis físicas.....	75
Tabela 7- Tabela de julgamento AHP para variáveis socioeconômicas.....	75
Tabela 8- Caracterização das unidades geomorfológicas e grau de suscetibilidade associado.	84
Tabela 9- Caracterização dos tipos de orla e grau de suscetibilidade associado.....	88
Tabela 10- Caracterização da variação da linha de costa e grau de perigo associado.....	91
Tabela 11- Caracterização dos perfis de praia e grau de perigo associado	102
Tabela 12- Caracterização da exposição da população à erosão e grau de vulnerabilidade associado.....	108
Tabela 13- Caracterização dos tipos de construções e grau de vulnerabilidade associado	109
Tabela 14- Caracterização das obras de contenção e grau de vulnerabilidade associado	116

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos	21
1.2	Objetivos específicos	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	Conceitos Fundamentais	22
2.2	Zona Costeira e Orla Marítima	24
2.3	Praias de macromarés	26
2.4	Transporte Litorâneo e Distribuição Sedimentar	28
2.5	Marés	30
2.6	Ondas	31
2.7	Variação do Nível do Mar	33
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
3.1	Litoral Paraense	35
3.2	Localização do Município de Marapanim e Área de Estudo	37
3.3	Características das Orlas Marítimas de Crispim e Marudá	38
3.4	Geologia	40
3.5	Geomorfologia	43
3.6	Aspectos Oceanográficos	46
3.7	Aspectos Climáticos e Meteorológicos	48
3.8	Aspectos Fisiográficos	50
3.9	Turismo e Ocupação no Município de Marapanim	51
3.10	Impactos e Instrumentos de Gestão Costeira	53
3.11	Carta de Aptidão à Urbanização	56
4	METODOLOGIA	58
4.1	Determinação das Variáveis Físicas e Socioeconômicas	60
4.2	Variáveis Físicas	62
4.2.1	Feições Geomorfológicas	63
4.2.2	Tipo de Orla	63
4.2.3	Variação da Linha de Costa	65
4.2.4	Variação dos Perfis de Praia	67
4.3	Variáveis Socioeconômicas	69
4.3.1	Exposição da População à Erosão	70
4.3.2	Tipos de Construção	70

4.3.3	Obras de Contenção	72
4.4	Análise Multicritério (AHP) – Método Saaty	72
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
5.1	Feições Geomorfológicas	77
5.2	Tipo de Orla	85
5.3	Varição da Linha de Costa.....	88
5.4	Varição dos Perfis de Praia.....	93
5.5	Exposição da População à Erosão	103
5.6	Tipos de Construção	109
5.7	Obras de Contenção	113
5.8	Análise Temporal e Carta de Aptidão	116
6	CONCLUSÃO.....	124
6.1	Falhas e Dificuldades na Aquisição de Dados	124
6.2	Considerações Finais	125
	REFERÊNCIAS.....	128

1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais vêm aumentando consideravelmente nas últimas décadas, e consequentemente, o número de afetados e o volume de impactos danosos (CARSON et al., 2016). O aumento da temperatura dos oceanos causado pelo aquecimento global vem impulsionando diversas transformações através de eventos extremos e de grande intensidade (ALBERT et al., 2016; DANGENDORF et al., 2017; IPCC, 2013). Ciclones, tornados, tempestades, inundações e secas são os eventos cada vez mais recorrentes ao redor do globo e têm como consequência os inúmeros impactos negativos de destruição (GUHA-SAPIR, et al., 2016) enquanto no Brasil, a estiagem e seca, e em segundo plano a inundação, são os processos mais recorrentes (CEPED, 2013). Megacidades concentradas na Zona Costeira (ZC) brasileira apresentam alta densidade demográfica e, estão constantemente expostas à dinâmica costeira como, o aumento do nível dos oceanos, inundações, e processos erosivos (GERMANI et al., 2015).

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais na região Amazônica do Brasil, os desastres naturais se revelam, com maior intensidade através de inundações, os quais vêm se mostrando mais frequentes e danosos nas últimas décadas (CEPED, 2013). O aumento populacional concentrado, principalmente nas capitais, seguido de baixa infraestrutura e planos de ordenamento territoriais pertinentes às realidades amazônicas precedem o desenvolvimento de núcleos populacionais de alta vulnerabilidade socioeconômica e consequentemente áreas de risco aos possíveis desastres (SZLAFSZTEIN, 2015).

A Zona Costeira Amazônica (ZCA) está localizada entre o Cabo Orange (estado do Amapá) e a Ponta de Tubarão (estado do Maranhão), medindo cerca de 2.250 km de extensão, sem considerar as reentrâncias e as ilhas costeiras (SOUZA FILHO, 2005). Esta extensão corresponde a 35% da linha de costa do Brasil e abrange um complexo sistema ambiental de interface rio-mar-continente. Considerada como uma região de menor densidade populacional, quando comparada ao restante da ZC brasileira, a ZCA aponta um aumento populacional (SOUZA et al., 2016). Seguido deste aumento, assim como nas grandes cidades, aglomerados populacionais de alta vulnerabilidade socioeconômica estão cada vez mais expostos aos processos naturais recorrentes, como o avanço das marés, ressacas, erosões e inundações.

Por se tratar de um ambiente transicional continente-oceano, a ZC está sujeita a diversos processos marinhos e terrestres que controlam e influenciam a morfodinâmica local. Caracterizado por praias, costões rochosos, planícies, estuários e diferentes paisagens, o

ambiente costeiro está exposto diretamente às mudanças climáticas. Derivadas do aquecimento global, essas mudanças climáticas têm como consequências, a elevação do nível dos oceanos, aumento da intensidade e da frequência das ressacas, dentre outros. Associado à ocupação irregular da orla e mudanças provocadas pelas intervenções antrópicas, o aquecimento global é considerado uma das causas mais prováveis da redução das praias (PBMC, 2016).

Dentre os estudos sobre a variação do nível eustático do mar¹, o IPCC utiliza modelos de previsão simulando cenários futuros, estimando-se que o derretimento das calotas polares causada pelo aquecimento dos oceanos pode impulsionar uma elevação do nível médio dos oceanos em torno de 18 cm a 74 cm até 2100 (IPCC, 2013). Segundo Dangendorf et al. (2017), tal aumento vem sendo observado em diversas cidades costeiras do globo, e muitas delas passam por processos de inundação e ressacas recorrentes, e este processo vem acelerando nas últimas décadas. Albert et al. (2016) afirmam que ilhas no oceano pacífico desapareceram completamente durante as últimas décadas ou são atualmente atingidas por graves erosões devido o aumento relativo do nível do mar.

No Brasil, poucos estudos abordam análises do aumento do nível do mar nas últimas décadas, ao longo da ZC. Germani et al. (2015) indicam um aumento significativo do nível do mar no litoral do Rio Grande do Sul, Souza (2009) no litoral de São Paulo, e estes citam como os principais indicadores da elevação relativa do mar: o recuo da linha de costa, a erosão costeira, o desaparecimento de ilhas, a destruição de ecossistemas costeiros e áreas urbanizadas.

O desequilíbrio ambiental estabelecido ao longo da ZC desenvolve-se, geralmente, pela interação dos processos de dinâmica costeira e a ocupação desordenada e/ou não planejada da região. A conjunção dos fatores naturais e a ocupação sem planejamento prévio propicia um ambiente atingido constantemente pelos processos costeiros que passam a serem

¹ Variação do Nível Eustático do Mar: Subida e descida universal do nível dos oceanos em função do aquecimento (épocas interglaciais) e resfriamento (épocas glaciais) do clima terrestre, provocando a diminuição (degelo) ou o aumento das geleiras, respectivamente. Nas transições para épocas glaciais as linhas de costa tornam-se emergentes, o nível base de erosão é rebaixado, provocando um rejuvenescimento generalizado dos processos erosivos; já nos períodos interglaciais ocorre o contrário, formando-se muitos mares interiores, rasos e quentes além de submersão generalizada de linhas de costa. A causa principal dessas variações está relacionada a ciclos de variação da emissão de energia solar que atinge e aquece a terra. Outras causas, intrínsecas à Terra, afetam também o clima geral, somando-se ou contrapondo-se à principal: dispersão de energia térmica pelas correntes marinhas e aéreas que dependem da extensão dos mares e dos relevos dos continentes; efeito estufa devido ao CO₂ despejado na atmosfera pelo desequilíbrio da fotossíntese em florestas tropicais e, recentemente, pelo homem com indústrias poluentes atuais (Glossário Geológico, 2018).

recorrentes e cada vez mais danosos devido à ausência dos programas e projetos de gerenciamento da zona costeira, ou por vezes a negligência destes.

Estudos relacionados à caracterização de áreas mais críticas e impactadas pelos processos de erosão costeira começaram a ser desenvolvidos a partir da década de 1990 no Brasil, todavia, concentrados na região sul do país (CALLIARI; KLEIN, 1993, 1995; HOEFEL; KLEIN, 1998; TOLDO et al., 1993). Com o recorrente aumento de eventos destrutivos ao longo da orla marítima, uma maior atenção passou a ser direcionada a esta área. Atualmente, diversos estudos apontam os inúmeros estados e cidades com tendências à erosão costeira ao longo da costa brasileira: no litoral do Ceará (MEDEIROS et al., 2016); no Rio de Janeiro (MUEHE, 2011); e no estado do Pará em Salinópolis (RANIERI; EL ROBRINI, 2016), na ilha do Marajó (FRANÇA; MARTINS, 2003) e em Bragança (ALVES, 2001; ALVES et al., 2005; ALVES; EL-ROBRINI, 2006). Muehe (2001) apresenta uma revisão dos estudos sobre erosão costeira no litoral de todo o Brasil afirmando que, do total de ocorrências relatadas, 40% se refere à erosão de praias, 20% trata da erosão das escarpas sedimentares e 15% das desembocaduras dos rios e estuários.

Mundialmente, os estudos de Gerenciamento Costeiro consistiam, basicamente, na análise da dinâmica de processos provenientes da erosão e inundação costeira (FRENCH, 1997; POLETTE; SILVA, 2003), no entanto, com o detalhamento científico ficou claro que os entraves da zona costeira não consistiam somente em processos naturais, e que os aspectos políticos, econômicos, administrativos, técnicos e socioculturais eram intrínsecos a essa problemática (GERMANI et al., 2015; SZLAFSZTEIN, 2007).

Estudos mais recentes de vulnerabilidade voltados para o Gerenciamento Costeiro (ALVES, 2007; GERMANI et al., 2015; OLIVEIRA, 2016; SZLAFSZTEIN, 2007) finalmente conectam as problemáticas socioeconômicas com os fatores naturais para caracterizar áreas com alto potencial destrutivo, e consequentes desastres naturais, que por vezes chegam a atingir comunidades, bairros ou vilas inteiras em áreas urbanizadas.

Os estudos voltados para a dinâmica costeira com ênfase nos aspectos socioeconômicos no Brasil começam a se aprofundar após a aprovação da Lei federal nº 7.661/88 do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) e do decreto federal nº 3.939/2001 que atribui à Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) seu gerenciamento. A partir destas leis são criados diversos planos e projetos de gerenciamento para as ZC e Orlas Marítimas tanto a nível federal, estadual e municipal. Dentre estes

instrumentos, vale ressaltar o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC), o Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC), o Sistema de Informação de Gerenciamento Costeiro (SIGERCO), e o Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC).

Fundamentado no PMGC, o Plano Diretor Municipal (PDM) dos municípios costeiros passam obrigatoriamente a serem desenvolvidos com base em uma proposta de Gerenciamento Integrado da Zona Costeira (GIZC). No entanto, nos municípios da região norte do Brasil, ainda se observa uma ausência e lentidão no desenvolvimento e atualização dos PDM fundamentados no GIZC (SILVA, 2012).

Em outubro de 2009, foi implementado o Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima/MMA no Estado do Pará (GERCO/PA), que tem como principal objetivo o planejamento das atividades socioeconômicas que controlam, conservam e recuperam os recursos naturais que afetam ou podem afetar a orla marítima, de modo a contribuir na melhoria da qualidade de vida da população (BRASIL, 2009).

No entanto, a Zona Costeira Paraense (ZCP), composta por 40 municípios caracterizada por um regime de macromarés e planícies estuarinas, vem sendo alvo de desastres naturais, os quais estão se tornando cada vez mais danosos. Vale ressaltar os municípios mais estudados, como Salinópolis, Bragança, Marapanim, Ilha de Mosqueiro, Ilha do Marajó. Segundo Ranieri e El-Robrini (2016), as praias do Farol Velho e parte da Atalaia (município de Salinópolis) apresentam uma erosão severa, resultando no estreitamento da praia e paisagens degradadas. Segundo Alves (2001), Alves et al. (2005) e Oliveira et al. (2014), o estado morfodinâmico da praia de Ajuruteua (município de Bragança), em termos de variabilidade espaço-temporal, está condicionado em função do conjunto onda-maré e da sazonalidade climática regional (seco e chuvoso) desencadeando desastres naturais recorrentes de grande intensidade e apresenta um aumento significativo na última década.

Segundo El-Robrini (2001), os desastres naturais impulsionados pelos processos costeiros nas praias da Ilha do Mosqueiro (município de Belém) mostram-se bastante dinâmicos. Marés e correntes, e secundariamente as ondas, que atuam nas zonas de intermaré das praias, incitam a mobilização de grandes volumes sedimentares. Segundo CPRM (2016), foram encontrados indícios de erosão e recuo da linha de costa ao longo das praias do Farol, Paraíso e Ariramba, na Ilha de Mosqueiro (município de Belém). De acordo com Araújo (2013), os eventos de maior erosão no município de Chaves (Ilha do Marajó), estão ligados às

fortes ondas nos períodos de altas marés, com um recuo da linha de costa, em média de 3 a 4 m/ano.

Mello et al. (2016) observaram que as praias de macromarés de Marudá e Crispim (município de Marapanim) são caracterizadas por um sistema determinado por perigos e riscos naturais, principalmente inundações e erosões. Associados a diferentes níveis de vulnerabilidade da população local, planos de gerenciamento costeiro municipal e ordenamento territorial, muitas vezes incompatível a realidade da ZC local, os processos costeiros podem causar significativos danos materiais e a alteração no seu equilíbrio ambiental.

Estudos ao longo da ZCP apontam potencial para o embasamento e subsídio de projetos voltados para o gerenciamento territorial da ZCP sobre vulnerabilidade (ALVES, 2007; ANDRADE, 2014; OLIVEIRA, 2016; SZLAFSZTEIN; STERR, 2007) e risco e suscetibilidade (MELLO, SIMÕES, 2017; MELLO, et al., 2016).

A ocupação antrópica causa naturalmente, uma pressão ao longo das zonas costeiras, e conseqüentemente propicia o desenvolvimento de áreas impactadas e modificadas devido intervenções e uso dos recursos naturais, através de manejos inadequados e opostos à sustentabilidade ambiental do meio, aumentando o grau vulnerabilidade à erosão costeira da população residente na área região.

Com o desenvolvimento de tecnologias de processamento eletrônico de dados cartográficos, e a possibilidade de diferentes formas de representação e armazenamento de dados através de um sistema de informação geográfica (SIG), tornando-se possível capturar, gerenciar, manipular e analisar uma grande quantidade de dados de fontes diversas, referenciados espacialmente, reestruturando-os e apresentando-os para a solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento (SOBREIRA; SOUZA, 2012). Este trabalho aborda as práticas de cartografia geotécnica com enfoque no planejamento urbano a partir de carta de aptidão à urbanização.

No intento de prover uma melhora à qualidade de vida da população inserida na orla marítima de Marudá e Crispim, a qual permanece espacialmente exposta aos recorrentes processos que afetam a orla marítima destas praias e suas conseqüências, esta pesquisa propõe um estudo das áreas aptas à urbanização, não aptas e aptas com intervenções. A análise de aptidão será realizada com base em índices de vulnerabilidade socioeconômica, perigo e suscetibilidade a erosão costeira da população que habita a orla marítima das praias do

Crispim e Marudá, localizadas no município de Marapanim. Apresentado na forma de uma carta de aptidão a urbanização, o produto final desta pesquisa poderá ser aplicado de forma eficaz, pelos gestores da área em estudo, como subsídios para auxiliar na elaboração de planos de gestão das orlas marítimas do município de Marapanim, bem como para assegurar as medidas de mitigação mais eficientes, com a finalidade de diminuir as perdas durante desastres.

1.1. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento da carta de aptidão à urbanização, a partir do mapeamento de áreas com alto, médio e baixo perigo e vulnerabilidade à erosão costeira com indicadores das áreas aptas, aptas com intervenções, e as áreas não aptas à urbanização, a qual servirá de subsídio às políticas públicas de gerenciamento e ordenamento territorial na orla marítima de Crispim e Marudá.

1.2. Objetivos específicos

- Analisar o perigo natural da erosão costeira, indicando quais as áreas de maior e menor perigo na orla marítima de Crispim e Marudá;
- Analisar a vulnerabilidade socioeconômica à erosão costeira, indicando quais as áreas de maior e menor vulnerabilidade na orla marítima de Crispim e Marudá;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Após os subseqüentes desastres naturais em diferentes regiões do Brasil foi criada a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, de acordo com a Lei 12.608/12. Juntamente com essa política, o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais foi criado, visando minimizar efeitos causados pelo evento natural sobre a população e elaborar o diagnóstico e mapeamento de áreas com potencial de risco alto a muito alto. As ações do plano estão divididas em quatro eixos temáticos – prevenção, mapeamento, monitoramento e alerta e resposta a desastres, e tem como objetivo proteger vidas, garantir a segurança das pessoas, minimizarem os danos decorrentes de desastres e preservar o meio ambiente (CPRM, 2016).

Enquanto a CPRM atua no âmbito do mapeamento frente aos desastres naturais, foram criados instrumentos de planejamento urbano que visa fornecer subsídios para projetos que tenham como suas principais diretrizes a prevenção de desastres naturais. De acordo com o Decreto nº 8.927 de 2016, o Ministério das Cidades é o responsável pelo apoio aos municípios para a elaboração das cartas de aptidão a urbanização frente aos desastres naturais. Nota-se que, assim como o Plano Nacional de Riscos e Desastres Naturais, os estudos voltados para aptidão à urbanização também foram direcionados basicamente para deslizamentos e inundações.

Segundo Castro et al. (2005), existem inúmeras pesquisas com enfoque em desastres e riscos naturais com diferentes abordagens conceituais do Risco, Vulnerabilidade e Perigo. O mesmo, lista vários autores que atribuem diversos significados a esses conceitos, dificultando a compreensão e a homogeneização das terminologias.

2.1. Conceitos Fundamentais

Para o presente estudo foram adotados os seguintes conceitos:

Perigo: Probabilidade de ocorrência de um processo dentro de um período de tempo determinado, com o potencial de causar uma consequência indesejável (BRASIL, 2007).

Vulnerabilidade: Probabilidade que uma comunidade, estrutura ou serviços têm de ser danificada ou perturbada pelo impacto de um determinado perigo. Integrados por três componentes (TURNER et al., 2003):

- **Sensibilidade:** Interrelação das condições estabelecidas entre o ser humano e o meio ambiente e seu processos (população, moradias, condições sociais e econômicas).
- **Exposição:** Condição espacial da população e moradias que podem ser influenciados pela ameaça quanto a sua proximidade em um dado tempo.
- **Resiliência:** Conjunto de respostas estruturais e humanas aos danos, no sentido do restabelecimento do padrão de equilíbrio do ambiente.

Risco: Probabilidade de ocorrer um efeito adverso de um processo sobre um elemento. Relação entre perigo e vulnerabilidade, pressupondo sempre a perda (BRASIL, 2007).

$$R = P * V$$

Suscetibilidade: Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência (BRASIL, 2007). No presente trabalho a suscetibilidade é analisada como uma componente espacial do Perigo ou Ameaça.

Cartas de aptidão à urbanização: síntese das condições geotécnicas, geomorfológicas, possibilidade de ocorrência de eventos erosivos e vulnerabilidade socioeconômica com orientações detalhadas quanto às formas de ocupação. A carta indica a capacidade dos terrenos para suportar os diferentes usos e práticas da engenharia e do urbanismo, com o mínimo de impacto possível e com o maior nível de segurança para o meio ambiente e para a população residente na orla marítima. Sua análise parte do mapeamento, caracterização e integração de atributos do meio físico naturais e antrópicos que condicionam o comportamento deste frente às solicitações existentes ou a serem impostas, como: implantação de infra-estrutura e acesso a serviços urbanos, melhorias habitacionais, reparcelamento do solo, consolidações geotécnicas, regularização fundiária e programas de desenvolvimento comunitário (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

Erosão: Processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos de rochas, pela ação combinada pela gravidade com a água, vento, gelo e organismos (animais e plantas) (SALOMÃO; IWASA, 1995).

Erosão Costeira: Os processos sedimentares (erosão, deposição e transporte) que ocorrem em uma praia são produto de condicionantes geológicos geomorfológicos

meteorológicos/climáticos, oceanográficos/hidrológicos e antrópicos (SOUZA, 1997, 2009a, 2009b).

O resultado do conjunto de processos sedimentares que atuam na praia pode ser medido por meio do seu balanço sedimentar que é, em outras palavras, a relação entre as perdas e os ganhos de sedimentos nessa praia.

Quando o balanço sedimentar da praia for negativo, ou seja, quando a perda de sedimentos for maior do que a entrada de sedimentos, haverá um déficit sedimentar, predominando assim o processo erosivo. Isto acarretará diminuição a retração da linha de costa. Se o saldo for positivo, a praia tenderá a crescer em largura, pela deposição predominante de sedimentos, e a linha de costa progradará.

No balanço sedimentar nulo (igual a zero) haverá o equilíbrio do sistema praiar. A erosão em uma praia se tornará problemática quando for um processo severo, acelerado e permanente ao longo de toda essa praia ou em partes dela, ameaçando assim áreas de interesse ecológico e/ou socioeconômico (SOUZA et al., 2005). Nessas condições o fenômeno passa a ser denominado de erosão praiar, quando se refere somente às praias, ou erosão costeira, quando atinge também promontórios, costões rochosos e falésias.

2.2. Zona Costeira e Orla Marítima

Os termos de litoral, costa, faixa costeira, orla costeira, zona costeira, área/região costeira são utilizados de modo indiferenciado ou por especialistas de diferentes áreas para referir a porções do território de dimensões variáveis, na interface entre a terra e oceano.

De acordo com o PNGC, a **Zona Costeira Brasileira (ZCB)** corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, mar e terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre, com os seguintes limites:

- Faixa marítima: espaço que se estende por doze milhas náuticas, medido a partir das linhas de base², compreendendo, dessa forma, a totalidade do mar territorial; e
- Faixa terrestre: espaço compreendido pelos limites dos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na zona costeira.

² Linha de base da costa: origem de medida da largura do mar territorial e das demais áreas marítimas sob jurisdição nacional (zona contígua, zona econômica exclusiva e plataforma continental). No geral, é a linha de baixa-mar do litoral brasileiro, tal como indicada nas cartas náuticas de grande escala. Nos locais em que a costa apresenta recortes profundos e reentrâncias ou em que exista uma franja de ilhas ao longo da costa na sua proximidade imediata, adota-se o método de linhas de base retas, ligando pontos apropriados, estabelecidos pelo Decreto Federal nº 1.290 de 21/10/1994.

A ZCB se estende da foz do rio Oiapoque à foz do arroio Chuí e dos limites dos municípios da faixa costeira, a oeste, até as 200 milhas náuticas, incluindo as áreas em torno do Atol das Rocas, dos arquipélagos de Fernando de Noronha e São Pedro e São Paulo e das ilhas de Trindade e Martin Vaz, situadas além do citado limite marítimo. A faixa terrestre, de largura variável, se estende por aproximadamente 10.800 quilômetros ao longo da costa, se contabilizadas suas reentrâncias naturais, e possui uma área de aproximadamente 514 mil km², dos quais 324 mil km² correspondem ao território de 395 municípios distribuídos ao longo dos 17 estados litorâneos (BRASIL, 1988).

Além dessa área, segundo os preceitos da Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos do Mar, foi determinado, um acréscimo de 900 mil km² a essa área, em pontos onde a Plataforma Continental vai além das 200 milhas náuticas. O pleito foi aceito aumentando a área das águas jurisdicionais brasileiras para aproximadamente 4,5 milhões km² (PROJETO ORLA, 2006).

Inserida na ZC, a orla marítima constitui a faixa de contato da terra firme com um corpo de água e pode ser formada por sedimentos não consolidados (praias e feições associadas) ou rochas e sedimentos consolidados, geralmente na forma de escarpas ou falésias de variados graus de inclinação. O estabelecimento de faixas de proteção ou de restrição de usos desses espaços vem sendo adotado por muitos países, tanto para manter as características paisagísticas, como para prevenir perdas materiais em decorrência da erosão costeira (BRASIL, 2004).

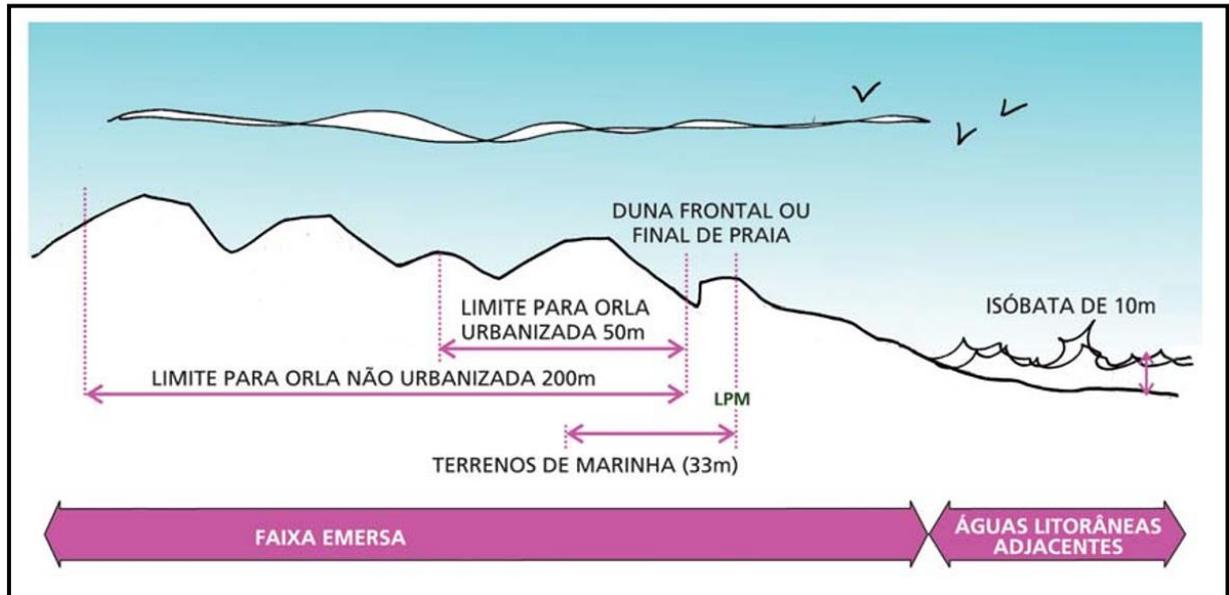
A orla marítima é delimitada pela faixa de interface entre a terra firme e do mar (Figura 1). Esse ambiente caracteriza-se pelo equilíbrio morfodinâmico, no qual interação fenômenos terrestres e marinhos, sendo os processos geológicos e oceanográficos os elementos básicos de conformação dos principais tipos de orla.

A orla marítima, assim como a ZC possui uma porção aquática, uma porção em terra e uma faixa de contato e sobreposição entre estes meios (variável no tempo e no espaço, basicamente em função do mecanismo das marés). Assim, os limites genéricos estabelecidos para a orla marítima são os seguintes:

- Na zona marinha, a isóbata de 10 metros, profundidade na qual a ação das ondas passa a sofrer influência da variabilidade topográfica do fundo marinho, promovendo o transporte de sedimentos; e

- Na área terrestre, 50 metros em áreas urbanizadas ou 200 metros em áreas não urbanizadas, demarcados na direção do continente a partir da linha de preamar ou do limite final de ecossistemas, tais como as caracterizadas por feições de praias, dunas, áreas de escarpas, falésias, costões rochosos, restingas, manguezais, marismas, lagunas, estuários, canais ou braços de mar, quando existentes, onde estão situados os terrenos de marinha e seus acrescidos (PROJETO ORLA, 2006).

Figura 1- Perfil de delimitação da orla marítima.



Fonte: (PROJETO ORLA, 2006).

Os limites máximos estabelecidos para a orla – 200 metros em áreas não urbanizadas e 10 metros de profundidade no mar – podem ser aumentados em direção ao continente, a partir de estudos que indiquem uma tendência erosiva acentuada (com base em taxas anuais para períodos de 10 anos), capaz de ultrapassar rapidamente a largura da faixa proposta.

2.3. Praias de Macromarés

A praia é um ambiente determinado pela interação do continente, mar e ar. Este ambiente é continuamente exposto a diferentes processos, como movimentos tectônicos, variação de temperatura e pressão, variação do nível do mar, e feitos das ondas, correntes e marés (BIRD, 2008). As praias são definidas como uma zona de sedimentos inconsolidados, delimitadas pelo limite superior do espriamento até o limite em que as ondas atuam ativamente sobre o fundo marinho, remobilizando sedimentos (WRIGHT; SHORT, 1984).

As praias estuarinas de macromarés são determinadas como depósitos de sedimentos inconsolidados formados a partir da movimentação de bancos arenosos de fundo, sob ação das

correntes. O ambiente estuarino pode apresentar praias com uma grande variedade de formas, tamanhos e composições, refletindo a variação das condições do vento, ondas e correntes (OLIVEIRA et al., 2014). Para praias de macromarés, a maré é considerada o fator dominante na dinâmica de transporte de sedimentos ao longo da Zona de Espraçamento.

A classificação do perfil de praia referente tanto ao regime hidrodinâmico como ao aspecto morfológico das praias de macromarés é baseada na classificação proposta por Komar (1997) e Souza Filho et al. (2003), respectivamente (Figura 2).

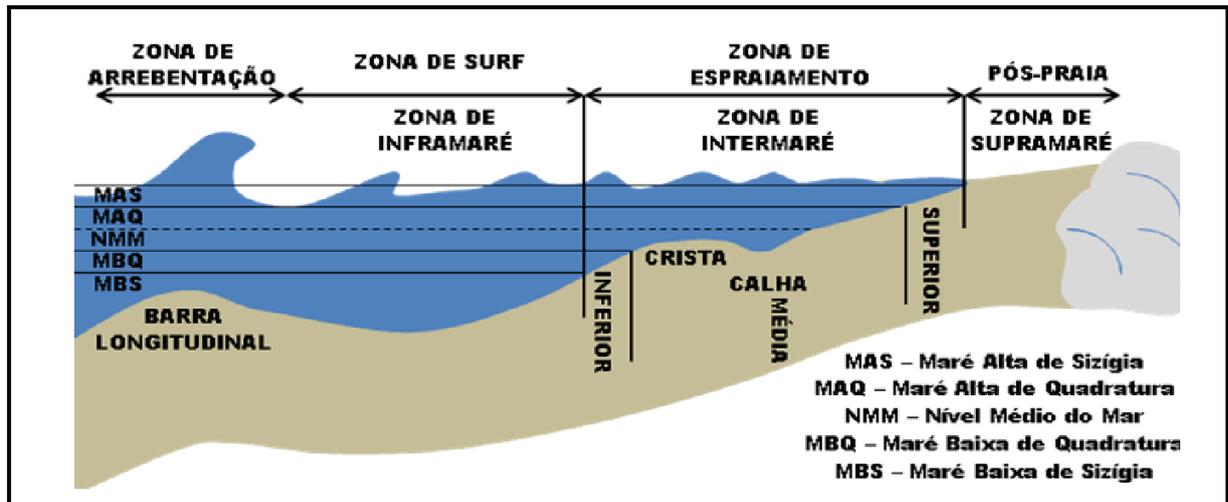
Classificação Hidrodinâmica de Praia (KOMAR, 1997):

- Zona de Espraçamento: região submersa nos períodos de maré alta, onde ocorrem o fluxo e refluxo de ondas, a propagação das ondas antes da linha de maré baixa e, os transportes eólico, transversal e longitudinal de sedimentos;
- Zona de Surf: região onde ocorre a dissipação e propagação energética das ondas antes que alcancem a Zona de Arrebentação, e os transportes transversal e longitudinal de sedimentos. Em praias de macromarés a Zona de Surf tende a migrar para a Zona de Espraçamento nos períodos de maré alta, onde ocorre a maior dissipação energética das ondas; e
- Zona de Arrebentação: região constantemente imersa onde as águas passam a ser mais rasas, a redução da lamina d'água tende a aumentar a energia de onda até que elas se rompem e dissipam-se pela zona de espraçamento.

Classificação Morfológica de Praia (SOUZA FILHO et al., 2003):

- Zona de Supramaré (pós-praia): localizada acima da área de influência da maré alta com ocorrência de vegetação, dunas, falésias e, que pode ser atingida em marés de sizígia excepcionalmente alta. Possui como feição característica a berma ou dunas frontais, com o predomínio de transporte eólico.
- Zona de Intermaré (estirânico): permanece exposta em maré baixa e subsequentemente recoberta pelas águas de maré alta. Predomínio de transportes eólico na maré baixa e transversal e longitudinal nos períodos de maré cheia.
- Zona de Inframaré (antepraia): área permanentemente coberta de água que eventualmente pode ser exposta em uma maré baixa de sizígia, caracterizada pelas barras longitudinais formadas na zona de arrebentação.

Figura 2- Diagrama do perfil de praias de macromarés segundo a hidrodinâmica e a morfologia.



Fonte: (KOMAR, 1997); (RANIERI, 2014); (SOUZA FILHO et al., 2003).

Segundo Pereira et al. (2016), em praias de macromarés as ondas se comportam de maneira pouco expressivas na maré baixa, enquanto em períodos de maré alta sua energia e altura de onda atingem valores significantes em intensidade.

Durante os períodos de maré alta, as ondas se propagam ao longo da zona de espraçamento, sobre os bancos de areia que se formam nessa região e auxiliam o aumento da energia de onda devido à diminuição da profundidade e lâmina d'água. Portanto, a energia das ondas pode aumentar sobre a ocorrência de barreiras, naturais ou não, tanto na zona inframaré, assim como na zona supramaré.

Segundo Short (1991), as praias de macromarés têm o predomínio de areias finas e apresentam baixa declividade (1 a 3°) ao longo da zona de espraçamento, assim como uma extensa zona de surf, que tendem a aumentar em períodos de maré cheia.

2.4. Transporte litorâneo e Distribuição Sedimentar

Uma das causas mais frequentes da erosão ou progradação costeira é o balanço no volume de sedimento transportado paralelamente e perpendicularmente à linha de costa, conhecido também como deriva costeira (ARAÚJO, 2015). A intensidade da deriva litorânea e o balanço final dos sedimentos transportados e depositados devem determinar a velocidade e o potencial energético dos processos erosivos incidentes ao longo da orla marítima, sendo este um importante tópico a ser considerado para estudos de gerenciamento costeiro.

A movimentação dos sedimentos ao longo da ZC pode ser dividida em duas direções, longitudinais e transversais. O transporte transversal representa os movimentos dos perfis de praia nos sentidos tanto continente-oceano como oceano-continente, e ocorrem geralmente na zona de espraiamento. Na zona de arrebentação predominam as correntes longitudinais (*longshore currents*), geradas através da refração das ondas. A movimentação das partículas de sedimentos pode ocorrer tanto por arraste de fundo, caracterizado pelo rolamento, deslizamento e saltos das partículas, ou em suspensão, associado à zona de arrebentação, através da ação mecânica e turbulência gerada pela quebra das ondas (KOMAR, 1997).

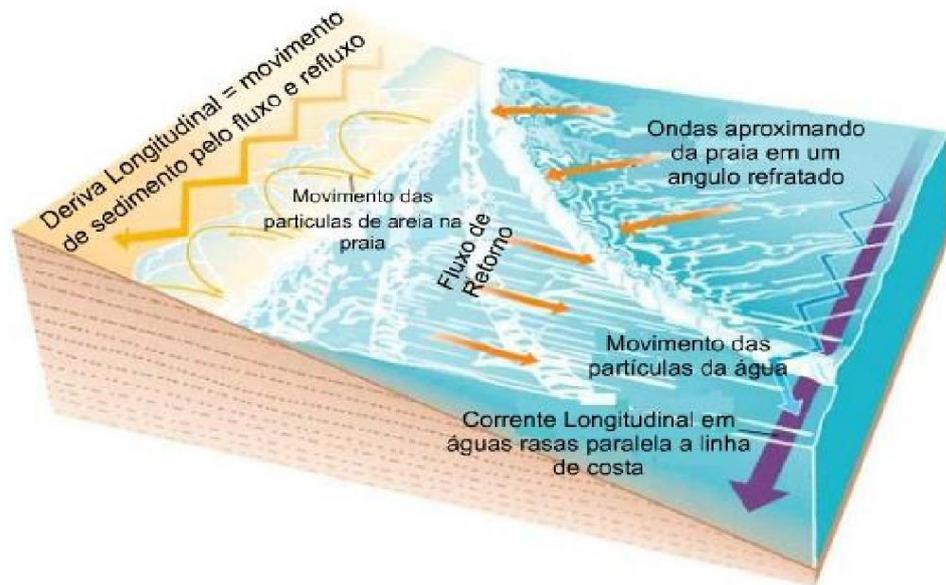
De acordo com Rossetti et al. (2016), a zona de espraiamento é determinada pelo conjunto de processos conhecidos como *uprush* e *backwash* (fluxo e refluxo), quando a onda se propaga ao longo da praia e ocorre o retorno da água, respectivamente. O processo de transporte de sedimentos na zona de espraiamento tem uma importância fundamental na recuperação da zona costeira, regulação da erosão e deposição da praia (BALDOCK et al., 2005).

Geralmente, as velocidades das correntes em direção à costa durante o fluxo são maiores, no entanto, de menor duração que as velocidades em direção ao mar aberto durante o refluxo. A máxima velocidade em direção à costa ocorre no começo do processo de fluxo e então decresce, enquanto as velocidades em direção ao mar aberto aumentam até um máximo no fim do processo de refluxo das ondas (HUGHES et al., 1997) (Figura 3).

Segundo Muehe (1994), o transporte longitudinal de sedimentos, gera erosão numa extremidade do arco praial e acumulação na outra, buscando uma posição perpendicular ao ângulo de incidência das ondas. Em praias interrompidas por obstáculos naturais ou artificiais, os efeitos da deriva litorânea são visíveis (HOEFEL, 1998). Segundo Wright et al. (1982), a força e direção das correntes longitudinais são de 10 a 15 vezes mais eficientes, que as ondas, para o transporte de sedimentos e mudanças morfológicas.

Além da deriva costeira, o transporte eólico é responsável pelo retrabalhamento dos sedimentos depositados na zona de intermaré expostos pela maré baixa. Segundo Villwock et al. (2005), o transporte controlado pelo vento é realizado geralmente por saltação ou arrasto ao longo da orla marítima.

Figura 3- Processos de deriva sedimentar na região costeira.



Praias onde há uma extensa área sem obstáculos e os ventos são fortes suficientes, é comum existirem dunas, especialmente embrionárias e frontais desenvolvidas através do grande volume de sedimentos transportados e posteriormente acumulados (VILLWOCK et al., 2005).

2.5. Marés

A maré astronômica, determinada pelo movimento periódico de subida e descida do nível do mar obedece à força do campo gravitacional, no sistema Terra-Sol-Lua. A amplitude da maré consiste basicamente no aumento e diminuição diária do nível dos oceanos causados pela ação gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol sobre a Terra, podendo ser observado ao longo das áreas litorâneas (KOMAR, 1997).

A ação atrativa da Lua com a Terra ocorre de maneira mais intensa, quando comprada ao Sol. A Lua em conjunção ou oposição com o Sol, representadas pelas Lua Cheia e Lua Nova são chamadas de marés de sizígia e geram as maiores amplitudes de maré. Nas Luas de quadraturas (Quarto Crescente e Quarto Minguante), a atração do Sol com a Terra permanece contrária a da Lua, fazendo com que a maré se comporte de maneira menos intensa, as chamadas marés de quadratura. Ou seja, em cada mês lunar (período de recorrência das fases da Lua) ocorrem duas marés de sizígia e duas marés equinociais.

Quando o Sol ou a Lua estão alinhados à linha do Equador ou próximos dela as marés tendem ter uma maior amplitude. No caso do Sol, esse fenômeno ocorre nos

equinócios: de Primavera, no mês de março e de outono, no mês de setembro. As marés de sizígia que ocorrem próximas aos equinócios são conhecidas como marés de sizígia equinociais, e apresentam as maiores amplitudes ao longo do ano (SILVEIRA, 2003).

Por outro lado, as marés meteorológicas são controladas pela ação dos ventos e da pluviosidade no oceano. Quando os ventos sopram do mar para o continente, promovem o empilhamento de água junto à costa, potencializando a maré alta. Já os ventos que sopram do continente, empurram a massa de água para o alto mar, fazendo diminuir as amplitudes da maré alta. A pluviosidade, por sua vez, adiciona água ao ambiente oceânico, fazendo com que o nível do mar se eleve, potencializando, dessa forma, a amplitude da maré alta (MARONE; CAMARGO, 1994).

Marés altas conduzem a incidência de ondas até a linha de costa, podendo resultar em processos erosivos mais intenso ao longo da orla marítima. Altas amplitudes de maré estão, geralmente, associadas a áreas mais suscetíveis à erosão costeira, quando comparadas a praias de micromarés (PRAMANIK et al., 2015).

A elevação do nível das águas, também favorece a elevação do nível freático, provocando, muitas vezes, alagamentos. Portanto, este parâmetro oceanográfico deve ser considerado importante em projetos de urbanização em terrenos de planície costeira (ADDO, 2013).

2.6. Ondas

As ondulações ao longo da superfície aquosa dos oceanos se formam e deslocam através da incidência dos ventos em rajadas que exerce uma fricção, gerando uma oscilação vertical na lâmina d'água, tornando a superfície rugosa. À medida que o vento incide sobre a superfície da água, as ondas aumentam de altura, comprimento e velocidade, proporcionalmente ao tempo e a distância percorrida pelo vento. Em contato com o fundo marinho raso, próximo à costa, as ondas sofrem transformações nas suas características e arrebentam, transferindo sua energia para a corrente que gera o fluxo e refluxo (KOMAR, 1997).

A altura significativa da onda é a altura média (de um canal para a crista) de um terço das ondas num espectro de ondas durante um determinado período de tempo. A energia de onda é um importante fator no estudo de processos erosivos costeiros. A relação entre a altura de onda e a energia de onda é calculada através da fórmula (MUEHE, 1994):

$$E = \frac{1}{8} \rho g h^2$$

Onde E é a densidade de energia, h é a altura de onda, ρ é a densidade da água e g é a aceleração da gravidade.

Segundo a classificação proposta por Galvin (1968), citado por Hoefel (1998) dependendo da declividade da praia, da altura e do comprimento de onda, as ondas podem quebrar basicamente de quatro formas (Figura 4):

- **Progressiva ou deslizante** – ocorre em praias de baixa declividade (inferior a 3%), nas quais a onda gradualmente empina-se para deslizar, dissipando sua energia através de uma larga faixa.
- **Mergulhante** – ocorre em praias de declividade moderada a alta (3 a 11°). A onda empina-se abruptamente ao aproximar-se da costa e quebra violentamente formando um tubo, dissipando sua energia sobre uma pequena porção da praia, através de um vórtice de alta turbulência.
- **Ascendente** – ocorre em praias de declividade tão alta que a onda não chega a quebrar, ascendendo sobre a face praial e interagindo com o refluxo das ondas anteriores.
- **Frontal** – ocorre em praias de declividade abrupta, sendo considerado um tipo intermediário entre o mergulhante e o ascendente.

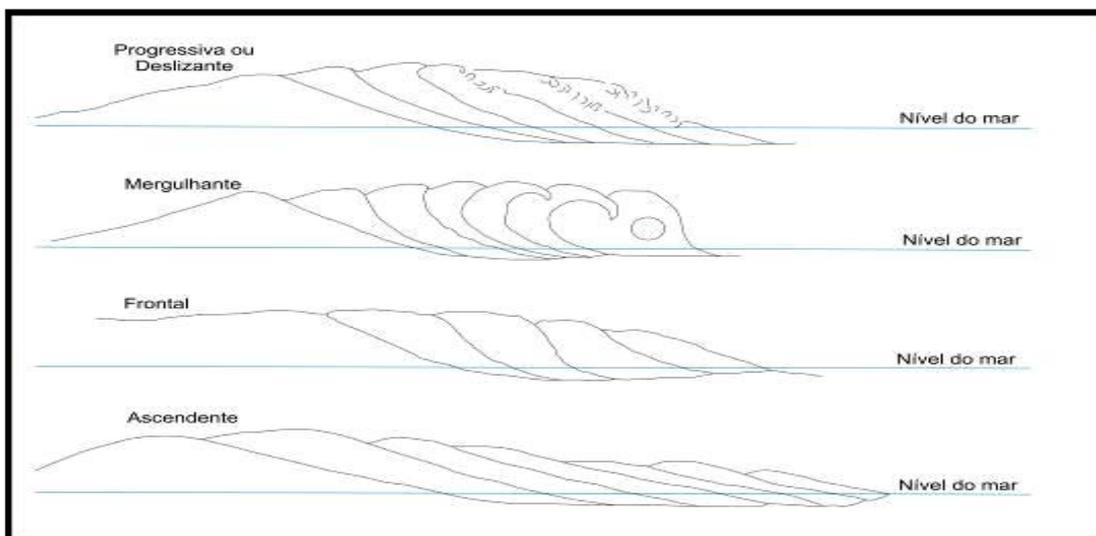


Figura 4- Tipos de quebra de onda nas zonas costeiras.
 Fonte: Silva et al. (2004).

Assim, a capacidade de mobilidade e transporte dos sedimentos costeiros pode ser mensurada em função do valor da altura significativa de onda. No geral, as alturas de ondas

são consideradas para a delimitação das porções de perigo ao longo da costa. A energia de onda é intensificada com o aumento da altura de onda, que resulta no transporte de sedimentos devido ao aumento da erosão e inundação ao longo da costa, portanto, áreas litorâneas com maiores valores de altura de onda são consideradas mais suscetíveis que áreas com ondas pouco expressivas (MAHAPATRA et al., 2015).

Segundo Muehe (1994), as ondas são as principais responsáveis pela erosão costeira, sendo um importante fator nos processos de dinâmica costeira e gerenciamentos costeiros. Apesar de sua importância, os dados de ondas ainda são escassos ao longo da zona costeira brasileira, principalmente na Amazônia.

2.7. Variação do Nível do Mar

Ao longo das ZC afloram feições depositadas, principalmente a partir do controle da variação do nível médio do mar durante as eras geológicas, sobretudo no período Quaternário (BIRD, 2008). Essas mudanças ocorrem sobre a influência de vários fatores, dentre eles: a dinâmica marinha e de correntes, efeitos gravitacionais causados pelas perdas ou ganho de geleiras e glaciares, armazenamento de águas nos continentes e do equilíbrio isostático (CARSON et al., 2016).

Estes ciclos de variação do nível do mar foram caracterizados com base em evidências sedimentares, biológicas e pré-históricas. Em grande parte das planícies costeiras brasileiras, as sequências sedimentares presentes, com idades anteriores ao final do Terciário e Quaternário, são representadas pela Formação Barreiras e unidades correlatas. Ao longo do Quaternário, dois ciclos transgressivos e regressivos de oscilações relativas do nível do mar modelaram as planícies costeiras brasileiras. O primeiro ciclo, de idade pleistocênica (~120.000 anos A.C.), atingiu cotas de 8 ± 2 m acima do nível atual. A partir do máximo transgressivo pleistocênico, o nível do mar recuou até posição 110 m abaixo do nível atual (17.000 anos A.C.). Ao longo desse período a plataforma permaneceu exposta aos processos flúvio-continentais. Desta forma, ao longo desse período houve uma variação de 118 m, resultando em uma taxa média de variação do nível do mar de 0,19 cm/ano (TESSLER; GOYA, 2005).

Após a regressão, o nível relativo do nível do mar foi submetido a uma nova elevação (5.000 A.C.), atingindo 4 m acima do nível atual. Houve um aumento de 114 m ao longo de 12.000 anos, indicado pela taxa média de 0,95 cm/ano e, finalmente, nos últimos 7000 anos ocorreu um período de regressão (SUGUIO et al., 1988). Todavia, estudos mais

recentes indicam que o cenário provavelmente está se invertendo e atualmente o nível médio do mar está passando por um período de transgressão.

Estudos de projeções da variação do nível do mar foram realizados tanto para a ZC do Brasil, como para outros países (CARSON et al., 2016; DANGENDORF et al., 2017; IPCC, 2013; SIMON et al., 2016). Estima-se que até o ano 2100, o nível dos oceanos pode aumentar de 18 a 74 cm globalmente. No Brasil, segundo dados maregráficos das estações no nordeste e sul, verificou-se ao longo dos últimos 50 anos, existência de uma variação positiva do nível médio, de aproximadamente 30 a 40 cm (MESQUITA, et al., 1986).

Alguns trabalhos indicam projeções da variação da linha de costa influenciadas pela variação do nível do mar nos Estados Unidos da América (DEAN; GUTIERREZ et al., 2014; HOUSTON, 2016). Na região Sul do Brasil, Germani et al. (2015) afirmam que o recuo da linha de costa pode variar de 561 m em um cenário positivo, chegando a atingir 1032 metros de recuo em um cenário mais pessimista, até o ano de 2100. Na ZCP estudos indicam que grande parte dos processos erosivos, causados pelas correntes estuarinas e deriva litorânea, e a variação da linha de costa estão intrinsecamente relacionadas à variação média do nível do mar (EL-ROBRINI et al., 2006, FRANÇA et al., 2012).

Para os cenários projetados, certamente serão necessárias estratégias de adaptação, que podem incluir obras de proteção costeira para conter o avanço marinho, e realocação, mas principalmente um melhor planejamento da ocupação em zonas costeiras vulneráveis aos impactos diretos das mudanças climáticas globais. Ambientes urbanos necessitam de uma maior atenção, por afetar diretamente a segurança da vida humana e seus bens materiais (GERMANI et al., 2015).

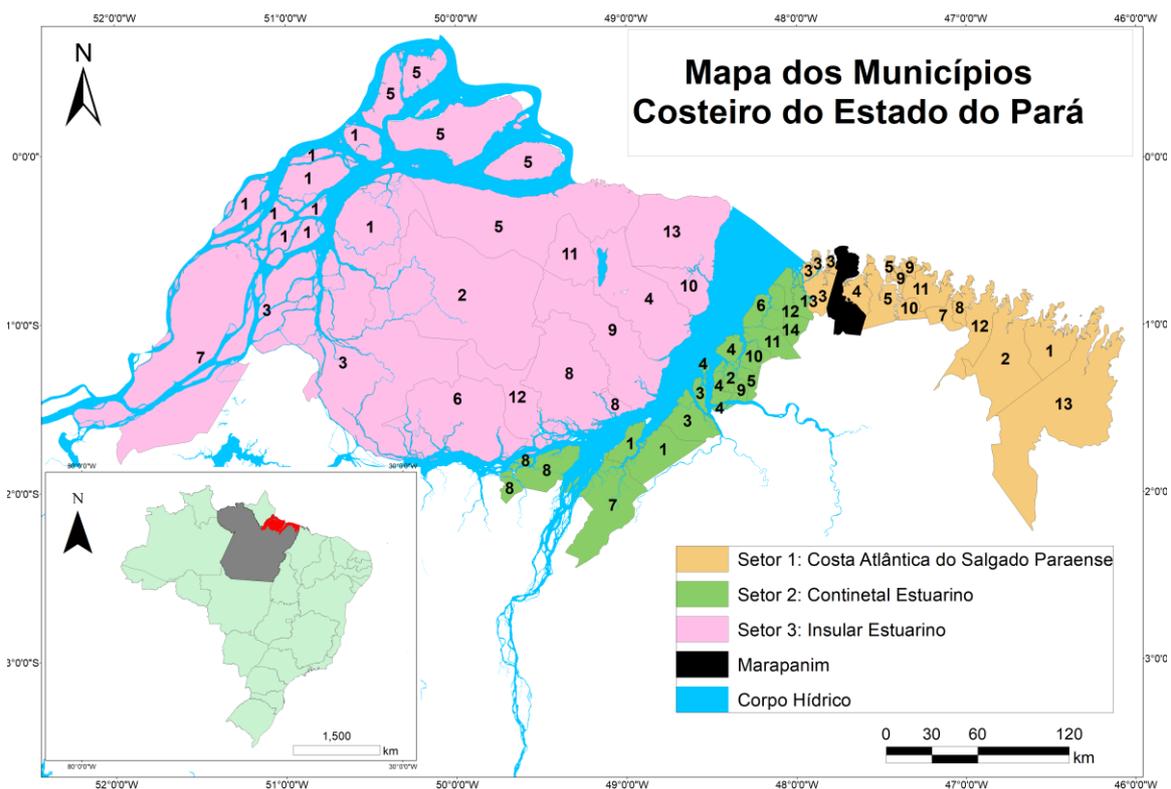
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Litoral Paraense

A Zona Costeira Amazônica está localizada entre o Cabo Orange (estado do Amapá) e a Ponta de Tubarão (estado do Maranhão), medindo cerca de 2.250 km de extensão, sem considerar as reentrâncias e as ilhas costeiras (SOUZA FILHO, 2005). Esta extensão corresponde a 35% da linha de costa do Brasil.

A ZC do Estado do Pará possui uma extensão de aproximadamente 1.300 km, estendendo-se do município de Viseu, no limite com o estado do Maranhão, até o município de Gurupá, no limite com o estado do Amapá. Esta zona é composta por 40 municípios e se encontra dividida em três setores: I (Costa Atlântica do Salgado Paraense), II (Continental Estuarino) e III (Insular Estuarino). O município de Marapanim encontra-se no setor I – Costa Atlântica do Salgado Paraense (Figura 5) (IBGE, 2010).

Figura 5- Mapa de Localização dos Municípios pertencentes à ZCP.



O setor do Salgado Paraense representa um dos maiores potenciais turístico-econômicos do Estado do Pará, por se tratar de uma região com belas paisagens de áreas alagadas, imensa diversidade de fauna e flora, e faixas litorâneas com extensos cordões arenosos, controlados por um regime de macromarés (SHORT; KLEIN, 2016).

Segundo Espírito Santo e Szlafsztein (2016), aproximadamente 45% da população do Pará (7.688.593 habitantes) ocupam as áreas costeiras, que representam apenas 6,2% do território paraense (78.240 km²), no entanto, boa parte está concentrada nas áreas urbanas. Segundo dados do IBGE (2010), os municípios da zona costeira paraense apresentam uma baixa densidade demográfica quando comparados a municípios interioranos mais desenvolvidos, como Belém, Marabá, Parauebas, Santarém, Altamira, dentre outros.

A tabela 1 apresenta a densidade demográfica dos municípios da ZC do Pará, numerados de acordo com a Figura 5.

Tabela 1- Dados de densidade demográfica dos municípios da ZC do Pará.

(continua)

Município	Área (Km ²)	População Residente			Densidade Demográfica (Hab./ m ²)
		Total	Urbana	Rural	
Setor Costa Atlântica do Salgado Paraense					
1. Augusto Corrêa	1.091,54	40.497	18.240	22.257	37,1
2. Bragança	2.091,93	113.227	72.621	40.606	54,13
3. Curuçá	672,67	34.294	12.174	22.120	50,98
4. Magalhães Barata	325,26	8.115	3.795	4.320	24,95
5. Maracanã	855,66	28.376	11.656	16.720	33,16
6. Marapanim	795,98	26.605	11.704	14.901	33,42
7. Primavera	258,60	10.268	3.877	6.391	39,71
8. Quatipuru	326,11	12.411	5.313	7.098	38,06
9. Salinópolis	237,73	37.421	33.391	4.030	157,4
10. Santarém Novo	229,51	6.141	1.809	4.332	26,76
11. São João de Pirabas	705,54	20.647	10.487	10.160	29,26
12. Trauateua	934,27	27.455	20.199	7.256	29,39
13. Viseu	4.915,07	56.716	18.397	38.319	11,54
Setor Continental Estuarino					
1. Abaetetuba	1.610,40	141.100	82.998	58.102	87,61
2. Ananindeua	190,45	471.980	470.819	1.161	2.477,55
3. Barcarena	1.310,58	99.859	36.297	63.562	76,21
4. Belém	1.059,45	1.393.399	1.381.475	11.924	1.315,26
5. Benevides	187,82	51.651	28.912	22.739	274,99
6. Colares	609,79	11.381	3.661	7.720	18,66
7. Igarapé-Mirim	1.996,79	58.077	26.205	31.872	29,08
8. Marituba	103,34	108.246	107.123	1.123	1.047,44
9. Limoeiro do Ajuru	1.490,18	25.021	6.197	18.824	16,79
10. Sto. Antônio do Tauá	537,62	26.674	14.871	11.803	49,61
11. Sta. Bárbara do Pará	278,15	17.141	5.458	11.683	61,62
12. São Caetano de Odivelas	743,46	16.891	6.958	9.933	22,72
13. São João da Ponta	195,91	5.265	1.031	4.234	26,87
14. Vigia	539,07	47.889	32.353	15.536	88,83
Setor Insular Estuarino					
1. Afuá	8.372,79	35.042	9.478	25.564	4,19

Município	Área (Km ²)	População Residente			Densidade Demográfica (Hab./ m ²)
		Total	Urbana	Rural	
Setor Costa Atlântica do Salgado Paraense					
2. Anajá	6.913,06	24.759	9.494	15.265	3,58
3. Breves	9.563,00	92.860	46.560	46.300	9,72
4. Cachoeira do Arari	3.100,26	20.443	7.356	13.087	6,59
5. Chaves	13.084,75	21.005	2.510	18.495	1,61
6. Currálinho	3.617,25	28.549	10.930	17.619	7,89
7. Gurupá	8.540,06	29.062	9.580	19.482	3,4
8. Muaná	3.763,33	34.204	14.521	19.683	9,08
9. Ponta de Pedras	3.363,74	25.999	12.424	13.575	7,73
10. Salvaterra	1.039,07	20.183	12.672	7.511	19,42
11. Santa Cruz do Arari	1.076,65	8.155	3.994	4.161	7,57
12. S. Sebastião da Boa Vista	1.632,25	22.904	9.902	13.002	14,03
13. Soure	3.517,31	23.001	21.015	1.986	6,54

Fonte: IBGE (2010).

Nota-se que o município de Marapanim, dentro do contexto do setor do Salgado Paraense, composto por 13 municípios, é listado como o quinto município de maior densidade demográfica, e o oitavo mais populoso. Dentre esta análise pode-se afirmar que este município, atualmente, demonstra uma média concentração populacional, e seu território, quando comparado aos demais no setor, não apresenta uma área muito expressiva. Esses fatores culminam em valores de densidade demográfica consideravelmente altos, que podem estar vinculados ao desenvolvimento de áreas de risco, quando a ausência de uma gestão territorial adequada.

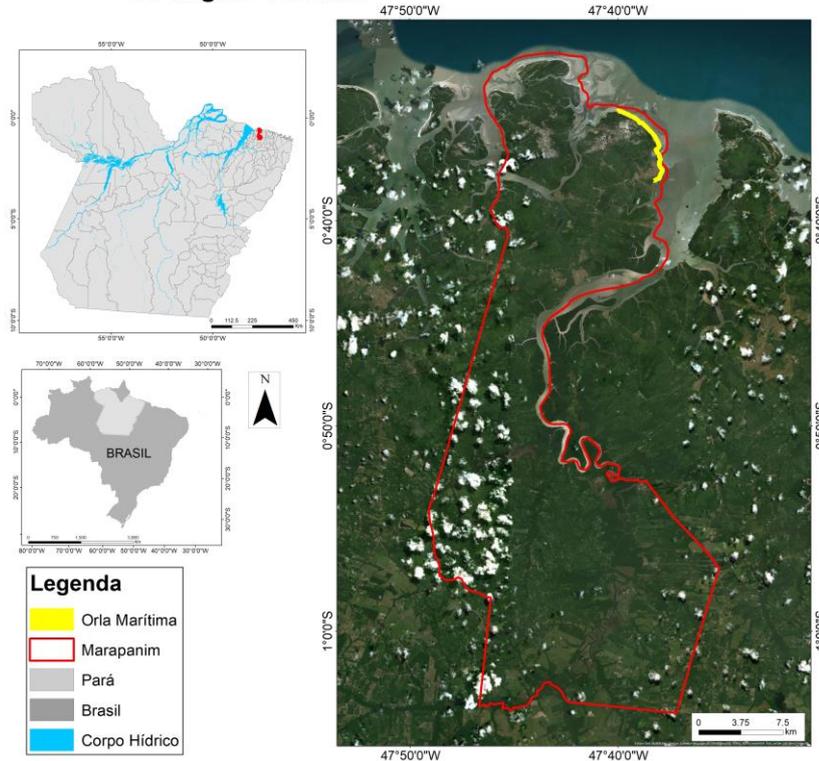
3.2. Localização do município de Marapanim e Área de Estudo

O município de Marapanim localiza-se na região Nordeste do Pará, na microrregião do Salgado. Limita-se ao norte com o oceano atlântico; ao sul com Igarapé-Açu e São Francisco do Pará; a oeste com Curuçá e Terra Alta; e a leste com os municípios de Magalhães Barata e Maracanã (Figura 6).

A área de estudo está inserida em um contexto costeiro-estuarino-fluvial, caracterizado como estuário do rio Marapanim, dividido em três áreas de acordo com sua morfologia e sedimentação. As porções litorâneas, basicamente, são áreas voltadas para o oceano Atlântico e dominadas pela dinâmica marinha, as regiões voltadas para o rio Marapanim com influência marinha como regime de maré ativo são controladas pela dinâmica estuarina, e as regiões interioranas que são controladas, principalmente, por processos aluvionares (SILVA et al., 2009b).

Figura 6- Mapa de Localização do Município de Marapanim.

Mapa de Marapanim e o detalhamento da Região Costeira



3.3. Características das Orlas Marítimas de Crispim e Marudá

A orla marítima das Vilas do Crispim e Marudá está localizada a Norte do município de Marapanim, entre as latitudes $0^{\circ}34'$ e $0^{\circ}40'$ e longitudes $47^{\circ}41'$ e $47^{\circ}37'$, voltado para o oceano Atlântico (Figura 7).

Na comunidade da praia do Crispim, moradores, comerciantes e turistas, convivem com diversos processos recorrentes de erosão, relacionados geralmente com eventos extremos, como o alcance máximo das marés de sizígia associadas à incidência de ondas energéticas na orla. Esses processos, além de influenciarem negativamente no desenvolvimento turístico-econômico, colocam em risco a população que utiliza a praia para recreação, fins comerciais ou residenciais. Moradias destruídas, entulhos, destroços, na principal rua de acesso à praia, retratam os intensos e energéticos processos erosivos causados pela ação abrasiva das ondas trazidas com a maré cheia, seguido de um descaso por parte das secretarias de meio ambiente, de obras, prefeitura e defesa civil (MELLO, 2016).

Em 2016, a destruição de asfalto de rua a beira-mar e posterior interdição de via dificultou o acesso à praia do Crispim, prejudicando as atividades do turismo em uma das praias mais procuradas por banhistas. As consequências negativas geradas pelo processo

erosivo são observadas através dos prejuízos financeiros extremamente altos no remanejamento de pessoas e obras que deverão ser implantadas, além, dos danos sociais e econômicos para a população local (MELLO et al., 2016).

Segundo a Defesa Civil do município de Marapanim, em maio de 2015, próximo à época de veraneio amazônica, a praia de Marudá passou por processos erosivos severos em sua orla evidenciados pelo piso de concreto cedido. Fissuras e rachaduras no chão e nas rampas de acesso à praia, assim como o comprometimento do muro de arrimo ao longo da orla são indícios dos processos energéticos com alto potencial danoso e diversas consequências negativas. Essas recorrentes problemáticas atingem diretamente a população local que tem parte de seu sustento a partir do turismo de veraneio.

Em períodos mais chuvosos, os estuários e canais de marés da ZCP demonstram altos níveis de lâmina d'água e as ondas tendem a ser mais energéticas, quando comparadas a estações menos chuvosas. Este domínio sazonal resulta na deposição de sedimentos, nos períodos chuvosos, em barras arenosas localizadas, geralmente, a centenas de metros costa afora e orientadas paralelamente a linha costa (BRAGA, 2007). Enquanto nos períodos secos menos energéticos, esses sedimentos tendem a recompor o ambiente praial de macromaré, sendo depositados ao longo da Zona de Espriamento (MASSELINK; SHORT, 1993).

Figura 7- Mapa de Localização das Praias de Marudá e Crispim.



3.4. Geologia

No Brasil, a exposição dos depósitos do Mioceno ocorre numa estreita faixa da ZC, que se estende desde o Amapá até o Rio de Janeiro, representados pela Formação Barreiras e secundariamente pela Formação Pirabas. Uma abordagem sistemática propõe que a gênese dos estratos miocênicos, está associada com mecanismos alóctones, envolvendo fatores ligados principalmente com variações do nível do mar, movimentações tectônicas e flutuações climáticas (ROSSETTI, 2001).

O município de Marapanim integra a bacia costeira cretácea, cujas formações aflorantes consistem nas Formações Pirabas, Barreiras, Pós-Barreiras e sedimentos quaternários. O Cenozóico é marcado inicialmente pela sedimentação calcária terciária da Formação Pirabas originados a partir de eventos transgressivos, datados do Mioceno (GÓES et al., 1990) e dos sedimentos clásticos do Grupo Barreiras, no Mioceno Inferior, os quais constituem os sedimentos aflorantes do Planalto Costeiro (ARAI et al., 1988 e 1994; ROSSETTI et al., 1989). O Quaternário é representado por sedimentos areno-argilosos pleistocênicos-holocênicos do Pós-Barreiras (SÁ, 1969), e por depósitos das planícies aluvionar, estuarina e costeira que compõem um complexo sistema deposicional (SILVA, 1996; SILVA Jr.; El-ROBRINI, 2001; SOUZA FILHO; El-ROBRINI, 1996).

A Bacia sedimentar Bragança-Viseu é caracterizada por uma estrutura alongada na direção noroestes-sudeste, cuja gênese está relacionada com o estiramento litosférico e a abertura do oceano atlântico equatorial iniciado no Eo-Cretáceo (ROSSETTI, 2001). Os processos tectônicos nesta bacia permaneceram mais ativos durante o Cretáceo e Cenozóico (Terciário Superior e Quaternário), marcado principalmente pelo intenso tectonismo ocorrido no Mioceno, como o desenvolvimento de falhamentos normais NW-SE, com mergulho para NE e transcorrência dextral E-W e NE-SW (COSTA et al., 1996).

Costa et al. (1996) sugeriram, com base em dados sedimentológicos, duas etapas principais: a primeira refere-se à individualização de falhas normais que propiciaram a ingressão do mar em uma extensa área, resultando na deposição da sequência carbonática da Formação Pirabas, sobretudo nas partes nordeste e leste da bacia, e a segunda relaciona-se à progressão da movimentação ao longo das falhas normais e responde pela deposição da sequência siliciclástica do Grupo Barreiras.

A Formação Pirabas determinada por depósitos de fácies carbonáticas, com porções variáveis de grãos siliciclásticos, que consistem em biocalciritos estratificados e não-estratificados, margas, calcilitos e bioermitos. As litologias dominantes são *wackestone-grainstone* fossilífero, *rudstones-floatstones-mudstones* e dolomitos neomorfizados. Grãos esqueletais incluem vários tipos de invertebrados, representados por equinodermas, gastrópodes, foraminíferos (plantônicos e bentônicos), ostracodes, bivalves, briozoários, algas (vermelhas e, subordinadamente, verdes) e raras calcíferas (ROSSETTI, 2006). A Formação Pirabas em contato com a Formação Barreiras consiste em calcários de coloração originalmente cinza, que se torna amarelada com o intemperismo e, subordinadamente folhelhos negros e verdes e, arenitos com tons variegados. Apesar de a formação aflorar apenas em poucos metros ao longo das falésias costeiras, ensaios em subsuperfície indicam que sua espessura varia de 15 m, 48 m de profundidade (ROSSETTI, 2001).

O ambiente deposicional da Formação Pirabas tem sido caracterizado como marinho aberto, de águas quentes, rasas e agitadas, contendo porções lagunares ou estuarinas e, restritamente, mangues em suas adjacências. Além disto, foram definidos três subambientes de plataforma carbonática marinha rasa, laguna e mangue, que se encontram dispostos de forma extremamente interdigitada. A sedimentação se apresenta, localmente, com caráter cíclico, sugerindo frequentes oscilações do nível do mar e litoral intensamente recortado durante o Mioceno Inferior (ROSSETTI, 2001).

Geralmente, as porções aflorantes ao longo das ZC são representadas por sedimentos finos (argila e siltitos) na porção inferior e arenitos com restritas porções conglomeráticas na porção superior. A ausência de registros fossilíferos, sua estrutura e padrões estratigráficos indicam um ambiente de condições fluvio-lacustres (ROSSETTI, 2001).

A Formação Barreiras consiste em fácies siliciclásticas determinadas por arenitos quartzosos, argilitos e, menos comumente, conglomerados de colorações negra, verde oliva, cinza ou, ainda, variegada. Sua espessura média varia de 5 a 10 m de profundidade, e seu contato superior com o Pós-barreira se dá por uma descontinuidade no topo da formação. A análise faciológica dessas porções siliciclásticas sugere estruturas atribuídas a influência de maré, as quais indicam um predomínio de ambiente litorâneo dominado por correntes de maré na deposição dos sedimentos (ROSSETTI, 2006).

A Formação Pós-Barreiras consiste em depósitos pliocênicos e mais jovens, com ambiente deposicional controlado predominantemente por processos eólicos e, afloram

geralmente, de forma delgada, como uma cobertura intemperizada sobre os depósitos da formação Barreiras, sendo a camada mais superficial chegou a atingir 13 m de profundidade (ROSSETTI et al., 2001).

Este depósito tem seu limite inferior delimitado por uma descontinuidade de caráter erosivo que a separa da Formação Barreiras. Esta descontinuidade é marcada por um horizonte de solo laterítico com concreções ferruginosas verticalizadas ou algumas porções de clastos lateríticos de dimensões variadas e seixos quartzosos (ROSSETTI et al., 2001).

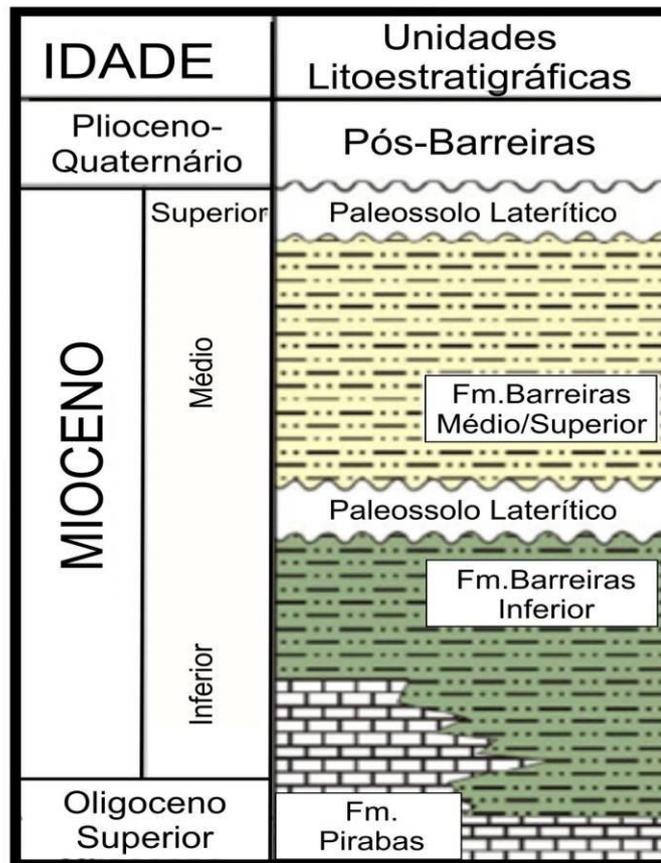
Quando comparado aos sedimentos do Barreiras, os sedimentos arenosos mais recentes são muito mais friáveis, homogêneos e com uma distinta coloração amarelada. Os depósitos arenosos são definidos como bem selecionados, bem arredondados, e variam de grãos muito finos a finos, e contém dispersos seixos de quartzo. Estratificações maciças são mais comuns, no entanto as estruturas sedimentares sugerem um ambiente deposicional controlado por processos eólicos (ROSSETTI et al., 2001).

Segundo Rossetti et al. (2001), a formação Pós-Barreiras pode ser dividida em três intervalos estratigráficos, os quais foram diferenciados por unidades (Figura 8):

1. **Unidade 1:** Depósitos arenosos/lamosos, circundados por dunas eólicas representam a porção inferior do Pós-Barreira, com granulometria que varia de grossa a muito grossa, mal selecionados e congloramerados com fragmentos de argila e concreções ferruginosas.
2. **Unidade 2:** Desenvolvimento de dunas eólicas de grande porte e passagens ascendentes de arenitos e argilitos.
3. **Unidade 3:** Depósitos de origem predominantemente eólica interdigitados com depósitos de mangues e, localmente canais de maré.

Na orla marítima do município de Marapanim o domínio geológico consiste basicamente em depósitos quaternários e alguns afloramentos da formação barreiras e pós-barreiras ao longo da praia de Marudá.

Figura 8- Coluna estratigráfica do NE do Pará.



Fonte: ROSSETTI, 2001.

3.5. Geomorfologia

O processo de sedimentação do quaternário na ZC do Nordeste do Pará foi controlado pela evolução estrutural sedimentar das bacias Pará-Maranhão, Bragança-Viséu e São Luís Equatorial. Esses depósitos aluvionares recentes são representados por sedimentos pelíticos a psamíticos, e em parte rudíticos, constituídos por cascalhos, areias e argilas inconsolidadas, ligados à evolução dos sistemas de drenagem e do litoral. Os depósitos fluviais são aqueles de terraços, canais e de planícies de inundação. No litoral aparecem depósitos vinculados a pântanos e mangues, terraços marinhos, barras litorâneas, campos de dunas, praias e cordões litorâneos (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI, 1996).

Souza Filho (2005) define esta costa como “Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia”, caracterizada por um relevo baixo (até 8 m), ampla planície costeira (até 70 km de largura) e plataforma continental adjacente (200 km de largura), sendo extremamente irregular, denteada e recortada por vários estuários.

Silva (2009b) subdividiu o estuário do rio Marapanim em três domínios morfológicos baseados nas formas de relevo, padrões sedimentares e processos dominantes, denominados de planície costeira, planície estuarina e planície aluvionar. A planície costeira é limitada ao sul pelos planaltos costeiros, que se estende por aproximadamente 30 km². Ao longo da planície costeira análoga a área de estudo, foram determinadas 6 unidades de relevo, influenciados pelos processos do vento, ondas e marés (Figura 9):

1. Paleodunas

Unidade localizada sobre o planalto costeiro a aproximadamente 12 m do nível do mar atual. Paleodunas geralmente são colonizadas por espécies arbóreas, arbustivas e cipós, alcançando uma vegetação exuberante e diversificada. Ocorre na porção interior e exterior da planície costeira, determinado por areia fina a muito fina, com coloração que varia do marrom claro a amarelo escuro e braço a cinza claro, marcas de raízes, fragmentos vegetais, além de estratificações planar, tabular e cruzada.

2. Praia arenosa de macromaré

Unidade limitada pelo intervalo do alcance máximo e mínimo da maré equinocial, definidos pelas cristas arenosas alongadas, paralelas à linha de costa, na direção E-W, em formato de arco na direção NW-SE. Foram diferenciadas três zonas: (a) a zona supramaré definida pelo alcance máximo da maré de sizígia e está exposta a ação dos ventos. (b) a zona intermaré é determinada por uma suave inclinação e é delimitada pelo alcance máximo e mínimo das marés de sizígia e, está exposta a processos alta intensidade energética, controlados pelas ondas e marés. (c) a zona de inframaré encontra-se sempre submersa e limitada pelo alcance da maré baixa e a zona de arrebentação. Essa faixa corresponde a uma extensa barra a partir da costa com 2 km de comprimento.

A praia arenosa apresenta aproximadamente 3 m de espessura de areias finas, quartzosas, bem selecionadas, angulosas de coloração rosada, com marcas de raízes e estruturas de bioturbação. Na sua base a coloração passa a cinza rosado, com estratificação cruzada planar longitudinal e marcas de ondas.

3. Barra arenosa de maré

Unidade representada por barras longitudinais alongadas desenvolvidas ao longo da foz dos canais de marés e de baías que durante a maré baixa formam uma extensa planície arenosa com aproximadamente 2 m de espessura. As barras arenosas ocorrem paralela ou

perpendicularmente a linha de costa, onde se desenvolvem ondulações, mega ondulações e sistema de cristas e de calhas. Em alguns casos migram sobre os manguezais, causando seu soterramento. Consistem em areias finas a muito finas, angulosas, bem selecionadas, de coloração cinza claro, com manchas de cinza médio e laranja acinzentado. Esta unidade apresenta-se maciça e com estratificações plano-paralela e ondulante, com restos de matéria orgânica e lentes lamosas (*flaser*).

4. Planície lamosa de maré

Unidade de maior ocorrência na planície costeira, com espessura máxima de 4 m. Determinada por terrenos baixos pouco declivosos, sujeito a níveis de baixa energia, constituídos por sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica com intensa bioturbação que estão sobre a influência das marés e se desenvolvem ao longo das baías estuarinas, sendo recortados por canais e córregos de marés. A unidade apresenta o predomínio de coloração cinza esverdeada a marrom claro, com laminação paralela, fragmento vegetais, lentes de areias oxidadas. A cobertura vegetal é composta por *Rhizophoramangle*, *Avicenia germinas* e *Lagunalaria racenosa* (SILVA Jr.; EL-ROBRINI, 2001).

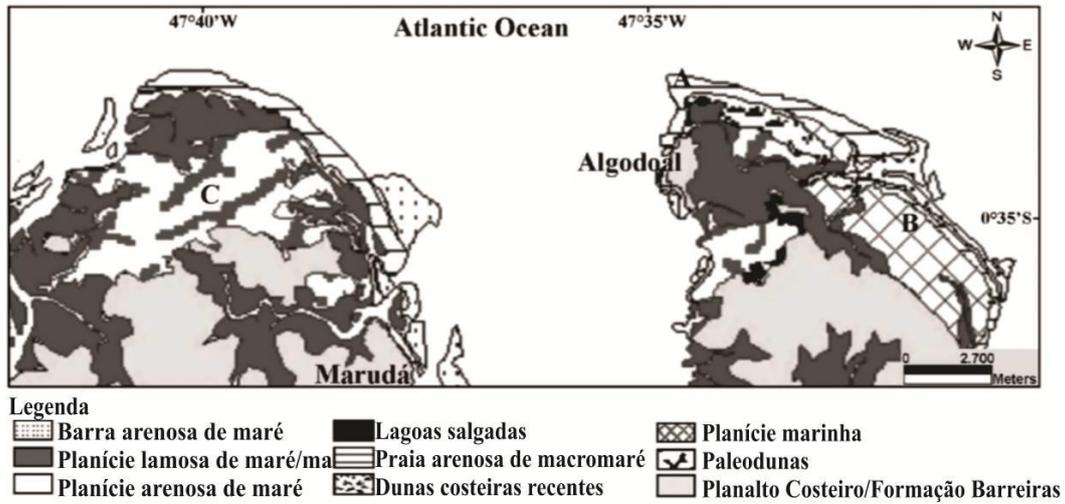
5. Planície Arenosa de maré

Unidade sedimentar apresenta aproximadamente, 3 m de espessura, e consiste em uma textura de areia fina argilosa, com coloração cinza clara a marrom claro, com laminações tabular cruzada e ondulante, com lentes argilosas (*flaser*) e de matéria orgânica.

6. Tabuleiro costeiro

Composto pelo Grupo Barreiras e sedimentos Pós-Barreiras, sua altura varia de 50 a 60 m e diminui em direção ao mar, onde desenvolve ou não falésias (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI, 1996).

Figura 9- Mapa das unidades morfológicas da planície costeira de Marapanim.

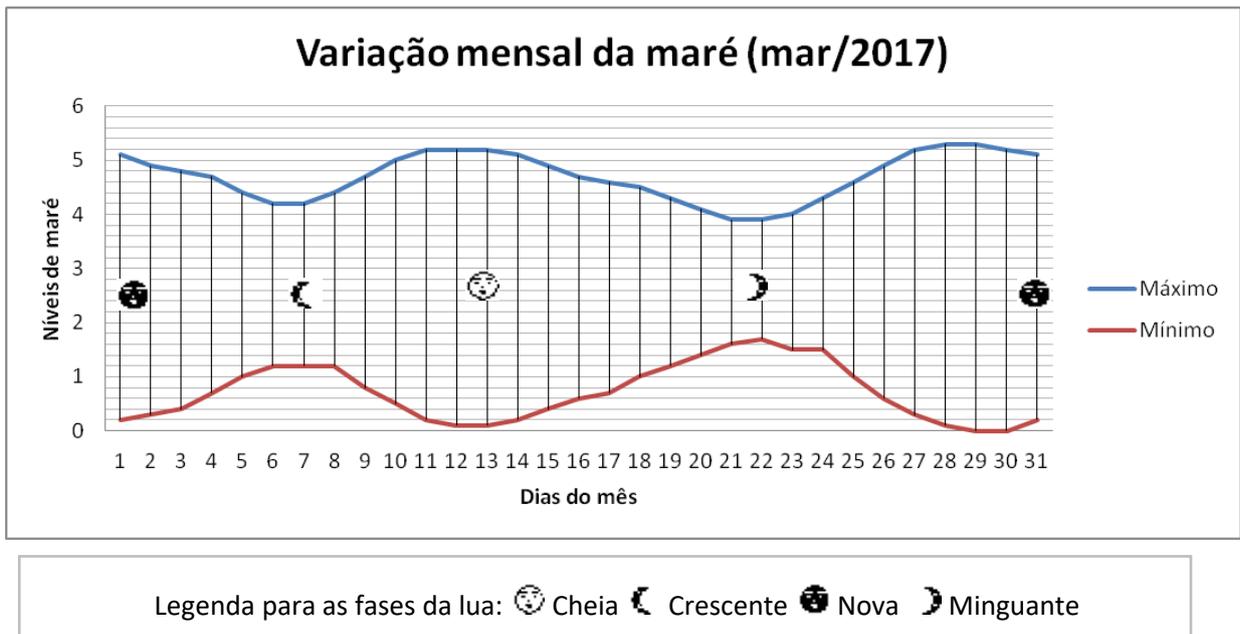


Fonte: Legenda traduzida de Boulhosa e Souza Filho (2009).

3.6. Aspectos oceanográficos

A plataforma rasa da Amazônia de aproximadamente 300 km de extensão propicia o regime de macromarés. O litoral Norte brasileiro é controlado por um regime de macromarés semidiurnas, com taxas que variam de 3,5 a 5,5 m, na Ilha dos Guarás (DHN, 2016), localizada no setor do Salgado Paraense. As marés de sizígia equinociais em conjunção com as altas concentrações pluviométricas estão associadas com as maiores cheias ao longo do ano, que ocorrem, geralmente nos meses de fevereiro e março (Figura 10).

Figura 10- Variação da maré ao longo do mês de março de 2017



Legenda para as fases da lua: ☉ Cheia ☾ Crescente ☿ Nova ☾ Minguante

Fonte dados: DHN (2017).

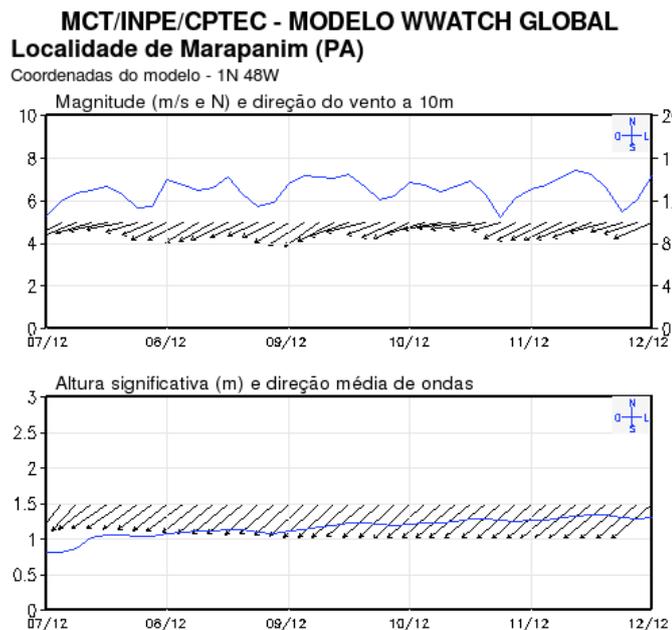
A ZCP é controlada pelas correntes de Noroeste, reforçadas pelos ventos alísios, e se deslocam perpendicularmente à plataforma continental (SHORT; KLEIN, 2016). Os ventos alísios de NE cruzam a plataforma continental em direção a sudoeste, geram “trends” de ondas incidentes na costa, que associados à morfologia de fundo, ocasionam correntes de deriva litorânea para noroeste (GEYER et al., 1996). As correntes geradas pelos ventos alísios são responsáveis pelo transporte de grandes quantidades de sedimentos da plataforma continental para o litoral (BRAGA, 2007).

As correntes de maré semidiurnas na ZCP apresentam velocidade máxima na plataforma continental interna de 2 m/s, durante a maré de sizígia e 0,2 m/s na quadratura (RANIERI, 2014).

Os ventos incidentes na ZCP são provenientes da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), contínuos, porém pouco intensos, capazes de manter o nível do mar em uma altura consideravelmente alta, em um curto intervalo de tempo. São geradas também, brisas marinhas por diferença térmica ao longo desta costa (SHORT; KLEIN, 2016).

Dados da estação SYNOP (Estação de superfície terrestre) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) observam que a velocidade dos ventos em 2016 na região do Salgado Paraense foi em média 4,8 m/s, sendo a direção de incidência dos ventos alísios de aproximadamente 57° (INMET, 2016) (Figura 11).

Figura 11- Magnitude, direção dos ventos, altura e direção média de ondas no município de Marapanim.



Fonte: (CPTEC, 2016).

As ondas geradas pelos ventos alísios de NE têm uma significativa influência na dispersão de sedimentos ao longo do litoral e na foz do rio Marapanim. As ondas de direção Nordeste geralmente são mais expressivas, com amplitudes de aproximadamente 1,5 m de altura e 10 s de duração. As ondas de maior expressão ocorrem preferencialmente nos meses de Junho a Novembro, enquanto nos período de Dezembro a Maio alcançam valores de amplitude de apenas 0,5 m de altura. No entanto, essas ondas são mais energéticas no período de seca e baixa descarga do rio, que se estende de setembro a novembro (INPE, 2017).

As ondas nas praias do Crispim e Marudá, segundo Galvin (1968), são caracterizadas como progressivas ou deslizantes, a energia de onda é muito baixa, extremamente dependente da maré. O processo de dissipação da energia se inicia ao longo da longa plataforma continental de baixa declividade, seguida pelas barras arenosas e os canais intermaré. O alcance das ondas somente atinge a costa no período de maré alta, nos períodos de maré baixa são dissipadas ao longo da plataforma.

3.7. Aspectos climáticos e meteorológicos

A classificação de Koppen (1948) caracteriza o clima do NE do estado do Pará como Equatorial Quente e Úmido (Clima Equatorial Amazônico) (ALVARES et al., 2013). Estudos recentes no Brasil apontam mudanças no clima pelo aumento da temperatura e alterações no ciclo da precipitação na região amazônica (SILVA et al., 2016).

Os impactos na região Norte do Brasil pelo El Niño³ refletem na diminuição da precipitação e secas, enquanto que, os impactos causados pela La Niña⁴ são observados através do aumento de precipitação e, conseqüentemente, maior vazão dos rios. Ambos os impactos são perceptíveis nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, no entanto, a partir

³ El Niño - Oscilação Sul (ENSO): Aquecimento das águas superficiais do Oceano Pacífico tropical, o Pacífico central e leste ao longo da costa do Equador e do Peru, mudando a circulação e chuvas a nível regional e global e afetando a indústria de pesca local. Este evento oceânico está associado com a flutuação de um padrão e circulação da pressão da superfície intertropical nos oceanos Índico e Pacífico, chamado de Oscilação Sul. Este fenômeno da junção oceano-atmosfera é coletivamente conhecido como El Niño – Oscilação Sul, ou ENSO. Durante um evento El Niño, o transporte predominante dos ventos enfraquece e a contracorrente equatorial se fortalece, causando o aquecimento das águas na área da Indonésia e flui em direção ao leste e cobre as águas frias da corrente do Peru. Este evento tem grande impacto no vento, na temperatura da superfície do mar e nos padrões de precipitação no Pacífico tropical. Tem efeitos climáticos através da região do Pacífico e em muitas outras partes do mundo (MARENGO, 2007).

⁴ La Niña: Esfriamento das águas superficiais do oceano Pacífico Tropical Central e do Leste. O gradiente de pressão entre o Pacífico Central e do Oeste (chamado de “Oscilação Sul”) experimenta variações associadas ao esfriamento do Pacífico Equatorial (MARENGO, 2007).

destes fenômenos pode-se definir se o restante do ano será mais chuvoso ou mais seco (CORREA, 2011; MARENGO; NOBRE, 2009).

O ciclo anual das chuvas na Amazônia Oriental é marcado pelo movimento migratório latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico Equatorial. As Linhas de Instabilidade são as que produzem intensas precipitações na região. O regime de precipitação da Amazônia é ainda determinado, pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta da Bolívia (AB) (SILVA, 2010).

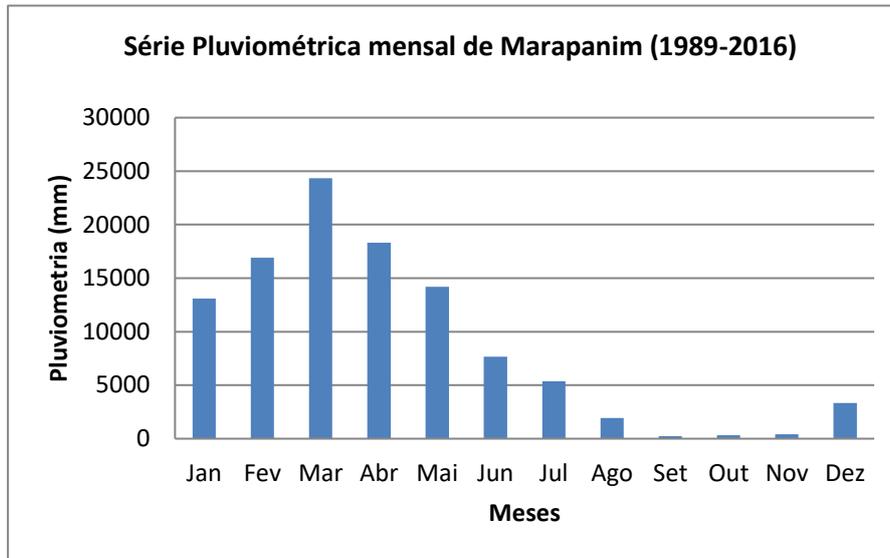
A precipitação na região Amazônica apresenta suas particularidades por estar localizada próxima à linha do Equador, determinada por períodos menos chuvosos, que se estendem de junho a novembro, o verão amazônico (inverno no hemisfério sul) e períodos mais chuvosos que se estendem de dezembro a maio, o inverno amazônico (verão no hemisfério sul). A precipitação média mensal no município de Marapanim é de cerca de 2.808 mm e a umidade é alta, geralmente acima de 80% (ANA/CPRM, 2016).

Durante o período menos chuvoso, os ventos predominantes na ZC paraense fluem na direção norte-nordeste, e no período mais chuvoso os ventos tendem a fluir na direção leste-nordeste, associado ao deslocamento da ZCIT para o Hemisfério Sul.

A velocidade do vento aumenta com a proximidade do litoral, devido ao efeito de brisa acentuado, tanto marítima quanto terrestre, sendo a brisa marítima mais intensa. Durante o período menos chuvoso amazônico, com a diminuição de precipitação na região, o continente fica mais aquecido, implicando num diferencial de temperatura maior entre o continente e o oceano, aumentando assim, a brisa marítima (MACOLA; EL ROBRINI, 2004). Pode-se, portanto, presumir que nestes períodos as ondas se desenvolvem com amplitudes de maior expressão (Figura 12).

A média anual da umidade Relativa do ar é cerca de 80%, indicando uma alta taxa de umidade da região, característica da região amazônica. A temperatura média diária apresenta valores de 25,8 °C, com amplitudes térmicas de aproximadamente 9°C (INMET, 2016).

Figura 12- Série histórica da precipitação mensal (1989-2016) no município de Marapanim.



Fonte: ANA/CPRM, 2016.

3.8. Aspectos Fisiográficos

Do ponto de vista ambiental, os municípios limítrofes com o Oceano Atlântico compõem a região do Salgado Paraense e apresentam como ecossistemas na área principalmente os manguezais, bem como os estuários, as planícies de maré, as praias arenosas e localmente as restingas. Em Marapanim, as restingas representam ecossistemas litorâneos importantes, todavia, as intervenções antropológicas vêm causando uma alta degradação (BASTOS, 2003). Os manguezais ocorrem em grande parte do território costeiro do município, pois a geografia repleta de reentrâncias favorece a instalação desse ecossistema de grande importância (PROST et al., 2001).

A sedimentação do quaternário na área de estudo foi controlada basicamente, pela evolução estrutural sedimentar das bacias sequenciais quaternárias, que incluem depósitos aluvionares recentes, representados por sedimentos pelíticos a psamíticos, e em parte rudíticos, constituídos por cascalhos, areias e argilas inconsolidadas, ligados à evolução dos sistemas de drenagem e do litoral.

Os principais solos dessa região consistem em basicamente argissolos, latossolo e neossolo quartzarênico (SILVA et al., 2009a), além de Gleis Pouco Húmicos, Areias Quartzosas Marinhas, Areias Quartzosas Podzólicas e Solonchaks Sódicos (OLIVEIRA Jr. et al., 1997).

Os manguezais, a vegetação de restinga e as dunas são importantes nichos ecológicos que contribuem como protetores da zona costeira contra a ação abrasiva dos processos físicos marinhos, e para a conservação do solo e da água. A degradação dos mesmos implica além da perda de uma diversidade de habitats, a perda também de um protetor natural (RANIERI, 2014). Os manguezais funcionam com uma barreira mecânica à ação erosiva das ondas e marés, retém os sedimentos carregados pelos rios, tem ação depuradora (verdadeiro filtro biológico natural da matéria orgânica e área de retenção de metais pesados), área de concentração de nutrientes; área de reprodução, de abrigo e de alimentação de inúmeras espécies e área de renovação da biomassa costeira e estabilizador climático (ALVES, 2001).

A cobertura vegetal presente está intimamente relacionada às feições morfológicas e ambientes deposicionais, sendo estas classificadas por Silva (1996) como: vegetação de praias e dunas rasteiras nas zonas de berma, arbustiva a arbórea nos campos de dunas (móveis e paleodunas), e de brejo herbáceo em zonas de interdunas; vegetação de mangue (árvores pneumatóforas); e vegetação de lagos (ciperáceas e vegetação flutuante).

Dentre os principais fatores de impacto sobre o meio ambiente na orla marítima do município de Marapanim estão o desmatamento das áreas de manguezal e restinga.

3.9. Turismo e ocupação no Município de Marapanim

As diversas formas de uso e ocupação do solo ao longo da ZC têm criado intensas pressões na região. A ZCP possui características geográficas peculiares, quando comparada ao restante da ZC brasileira. Scherer et al. (2009) afirmam que a Amazônia “apresenta o litoral menos povoado de todo o litoral brasileiro, compondo uma linha de costa bastante diversa”, sendo onde se localizam as áreas protegidas de maior extensão, representadas por Reservas Ambientais e Áreas de Proteção Ambiental.

No entanto, o rápido e desordenado processo de urbanização vem gerando sérios problemas de caráter socioambiental: ocupação territorial em áreas de risco, desmatamento, pesca, contaminação do lençol freático, contaminação dos rios e estuários (SILVA, et al. 2011).

O município de Marapanim pode ser considerado como um exemplo de ocupações territoriais desordenadas em processo inicial de expansão urbana. Assim como descrito por Souza et al. (2016) para o município de Salinas, é observado também em Marapanim, os impactos na dinâmica sócio espacial causados pela ocupação desordenada. Ocorrência de erosão, retirada de matas ciliares e manguezais, remoção de dunas, o aumento da

contaminação da água, e o desenvolvimento de áreas carentes economicamente são algumas das problemáticas presentes na área de estudo.

Essa dinâmica fez com que a população do município, que contava com 17 mil habitantes no ano 1970, passasse por um processo de contínuo aumento demográfico, chegando a 27.569 habitantes estimados em 2017, segundo os resultados do Censo Demográfico publicado pelo IBGE em 2010. Juntamente com esse crescimento demográfico ocorre um aumento proporcional de moradias e de áreas ocupadas na região (Figura 13).

A orla marítima de Marapanim, caracterizada por áreas naturais de manguezais, rios, praias, igarapés, furos e florestas, ao longo dos anos, foi ocupada pela população que utiliza estes recursos naturais como a principal fonte de subsistência. Atualmente, a economia da população residente no município de Marapanim é baseada principalmente nas atividades de pesca artesanal e agrícola, que consiste geralmente no cultivo da mandioca, atividades industriais, portuárias e turísticas.

Comunidades litorâneas, como Marudá e Crispim, vêm se defrontando com o aumento do turismo (SOUSA, 2017), alterando o cenário natural destas áreas de vilas de pescadores para balneários turísticos, direcionado sem os devidos planos de gerenciamento territorial.

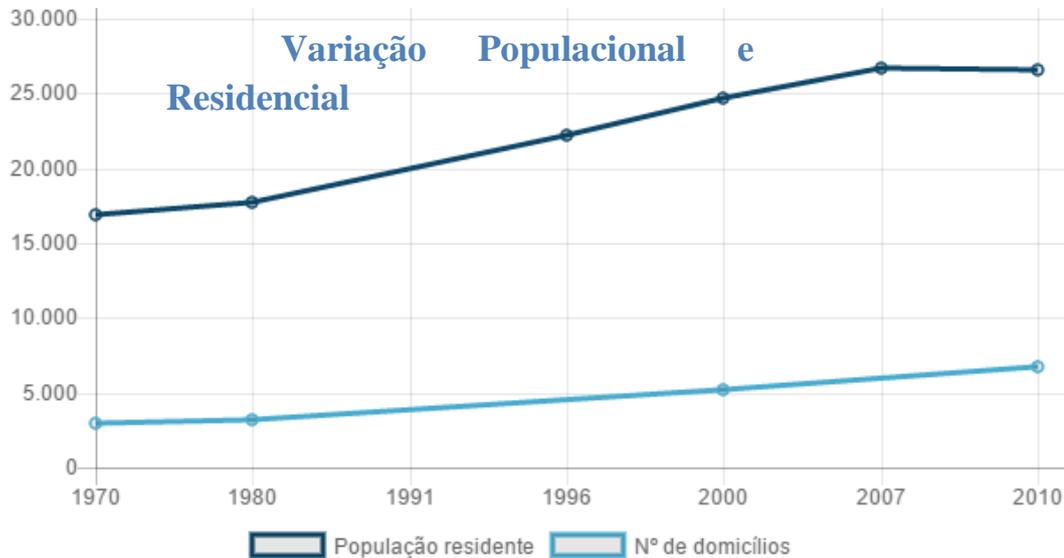
O aumento exponencial do fluxo econômico e do turismo nas ZC, mesmo que tardio, vem se intensificando ao longo de toda a ZCP. Associado ao aumento da urbanização, conflitos ambientais e socioeconômicos recorrentes passaram a ocorrer devido às diferentes formas de uso e ocupação do solo, além da exploração dos recursos costeiros, poluição, degradação ambiental e os perigos naturais relacionados à ZC que podem gerar danos à população e ao meio onde residem. Comunidades locais residentes nas planícies e nas porções de terras mais baixas são comumente mais afetadas pelos processos de erosão costeira (SZLAFSZTEIN, 2012).

A orla marítima de Marapanim se destaca pelas atividades turísticas de veraneio, retratada por belezas naturais e cultura regional. Apesar da escassa estrutura de serviços e infraestrutura, as cidades inseridas na ZCP apresentam características morfológicas e ambientais dos sítios urbanos, que impulsionam as atividades turísticas.

Muitas praias ainda são de difícil acesso por se tratar de ambientes rodeados por extensos mangues, rios e igarapés, com o baixo investimento na indústria turística e a baixa

qualidade de serviço e infraestrutura. Poucas praias do litoral amazônico são utilizadas, tradicionalmente, para o lazer e recreação (SOUSA, 2017).

Figura 13- Variação populacional e residencial, no município de Marapanim (1970 – 2010).



Fonte: Censo IBGE (2010)

O aumento do turismo aliado à falta de planejamento de alguns trechos do ambiente praias contribuem para a ocupação das dunas, ambientes de praia e mangues por casas de veraneio, restaurantes, pousadas e residências fixas. Essas construções, além de contribuírem para altos níveis de exposição, devido seu posicionamento, também podem ser analisadas quanto o seu padrão construtivo. Edificações com estrutura mais resistentes, geralmente demonstram uma menor sensibilidade ao processo erosivo.

A ocupação destas áreas ocorre sem o auxílio de um projeto de ordenamento territorial adequado, geralmente, através de planos diretores antigos que desconsideram o pleno processo de participação social (POLLETTE; SILVA, 2003), e de centros comunitários que muitas vezes se mostram integrados e articulados com as necessidades de suas comunidades ou vilas.

Esse descaso ou ausência de gestão costeira atinge principalmente as comunidades, que apresentam maiores índices de vulnerabilidade social, como pescadores e ribeirinhos, e as atividades turísticas.

3.10. Impactos e Instrumentos de Gestão Costeira

De acordo com a Lei Federal 7661/88, legalmente todo e qualquer construção no ambiente de praia deve estar devidamente regularizada, com as autorizações pertinentes, e as construções/estruturas sem autorização, deveriam ser imediatamente retiradas e a área

recuperada por conta de quem a ocupa. Isto está descrito no discurso sobre a ocupação nas praias, *“É vedada a ocupação que possa comprometer a integridade das áreas de uso comum do povo, de segurança nacional, de preservação ambiental ou necessárias à preservação dos ecossistemas naturais”*.

Segundo Szlafsztein (2009), a crescente ocupação da ZC permitiu um avanço nas pesquisas técnico-científicas e nos planos de gerenciamento costeiro. No Brasil, apesar de embrionário, os estudos voltados para o gerenciamento das zonas costeiras passam a ser desenvolvidos a partir da Lei Federal nº 7661 de 1988, que instituiu o PNGC. O PNGC tem como objetivo, contribuir para o ordenamento do espaço costeiro, a utilização e preservação de seus recursos e a racionalização das atividades socioeconômicas ou culturais desenvolvidas dentro de seus limites, além de melhorar a qualidade de vida da população (BRASIL, 1990).

No Brasil, a Constituição Federal (BRASIL, 1988) indica que compete a União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar sobre os problemas ambientais, a administração do patrimônio público e a preservação dos recursos naturais, turísticos e paisagísticos (art. 24º). Em nível Federal, a gestão costeira é atribuída ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) e ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Segundo o PNGC I (BRASIL, 1990), os estados deverão desenvolver, em conjunto com os municípios, seus respectivos Planos de Gerenciamento Costeiro, possibilitando uma aplicação regional deste, respeitando as normas e diretrizes do Plano Nacional. Desde então foram propostos inúmeros instrumentos de implantação voltados para a ZC e orla marítima, dentre estes: Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC); Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (PMGC); Sistema de Informação de Gerenciamento Costeiro (SIGERCO); Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira (SMA-ZC); Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira (RQA-ZC); Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro (ZEEC); e Plano de Gestão da Zona Costeira (PGZC) (SEMAS-PA, 2017).

No âmbito da CIRM, por Portaria Ministerial nº 440, de 20 de dezembro de 1996, foi criado o Grupo de Integração de Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), e instituído com o propósito de promover a articulação das Ações Federais na Zona Costeira a partir dos planos de ação federal (PAF). Os PAF da ZC foram divididos em três linhas de ação: Ordenamento Ambiental Territorial, Conservação e Proteção do Patrimônio Natural e Cultural, e Controle e Monitoramento (BRASIL, 2016).

No âmbito do Ordenamento Ambiental Territorial foi criado o projeto de Gestão Integrada da orla marítima - Projeto Orla, implementado em 2001, que consiste em uma ação integrada entre o MMA e a Secretaria do Patrimônio da União (SPU/MPOG), visando otimizar o ordenamento dos espaços litorâneos sob domínio da União, no caso em questão a orla, aproximando as políticas ambiental, urbana e patrimonial (BRASIL, 2004).

Além dos planos voltados diretamente para a ZC, os planos diretores municipais poderiam ser utilizados, mesmo que indiretamente, para atender essa porção do município (SILVA, 2012). De acordo com a Lei Federal nº 10.257 de 2001, o Plano Diretor passa a ser obrigatório para municípios com os seguintes requisitos: mais de 20 mil habitantes; integrantes de regiões metropolitanas; áreas de interesse turístico; e situados em áreas de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental na região ou no país (Art. 41).

No processo de elaboração dos Planos Diretores Municipais dos municípios costeiros do litoral norte brasileiro, por razões diversas, não foram levadas em consideração as características fundamentais de um município costeiro e sua orla marítima, negligenciando a abordagem de problemas prioritários: erosão, contaminação, veraneio e turismo, implantação de infraestrutura portuária, uso do solo e ordenamento territorial costeiro. Os PDM se restringem atualmente aos problemas convencionais de municípios interioranos paraenses, sem levar em consideração as necessidades de uma abordagem costeira integrada de um município da ZC (SILVA, 2012).

No estado do Pará, a partir do decreto nº 1945 em outubro de 2009, é criada a Comissão técnica do Estado do Pará – CTE-PA para o acompanhamento do Projeto de Gestão Integrada da Orla Flúvio-Marítima. Além de promover o incentivo às potencialidades dos recursos naturais da região e sua conservação, o projeto propõe a identificação das áreas vulneráveis e o efetivo controle sobre os agentes causadores de poluição ou degradação ambiental que possam ameaçar qualquer forma de vida (BRASIL, 2009).

Segundo Szlafsztain (2009), o Estado do Pará, de forma alarmante, mostrava um sucesso quase nulo na implementação do programa de gestão costeira. Os órgãos competentes justificavam esta situação com base no pobre suporte da sociedade e das comunidades locais às atividades do Programa, na falta de coordenação institucional e na carência de disponibilidade de informações e recursos financeiros. Desde então, foram elaboradas oficinas, seminários e capacitações técnicos para a formação do Comitê Gestor do Projeto

Orla e Gerenciamento Costeiro pela Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS-PA). A partir do Decreto estadual nº 1759/2017 instituiu-se o Comitê Técnico Estadual de Apoio ao Gerenciamento Costeiro do Pará (CT-GERCO/PA), coordenado pela SEMAS, que tem como atribuições a elaboração e implementação dos Zoneamentos Ecológico-Econômicos municipais e a elaboração de instrumentos do Gerenciamento Costeiro municipais.

Para este trabalho, vale ressaltar a criação da lei federal 12.608/12, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) abrange as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil. Integrada às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável. Além de promover a identificação e avaliação de ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades.

3.11. Carta de Aptidão à Urbanização

No ano de 1979, uma das primeiras regulamentações voltadas como o gerenciamento territorial e uso e ocupação do solo foi regulamentada a partir da lei federal 6.766/79 de parcelamento do solo. Esta lei tem como objetivo de desenvolver as diferentes atividades urbanas, com a concentração equilibrada dessas atividades e de pessoas no Município, estimulando e orientando o desenvolvimento urbano, mediante o controle do uso e aproveitamento do solo. Para os municípios inseridos no cadastro de municípios com área suscetíveis a processos naturais, a aprovação de projeto de loteamento fica vinculada à elaboração da carta de aptidão à urbanização.

O Estatuto das Cidades, de acordo com a Lei nº 10.257/01, cria e regulamenta instrumentos que visam assegurar a função social da propriedade e da cidade, bem como a regulação e controle do uso e ocupação do solo urbano e rural. Este trabalho busca utilizar a carta de aptidão à urbanização com enfoque no planejamento urbano, tanto para as porções territoriais ainda não ocupadas e sem infraestrutura instalada, quanto para os locais já ocupados com infraestrutura urbana parcial ou total, correlacionando os mesmos com os processos geodinâmicos passíveis de serem deflagrados naturalmente, ou por ação/intervenção antrópica, e as características do meio ambiente físico, biótico e antrópico a ser ocupado (BRASIL, 2004a).

Vale ressaltar que a Lei 12.608/12 recomenda a elaboração de cartas de aptidão à urbanização aos municípios brasileiros com “áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos”. As cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente a desastres naturais têm resultado em produtos com grande potencialidade de uso no planejamento territorial (BRASIL, 2012).

As cartas de aptidão à urbanização podem ser produzidas em diferentes escalas. As mais utilizadas, visando o estudo geotécnico, tendo em vista a dimensão das feições e sub-feições geológicas, são apresentadas em escalas de detalhe como 1:10.000, 1:5.000 ou escalas maiores que 1:5.000 (SOBREIRA; SOUZA, 2012).

O presente estudo tem o enfoque no desenvolvimento da carta de aptidão à urbanização ao longo da orla marítima das praias do Crispim e Marudá, pautado na intensa dinâmica de processos costeiros atuantes no local diante de um baixo ou nulo planejamento territorial.

4. METODOLOGIA

O estudo de aptidão à urbanização teve como base a vulnerabilidade socioeconômica, suscetibilidade e perigo a erosão costeira, dividido em 11 etapas de atividades: compilação bibliográfica e de dados publicados; definição das variáveis analisadas; análise e aquisição de imagens de satélite; campanhas de campo; classificação das variáveis em unidades; atribuição de notas para cada unidade de acordo com sua vulnerabilidade, perigo ou suscetibilidade; elaboração do espectro vetorial de cada variável e suas respectivas unidades; transformação destes vetores em dado *raster*; elaboração do mapa de vulnerabilidade; elaboração do mapa de perigo; e integração dos mapas obtidos e elaboração final da carta de aptidão a urbanização através da álgebra de mapas (Figura 14).

Para a compilação dos dados foram consultados acervos das bibliotecas da Universidade Federal do Pará (UFPA), além do acesso ao Portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), do *Science Direct* e do Google Acadêmico. Para a aquisição de dados já publicados foram consultados o Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil (CPRM), *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Dados de perfil de praia de 2013 e 2015, fotografias e vídeos foram cedidos pelo Laboratório de Geologia de Ambientes Aquáticos da Universidade Federal Rural da Amazônia (LGA).

As Variáveis foram definidas e divididas em físicas e socioeconômicas. As variáveis físicas foram divididas em Feições Geomorfológicas, Tipos de Orla, Variação da Linha de Costa e Variação do perfil de praia. As variáveis socioeconômicas foram divididas em Exposição da População a erosão, Tipos de Construção e Tipos de Obras. Essas variáveis foram definidas a partir de uma análise quali-quantitativa da região de estudo, com base em trabalhos anteriores e atividades de campo e, posteriormente, classificadas em níveis hierárquicos de influência. Seus resultados foram apresentados em forma de mapa de perigo e vulnerabilidade e a análise e interpretação final, realizadas a partir deste produto.

As imagens *RapidEye* foram disponibilizadas através do acervo de imagens da CPRM, enquanto as imagens *GeoEye* foram extraídas do *GoogleEarth* ou utilizadas diretamente no *ArcMap* através do *BaseMap*.

As etapas de campo foram realizadas uma vez por mês, no mês de março de 2016 e nos meses de junho a outubro de 2017. Os dias foram definidos de acordo com a previsão das maiores amplitudes de maré, disponibilizados pelo site do DHN, os quais se concentraram nos primeiros dias de lua nova, e a coleta dos dados foi realizada no intervalo do pico da maré baixa nos referidos dias. Ao longo das campanhas campo foram coletados dados de perfil de praia através da estação total e três prismas, além da validação de alguns dados e mapas elaborados no escritório, como mapa geomorfológico, dados dos tipos de construção, dados das obras de contenção. Foi realizado o levantamento aero fotográfico através do Drone Phantom 3, nos meses de junho e setembro de 2017, os voos foram realizados na altura de 70 m, a qualidade das imagens fotográficas é de 12 megapixels e os vídeos capturados em 4k, além de imagens de sobrevoo de helicóptero realizada no ano de 2016.

As variáveis físicas e socioeconômicas definidas anteriormente foram subdivididas em unidades. A unidade Feições Geomorfológicas foi dividida em: *Cherniêr*, Tabuleiro Costeiro, Paleodunas, Dunas Frontais, Barras Arenosas, Lagos Interdunas, Praias Arenosas de Macromarés, Canais de Maré e Planície Fluviomarinha. A unidade Tipo de Orla foi dividida em: Orla Abrigada, Orla, Semi-Abrigada e Orla Exposta. A unidade Variação da Linha de Costa foi dividida em: Alta Erosão, Média Erosão, Baixa Erosão e Acresção da Linha de Costa. A unidade Variação do Perfil de Praia foi dividida em: Alta variação, Média Variação e Baixa Variação do perfil de praia. A unidade Exposição da População aos Processos Erosivos foi dividida em: Alta, Média e Baixa Exposição. A unidade Tipos de Construção foi dividida em: Alto padrão, Médio Padrão e Baixo Padrão Construtivo. A unidade Tipos de Obras foi dividida em: Presença de Obras, Obras Deterioradas e Ausência de Obras.

Para cada uma dessas unidades foram atribuídos pesos relativos à suscetibilidade, perigo e vulnerabilidade. A partir dessa classificação foi elaborado um arquivo vetorial para cada variável, posteriormente rasterizados para a elaboração da análise multicritério AHP.

Com base na análise multicritério foram gerados os mapas de perigo, a partir das variáveis físicas, e o mapa de vulnerabilidade, a partir das variáveis socioeconômicas. Partindo de uma álgebra de mapas em ambiente SIG foi gerada Carta de Aptidão à Urbanização da orla marítima de Crispim e Marudá. A partir do seu resultado foi realizada uma análise quali-quantitativa dos dados e determinadas as áreas de Aptidão à Urbanização, Aptidão à Urbanização com Intervenções e Inaptidão à Urbanização, na escala de 1:10.000.

A metodologia definida para o presente trabalho foi orientada por estudos pré-existentes referentes ao tema, de acordo com os parâmetros utilizados pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (THIELER; HAMMAR, 1999), dentre outros na mesma linha de pesquisa Mahapatra (2015); Pramanik, 2015; Chakraborty (2016) na Índia; Wu (2016) na China; e Szlafsztein e Sterr (2007) no Brasil.

4.1. Determinação das variáveis físicas e socioeconômicas

O Índice Físico consiste em quatro variáveis representativas da área de estudo que foram analisadas de maneira qualitativa e comparativa quanto ao perigo (variação da linha de costa e variação dos perfis de praia), e a suscetibilidade (feições geomorfológicas e tipos de orla) à erosão costeira ao longo da orla marítima de Marudá e Crispim. O Índice socioeconômico é integrado por três variáveis, analisadas quanto à vulnerabilidade socioeconômica da população da área de estudo, frente aos processos costeiros (Tabela 2).

As variáveis utilizadas foram definidas com base no seu potencial representativo de cada praia e passíveis de comparação entre si, ao longo do trecho analisado da orla marítima. Os pesos para IF e IS foram calculados através de uma análise multicritérios (AHP), com base no nível de influência das variáveis selecionadas e os critérios utilizados para ordená-los. Finalmente, foram atribuídos pesos e valores para cada variável, representado numericamente e posteriormente espacializados em forma de mapa.

Figura 14- Fluxograma síntese da metodologia adotada para este trabalho.

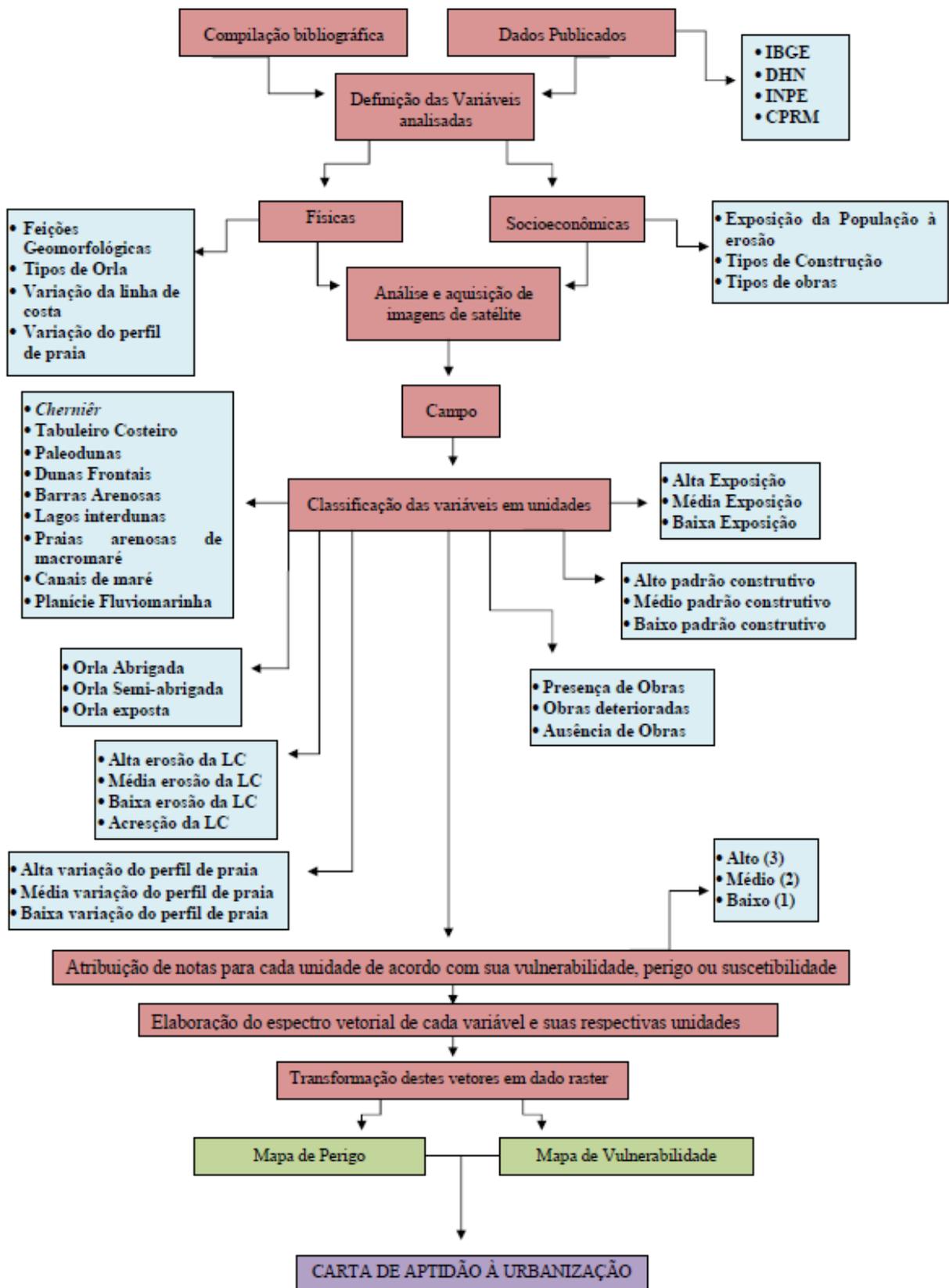


Tabela 2- Variáveis Físicas e Socioeconômicas para cálculo do Índice Físico (IF) e do Índice Socioeconômico (IS).

Variáveis	Definição	Fonte	Resolução das imagens de satélite (m)	Anos	Referências
Variáveis Físicas					
Feições Geomorfológicas	Grau de suscetibilidade a erosão costeira de cada unidade, ao longo da orla marítima	<i>GeoEye (Basemap)</i>	1,64	2015	Boruff (2015); Mahapatra, et al. (2015); Wu (2016)
		Dados de campo Drone	4k	2017	
Tipo de Orla	Grau de exposição da praia aos processos costeiros	<i>GeoEye (Basemap)</i>	1,64	2015	Projeto Orla (2006); Rocha, et al. (2013)
		Dados de campo		2017	
Variação da Linha de Costa	Avanço ou recuo da linha de costa ao longo da orla marítima	<i>RapidEye</i>	5	2012 2013 2014 2015	Battiau-Queney, et al. (2003); Boruff (2015); Jana e Hegde (2016)
		<i>GeoEye (Basemap)</i>	1,64	2010 2015	
Variação dos Perfis de Praia	Quantificação do volume de sedimentos transportados em perfis de praia	Dados de campo	-	2013 2015 2016 2017	Boruff (2015); Pramanik (2015)
Variáveis Socioeconômicas					
Exposição da população à erosão	Núcleos habitacionais em função da vulnerabilidade socioeconômica	Dados de campo	-	2017	Jana e Hegde (2016); Mahapatra, et al. (2015); Szlafsztain (2007); Wu, et al. (2016)
		(CPRM)			
Tipos de construção	Sensibilidade e resiliência dos padrões construtivos frente aos processos costeiros	Sobrevôo de helicóptero	-	2016	Mahapatra, et al. (2015)
		Dados de campo	-	2017	
Obras de contenção	A existência ou não de obras de contenção dos processos costeiros	Dados de campo	-	2017	Boruff (2015); Szlafsztain e Sterr (2007)

4.2. Variáveis Físicas

Para cada variável foi elaborado um mapa em ambiente GIS no formato de polígono ou linha e posteriormente esses dados foram cruzados através da análise multicritério (AHP) para gerar o mapa final de perigo.

4.2.1. Feições Geomorfológicas

As diferentes feições geomorfológicas de ambientes costeiros se encontram expostas, em distintos níveis, à dinâmica dos processos atuantes nas zonas costeiras. Desempenham uma importante função de revelar indícios da incidência dos processos costeiros, permitindo assim, que sejam realizadas estimativas dos efeitos da variação do nível do mar, sejam elas positivas (progradação) ou negativas (retrogradação), da maré e da intensidade de ondas. A partir de seu comportamento pode-se identificar a capacidade de resistência das feições costeiras à dinâmica costeira, portanto, cada tipologia poderá ser um indicativo de grau de erosão ao longo da orla marítima (THIELER; HAMMER, 1999). A incidência das ondas em falésias e costões rochosos podem indicar ambientes de baixa a média suscetibilidade pela capacidade de resistência destas feições, em ambientes como as planícies fluviomarinhas e campos de dunas, a resistência aos processos erosivos é muito baixa, caracterizando um ambiente de alta suscetibilidade aos processos atuantes.

Para a elaboração do mapa de unidades de relevo foram utilizadas técnicas de fotointerpretação das imagens GeoEye 2015 (Basemap), com o auxílio das aerofotografias coletadas através do *drone* nas campanhas de campo. O arquivo vetorial em *shape* de polígonos foi elaborada a partir do *software* ArcGIS 10.2., projetado nas coordenadas UTM em *datum* SIRGAS 2000. Posteriormente o mapa foi validado em campanha de campo, com auxílio do aplicativo PdfMaps, permitindo uma aferição mais completa e a finalização de um produto mais confiável.

O mapa de unidades de relevo foi definido por um buffer de 2000 metros em direção ao continente (*onshore*), a partir da linha de costa atual, na escala de 1:10.000. Posteriormente, as unidades de relevo foram classificadas pelo grau de suscetibilidade a erosão costeira, alto (3), médio (2) e baixo (1) (Tabela 3), e também espacializadas na escala 1:10.000.

O buffer de 2000 metros foi gerado com o intuito de englobar a faixa de orla marítima de 200 metros para áreas urbanizadas e 50 metros para áreas não urbanizadas, e criar uma margem de segurança frente aos processos costeiros que possibilite a indicação de áreas a serem urbanizadas ou não.

4.2.2. Tipo de Orla

Através da análise do tipo de orla ao longo da área de estudo foi possível caracterizá-la quanto ao grau de exposição das orlas marítimas frente aos agentes erosivos costeiros, e

consequentemente quantificar o grau de suscetibilidade a erosão costeira. De acordo com a definição do Projeto Orla (BRASIL, 2006), as orlas marítimas se distinguem em três tipologias diferentes: abrigada, semi-abrigada e exposta, a partir dos seguintes conceitos (Figura 15):

- **Orla Abrigada:** ambientes litorâneos constituídos por estuários ou praias protegidas da incidência direta de ondas, com taxa de circulação restrita e, consequentemente, baixa taxa de renovação da água. Geralmente apresenta sedimentos de granulometria fina (areia fina e muito fina, silte e argila) e salinidade sujeita a flutuações acentuadas em função de sua maior interação com os sistemas continentais e da baixa dinâmica de origem marinha. Praias com formato predominantemente côncavo e com face pouco ou não voltada para a face de maior incidência da ação dominante dos ventos e ondas;

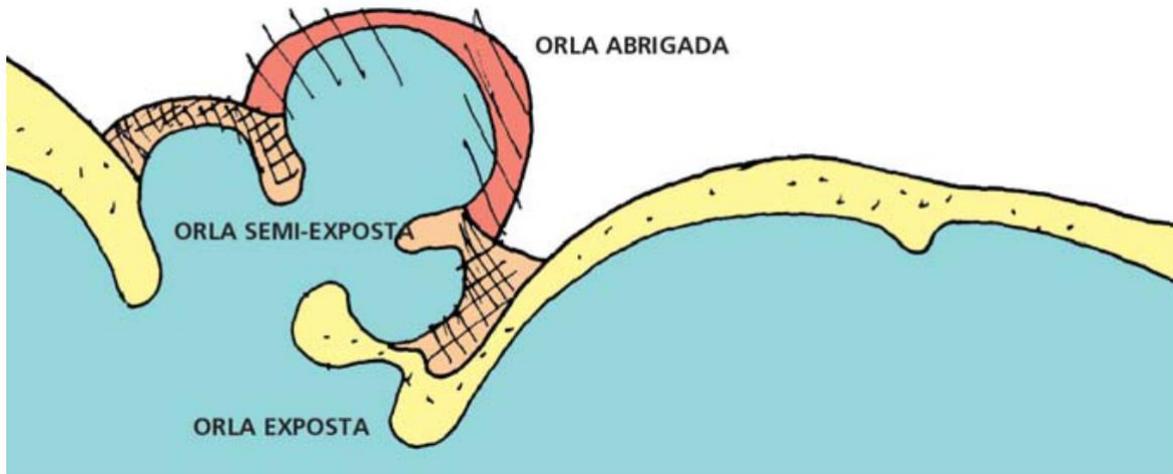
- **Orla exposta:** ambientes litorâneos constituídos por costões rochosos ou praias oceânicas, com elevada taxa de circulação e renovação de água. As praias apresentam formato de baixa concavidade, sendo mais retilíneas e de orientação normal à direção de maior incidência da ação dominante dos ventos e ondas;

- **Orla semi-exposta:** apresenta características intermediárias entre áreas expostas e protegidas. O sistema tem similaridade com o de praias protegidas, porém, o tamanho ou a orientação da praia permite alguma ação hidrodinâmica relacionada com fenômenos meteorológicos e oceanográficos.

Esta variável foi analisada e desenvolvida através das campanhas de campo e pela fotointerpretação das imagens GeoEye 2015 (*Basemap*), com o auxílio das fotografias e aerofotografias coletadas através do drone nas campanhas de campo. A *shape* de linhas foi elaborada a partir do *software* Arcgis 10.2., projetado nas coordenadas UTM em *datum* SIRGAS 2000.

O mapa de tipo de orla foi definido por uma linha paralela a linha de costa, e seus trechos foram classificados quanto o grau de suscetibilidade à erosão alta (3), média (2) e baixa (1), para as orlas de expostas, semi-expostas e abrigadas, respectivamente (Tabela 5), e espacializadas em forma de mapa na escala 1:10.000.

Figura 15- Tipologias de orla segundo suas características físicas e posição.



Fonte: Brasil (2006).

4.2.3. Variação da Linha de Costa

A linha de costa pode ser considerada como o limite entre o mar e o continente, a qual está exposta a inúmeras mudanças, como acresção, erosão, variação da maré, topografia e variação do nível do mar. Esta variação pode ser intensificada tanto por processos naturais quanto por intervenções antrópicas (MAHAPATRA et al., 2015). Os agentes naturais que influenciam, geralmente, nesta variação são as ondas, correntes marinhas, ventos e marés. Os processos antrópicos indutivos aos processos erosivos da linha de costa são: extração de areia ou blocos lateríticos mais resistentes, desmatamento da restinga, desmatamento dos manguezais, seguidos de ocupação.

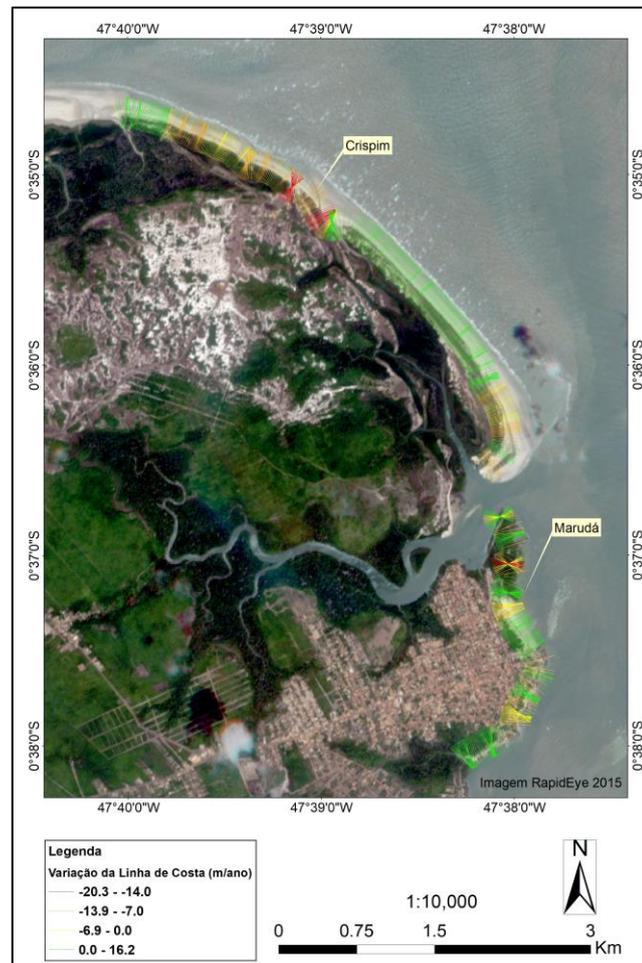
A partir da análise quantitativa multitemporal da variação da linha de costa, foi possível determinar quantos metros por ano, em média, a linha de costa está avançando ou recuando, e a indicação das áreas de acresção e erosão. Segundo Boak e Turner (2004), foram encontradas na literatura diversas formas de delimitar a linha de costa, sendo a linha de maré alta mais utilizada ao longo dos anos.

Na análise foto interpretativa, a linha de maré alta é delimitada pela variação dos tons de cinza causados pelo nível de saturação de água dos sedimentos de praia, pela linha de matéria orgânica e pela linha de deposição, geralmente identificada pela concentração de lixo, entulhos, restos vegetais e sedimentos mais grosseiros formados na ultima maré alta.

Na praia do Crispim, a linha de costa foi delimitada através dos parâmetros citados anteriormente, além da utilização das dunas frontais e os canais de maré em alguns trechos da praia. Na praia de Marudá, além de serem utilizados os parâmetros da variação dos tons de cinza, a linha de costa foi delimitada junto à variação de vegetação de manguezal.

Assim como realizado por Mahapatra et al. (2015), este estudo foi elaborado através de uma análise multitemporal por fotointerpretação de imagens de radar *RapidEye* de 2012, 2013 e 2014, com resolução de 5 m e imagens *GeoEye* 2010 e 2015, com resolução de 1,64 metros, para a praia de Marudá e imagens *RapidEye* de 2012, 2013, 2014 e 2015, com resolução de 5 m para a praia do Crispim. Foram gerados arquivos vetoriais no software ArcGIS 10.2, a partir dos quais elaborados os cálculos e variação da linha de costa pela extensão *Digital Shoreline Analysis* (DSAS), proposto por Thieler e Hammar (1999).

Figura 16- Mapa com transectos gerados pela extensão DSAS sobre imagem *RapidEye* 2015.



A extensão DSAS 3.2. é um aplicativo livre que permite calcular as taxas de variação com maior confiabilidade a partir das linhas vetoriais (*polylines*) devidamente georreferenciadas. A partir da geração de transectos ortogonais à uma linha de base

(*baseline*), foi calculada a taxa de variação horizontal da linha de costa ao longo dos anos previamente determinados, com base em parâmetros estatísticos, reportados em uma tabela de atributos. Essa ferramenta utiliza diversos cálculos estatísticos para quantificar a taxa de variação linear entre as linhas de costas dos anos analisados, no presente estudo foi utilizado o método LRR, que consiste em uma regressão linear com base em todas as linhas de costas utilizadas, permitindo uma maior acurácia do resultado final (Figura 16).

A partir deste resultado foi elaborada um *shape* de linha representativa das áreas de alto (3), médio (2) e baixo (1) perigo à erosão costeira e espacializadas na escala 1:10:000 (Tabela 5), de acordo com os valores de variação da linha de costa (m/ano), tanto positiva para acreção, quanto negativa para os trechos com tendências erosivas.

4.2.4. Variação dos Perfis de Praia

O método de levantamento dos perfis de praias consiste na medição da topografia da praia ao longo de uma trajetória reta e perpendicular à linha de costa (BIRKEMEIER, 1985). Através desta análise foi identificada, além da declividade da praia, a variabilidade do perfil no tempo, e em que período do ano, a erosão ou a deposição de sedimentos que ocorre de forma mais intensa. Assim como, quantificar o volume de sedimentos que são remobilizados e/ou depositados, em valores aproximados, ao longo de toda orla.

Esta variável, apesar de representar apenas um dado pontual da orla marítima, apresenta dados confiáveis, de uma metodologia consistente, a qual tem o potencial indicativo de pontos críticos de remobilização intensa de sedimentos, podendo esse valor ser extrapolado às suas laterais dentro de um limite. A análise da variação dos perfis de praia, é considerada como uma importante variável a se analisar nos estudos de ordenamento territorial em ZC, sendo uma metodologia de monitoramento de curto a médio prazo bastante eficaz.

Assim como em Alves (2005) e Ranieri (2014), foram utilizados dados coletados através de ensaios *in situ*, realizados uma vez por mês. Na praia do Crispim os dados foram coletados nos períodos chuvosos, o “inverno amazônico”, em fevereiro, março e dezembro de 2015; março e abril de 2016; e no período de estiagem, conhecido como “verão amazônico”, em outubro de 2013, outubro e setembro de 2015; e junho, julho, agosto, setembro e outubro de 2017. Na praia de Marudá os dados foram coletados nos períodos de estiagem, conhecido como “verão amazônico” em, outubro de 2016; e junho, julho, agosto, setembro e outubro de 2017 visando analisar a influência da sazonalidade na morfosedimentação nas praias do Crispim e Marudá. Os dados utilizados de anos de 2013, 2015, 2016 foram cedidos pelo

Laboratório de Geologia de Ambientes Aquáticos da Universidade Federal Rural da Amazônia (LGA). Esses perfis foram processados, interpretados e analisados através do *software* Grapher 6.0.

Os pontos foram espacialmente definidos, de acordo com as áreas que apresentam maiores indícios de processos erosivos, no intuito de gerar uma maior representatividade dos processos erosivos e remobilização de sedimentos mais assertivamente. Os levantamentos dos perfis topográficos transversais consecutivos foram realizados, em três pontos específicos localizados nas seguintes coordenadas:

- a. Crispim: P1: 0°35'3.94"S, 47°39'8.60"W; P2: 0°35'5.83"S, 47°39'6.67"W (Figura 17A).
- b. Marudá: P1: 0°37'25.48"S, 47°37'57.00"W (Figura 17B).

O método de levantamento topográfico da *Stadia*, chamado originalmente de *Fast, Accurate Two-Person Beach Survey*, foi aperfeiçoado para praias (BIRKEMEIER, 1985), e modificado por Alves (2007) para levantamento topográfico com uso de estação total em praias de macromaré.

O levantamento topográfico foi executado por quatro pessoas com o auxílio de uma estação total RUIDE RTS-822R³, que possui uma mira telescópica eletrônica a laser, apoiada em um tripé e três prismas de 2,55m de altura para leitura dos dados, para todos os anos.

No procedimento de leitura, uma pessoa ficou responsável pela operação da estação total, enquanto as outras três conduziram os prismas nos pontos de visada (Figura 18).

Figura 17- (A) Perfis topográficos P1 e P2 na Praia do Crispim. (B) Perfis topográficos P1 na praia de Marudá.

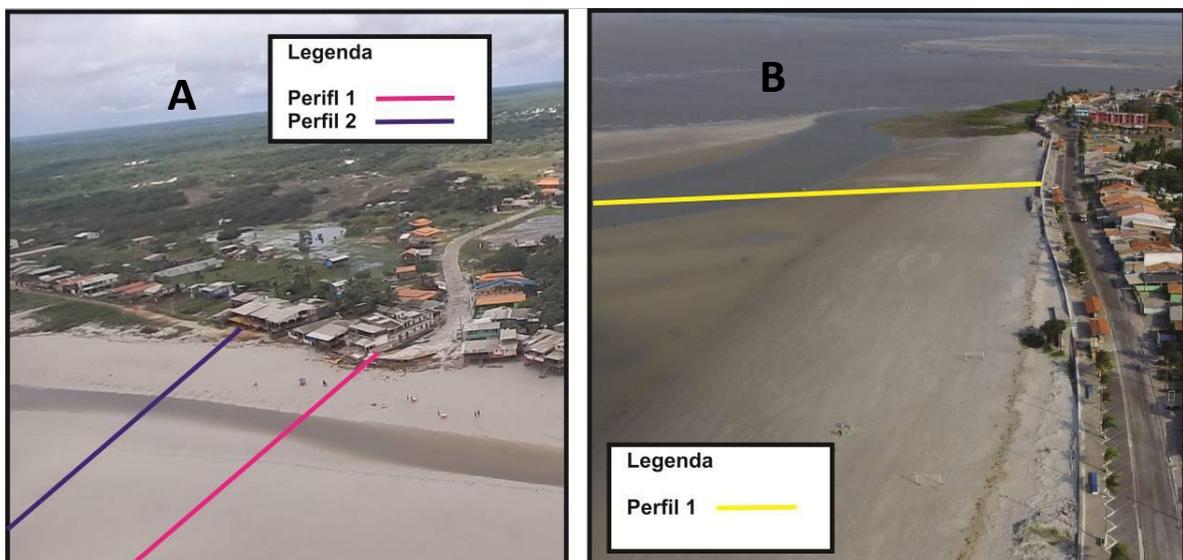
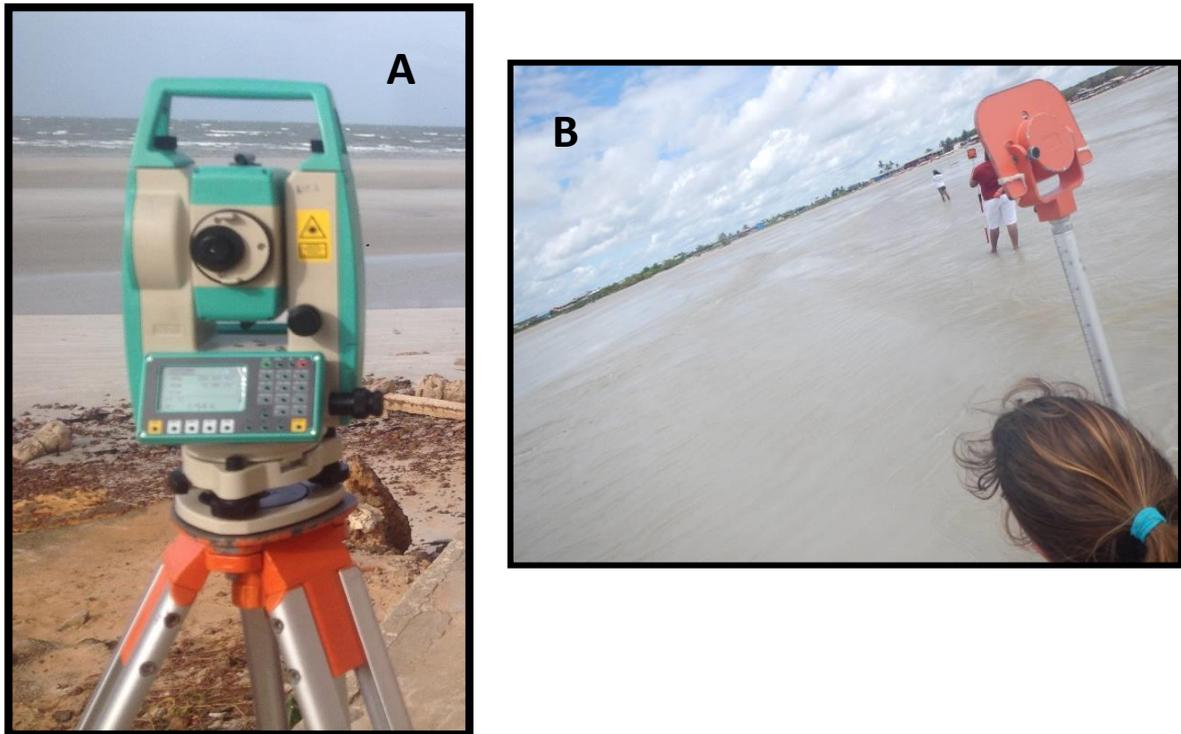


Figura 18- Método de levantamento topográfico de praia utilizado no estudo. A) Estação Total RUIDE RTS-822R³. B) Alinhamento da equipe com prisma para o levantamento topográfico. Praia do Crispim (Marapanim-PA).



Após a análise multitemporal da variação dos perfis topográficos transversais à linha de costa, os pontos de cada perfil foram classificados quanto ao seu nível de ameaça da erosão costeira à população residente na orla marítima das praias do Crispim e Marudá. A partir deste resultado foi elaborada uma *shape* de pontos representativa das áreas de alto (3) e baixo (1) perigo à erosão costeira, de acordo com os valores encontrados de variação do perfil de praia. Posteriormente esses pontos foram transformados em polígonos através do ArcGis 10.2 para compor a análise multicritérios.

4.3. Variáveis Socioeconômicas

As variáveis socioeconômicas são fatores significantes para a contribuição da análise da vulnerabilidade costeira, principalmente porque as mudanças socioeconômicas ocorrem de maneira mais acelerada que os processos físicos (SZLAFSZTEIN; STERR, 2007). O grau vulnerabilidade social será avaliado a partir, do nível de exposição, sensibilidade e resiliência da população aos processos erosivos. De acordo com Boruff et al. (2005), a vulnerabilidade costeira pode ser estimada através da união dos fatores sociais e econômicos. Portanto, qualquer avaliação da zona costeira sem referências aos aspectos sociais não é aplicável à realidade, pois a ocorrência e magnitude dos impactos causados pelos processos erosivos, na orla marítima ocorrem em função do desenvolvimento ambiental e socioeconômico.

O grau de vulnerabilidade, da população residente na orla marítima das vilas do Crispim e Marudá, foi calculado através da caracterização das variáveis socioeconômicas: exposição de pessoas afetadas pela erosão, tipos de construção e obras de contenção. (Tabela 2).

4.3.1. Exposição da população à erosão

As regiões de orla, geralmente, apresentam uma maior concentração habitacional quando comparadas às outras porções dos municípios, e essa concentração influencia diretamente a intensificação do processo erosivo (BELURU JANA, 2016). Moradias, pessoas ou regiões que já tenham sido afetadas pelo processo erosivo, indicam áreas críticas, demandantes de uma maior atenção vinda do poder público, sendo áreas com alta probabilidade de serem atingidas, pelos processos erosivos costeiros. Esta variável é considerada um importante fator relevante ao aumento da vulnerabilidade socioeconômica, pois geralmente, esses núcleos urbanos são determinados por uma parcela da população menos privilegiada e de classes econômicas mais baixas. Concentram-se nessas aglomerações residenciais, parte da população que está habitualmente inserida em áreas sem planejamento urbano e escassa infraestrutura.

No presente estudo, foram delimitadas as áreas de atingimento pretéritas ao longo da área de estudo, a partir de dados de campo e do mapeamento de setorização de risco elaborado pela CPRM (2016), além de conversas com os funcionários de prefeitura e moradores locais.

O mapa de exposição da população aos processos costeiros foi definido por uma linha paralela a linha de costa, e seus trechos foram classificados quanto o grau de densidade da ocupação frente aos processos erosivos, classificados em alto (3), médio (2) e baixo (1) (Tabela 5), e espacializadas na escala 1:10.000.

4.3.2. Tipos de Construção

Assim como a metodologia utilizada pela CPRM, Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) para a setorização do mapeamento de risco. Este trabalho considera para análise da qualidade dos tipos de construção, seja residencial ou comercial, e o nível de exposição destas frente aos processos costeiros.

Construções de alto padrão foram assim definidas por apresentarem uma estrutura visualmente resistente, demonstram um aspecto intacto quanto aos processos erosivos, incluindo tanto as edificações construídas em madeira ou alvenaria. Moradias de madeira,

geralmente, indicam áreas de menor vulnerabilidade socioeconômica, no entanto, são determinadas por apresentarem uma menor sensibilidade frente aos processos de erosão, quando comparadas às edificações de alvenaria. Edificações de madeira por apresentarem um custo mais baixo para construção e manutenção são priorizadas pela população de classes mais baixas, que por vezes culmina na destruição total ou deterioração do bem por falta de manutenção. Moradias de alvenaria além de terem o custo mais alto para reparos, consistem em uma estrutura rígida e fixa, que em casos de avanços inesperados da maré e altas ressacas não podem ser mobilizadas, permanecendo expostas as ações abrasivas de processos costeiros. Portanto, seguida de contínua manutenção, as construções de madeira são o tipo de instalação mais indicada e adequada para esse ambiente.

Construções de médio padrão, foram definidas por construções que demonstram algum desgaste em sua estrutura, sejam eles causados pelos processos da dinâmica costeira ou causados pelo baixo nível de manutenção, e atenção por parte do proprietário. Essa evidência de instabilidade de caráter incipiente determina um processo de instabilização em estágio inicial de desenvolvimento, reduzindo a possibilidade de destruição total ou altamente danosa para a estrutura da construção, na ocorrência de eventos erosivos ou de inundação. Esta tipologia é representada, geralmente, por construções mais recentes, seguidas da baixa periodicidade quanto à manutenção geral da estrutura, a qual permanece quase nula após sua implantação.

Construções de baixo padrão são identificadas pela ausência de manutenção, a alta fragilidade das construções, e consistem em estruturas tanto de palafita em madeira, como as de alvenaria.

Esta variável foi analisada a partir, de dados coletados ao longo das campanhas de campo e pela fotointerpretação da imagem GeoEye 2015 (*Basemap*), com o auxílio das fotografias e aerofotografias coletadas através do Drone Phantom 3 da área de estudo. A *shape* em forma de linhas foi elaborada a partir do *software* ArcGIS 10.2., projetado nas coordenadas UTM em datum SIRGAS 2000.

O mapa de tipos de construção foi definido por uma linha paralela a linha de costa, representativo da orla marítima (200 m) e seus trechos foram classificados quanto o grau de vulnerabilidade socioeconômica à erosão em, alto (3), médio (2) e baixo (1) (Tabela 5), e espacializadas em forma de mapa na escala 1:10.000 para a praia do Crispim e Marudá.

4.3.3. Obras de Contenção

A existência ou não de obras de contenção, assim como a qualidade, quantidade e o tipo de obra estruturada pela prefeitura ou pela própria população é considerado, um importante fator para a análise do poder de resiliência e exposição da população, e do grau de investimento e importância, que a localidade representa para o município. Obras de contenção ou controle de erosão costeira têm influência direta ou podem mudar totalmente a morfodinâmica costeira, podendo muitas vezes transferir a problemática erosiva (espigões, esporões), adiar o impacto da erosão nas moradias litorâneas (enrondamentos, quebra-mares, engordamento de praia, diques, *bagwall*, gabiões), ou podem resolver a problemática, caso tenha sido realizado um estudo profundo e adequado às particularidades da praia. Portanto, a existência ou não de uma obra de contenção ou controle de erosão é considerado indispensável para a análise da vulnerabilidade da população residente na área de estudo (BORUFF, 2015).

Esta variável foi analisada, a partir de dados coletados ao longo das campanhas de campo e pela fotointerpretação da imagem GeoEye 2015 (*Basemap*), com o auxílio das fotografias e aerofotografias coletadas através do *Drone Phantom 3* e sobrevôo de helicóptero, ao longo da orla marítima da área de estudo.

O mapa de tipos de construção foi definido por uma *shape* em forma de linhas foi elaborada a partir do *software* ArcGIS 10.2., projetado nas coordenadas UTM em datum SIRGAS 2000, representativo da orla marítima (50 m).

Os trechos da orla foram classificados quanto o grau de vulnerabilidade socioeconômica à erosão em alto (3), médio (2) e baixo (1), os trechos de ausência de obras de contenção, obras de contenção deterioradas e presença de obras de contenção, respectivamente, e espacializadas em forma de mapa na escala 1:10.000 para a praia do Crispim e Marudá.

4.4. Análise Multicritério (AHP) – Método Saaty

O método Analytic Hierarchy Process - AHP foi desenvolvido por Saaty (1977) e permite aos tomadores de decisão trabalhar com problemas que envolvem múltiplos critérios simultaneamente. O problema de decisão é decomposto em níveis hierárquicos, sendo que, no topo da hierarquia encontra-se o objetivo final, num nível abaixo estão os atributos (variáveis), os quais podem ser subdivididos em atributos de menor complexidade (unidades).

Para a aplicação deste método, inicialmente foi gerado um SIG com os arquivos vetoriais das variáveis físicas: feições geomorfológicas, tipo de orla, variação da linha de costa, variação dos perfis de praia; e com arquivos vetoriais das variáveis socioeconômicas: exposição da população à erosão, tipo de construção e obras de contenção.

A normalização para a padronização dos dados foi realizada em uma escala única, e todos os arquivos vetoriais de linha e pontos foram transformados em polígonos, e se atribuíram notas de 1 a 3 para todas as unidades de cada variável:

- 1 - Para áreas de baixa vulnerabilidade/perigo/suscetibilidade
- 2 - Para áreas de média vulnerabilidade/perigo/suscetibilidade
- 3 - Para áreas de alta vulnerabilidade/perigo/suscetibilidade

A partir da avaliação de cada variável e a definição de suas unidades, essas unidades foram classificadas quanto o seu grau de suscetibilidade, perigo e vulnerabilidade frente aos processos costeiros de inundação e erosão costeira (Tabela 3):

- Suscetibilidade: feições geomorfológicas e tipo de orla.
- Perigo: variação da linha de costa e variação dos perfis de praia.
- Vulnerabilidade: exposição da população à erosão costeira e inundação, tipos de construção e obras de contenção.

Tabela 3- Planilha de correlação das unidades e seus respectivos graus de suscetibilidade, perigo e vulnerabilidade para cada variável.

Variáveis	Unidades		
	1 (Baixo)	2 (Médio)	3 (Alto)
Grau Suscetibilidade/Perigo/Vulnerabilidade			
Feições geomorfológicas	Tabuleiros	Chênier Paleodunas	Praia Arenosa Dunas Frontais Canais de Maré Barras Arenosas Lagos Interdunas Planícies Fluviomarinhas
Tipo de orla	Abrigada	Semi-abrigada	Exposta
Variação da linha de costa	Baixa	Média	Alta
	Positiva		
Variação dos perfis de praia	Baixa	-	Alta
Exposição da população à erosão	Baixa	Média	Alta
Tipo de construção	Alto Padrão	Médio Padrão	Baixo Padrão
Obras de contenção	Presentes	Presentes e deterioradas	Inexistentes

Neste trabalho, a suscetibilidade (feições geomorfológicas e tipo de orla) é analisada como uma componente espacial do perigo, enquanto os dados de variações da linha de costa e perfil de praia consistem nas componentes espaço-temporais. A partir da análise AHP, e o cálculo gerado entre as unidades irá gerar como resultado um mapa de perigo, com suas componentes tanto espaciais como temporais.

Os valores atribuídos a cada unidade de cada variável, baixo (1), médio (2), alto (3), foram utilizados para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade e perigo. Para isto, esses números foram alimentados na tabela de atributos de cada arquivo vetorial *shape* gerado, ou seja, para todas as variáveis analisadas, cada unidade foi quantificada quanto ao seu grau de perigo, suscetibilidade ou vulnerabilidade. A partir da quantificação das unidades e a determinação da importância de cada variável em relação à outra foi possível elaborar a análise hierárquica (AHP) entre as variáveis físicas e entre as variáveis socioeconômicas, separadamente.

Posteriormente, todos os dados vetoriais foram convertidos em dados raster para a alimentação e utilização da ferramenta de extensão do ArcGis 10.2, *Easy AHP*. O processo AHP é uma técnica de tomada de decisão que combina a análise quantitativa e qualitativa, através dos pesos atribuídos que são comparados par a par, a partir de uma escala de definição de importância (Tabela 4).

Tabela 4- Critério análise AHP.

Intensidade	Definição
1	Importância igual
3	Importância média
5	Importância maior
7	Importância muito maior
9	Importância extrema
2,4,6,8	Usados como notas intermediárias

Fonte: Saaty, 2008.

Os pesos dos atributos são determinados em quatro etapas:

- 1° etapa: Estabelecer a estrutura hierárquica de influência dos fatores;
- 2° etapa: Montar a matriz de julgamento, com base na técnica AHP que consiste em aplicação de notas comparativas entre os atributos (de 1 a 9);
- 3° etapa: Determinar a uniformidade da matriz, aplicado a normalização da matriz através da soma de cada coluna e divisão de cada célula pelo total da coluna relacionada. O

peso por elemento é então a média das células em cada linha. Em seguida, determina-se o auto vetor $\lambda_{\text{máx}}$, valor mais alto da matriz, a fim de verificar o índice de consistência (CI) e verificar o julgamento e a razão de consistência (CR), indicando assim o grau de aleatoriedade da matriz, com base na Equação:

$$CI = (\lambda_{\text{máx}} - n)/(n - 1)$$

$$CR = CI/RI$$

Onde:

CI = índice de consistência (Consistency Index)

$\lambda_{\text{máx}}$ = Valor mais alto da matriz pareada

CR = Razão de consistência

n = Número de variáveis

RI = Random Index (Tabela 5)

Tabela 5- Valores de IR, com n = ordem da matriz.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,51

(Fonte: Saaty, 2008)

Para a certificação da consistência da matriz, a matriz deve satisfazer a condição do $CR \leq 0,1$, caso contrário, as variáveis terão que ser julgadas novamente;

$$CR \text{ Vulnerabilidade} = 0,037$$

$$CR \text{ Perigo} = 0,0161$$

4º etapa: Determinação e análise dos pesos que serão a base para a execução do método MCDM de combinação linear ponderada (Tabela 6 e 7).

Tabela 6- Tabela de julgamento AHP para variáveis físicas.

Variáveis	Linha de Costa	Perfil de Praia	Feições Geomorfológicas	Tipo de Orla
Linha de Costa	1.0	1.0	3.0	5.0
Perfil de Praia	1.0	1.0	3.0	5.0
Feições Geomorfológicas	0.333	0.333	1.0	3.0
Tipo de Orla	0.2	0.2	0.333	1.0

Tabela 7- Tabela de julgamento AHP para variáveis socioeconômicas

Variáveis	População exposta	Tipo de Ocupação	Obras de Contenção
População exposta	1.0	3.0	5.0
Tipo de Ocupação	0.333	1.0	3.0
Obras de Contenção	0.2	0.333	1.0

Este procedimento foi realizado tanto para a elaboração do mapa de vulnerabilidade como o mapa de perigo. Gerados os produtos no formato raster, foi elaborada uma álgebra de mapas no ambiente GIS através da fórmula:

$$\text{Carta de Aptidão à Urbanização} = (\text{Mapa de Perigo} + \text{Mapa de Vulnerabilidade}) / 2$$

A partir deste cálculo foram definidas as áreas de aptidão à urbanização:

- Valores de 0-1: áreas aptas à urbanização
- Valores de 1-2: áreas aptas à urbanização com intervenções
- Valores de 2-3: áreas não aptas à urbanização

Vale ressaltar que o mapa de feições geomorfológicas foi gerado em um buffer de 2000 m em direção ao continente, a partir da linha de costa, englobando a orla marítima (200 m) e uma margem de segurança. Essa margem de segurança foi criada com o objetivo de analisar as áreas adjacentes à orla marítima, e possibilitar a indicação de regiões passíveis à urbanização, somente com base nas feições geomorfológicas devido a ausência de informação de outras variáveis.

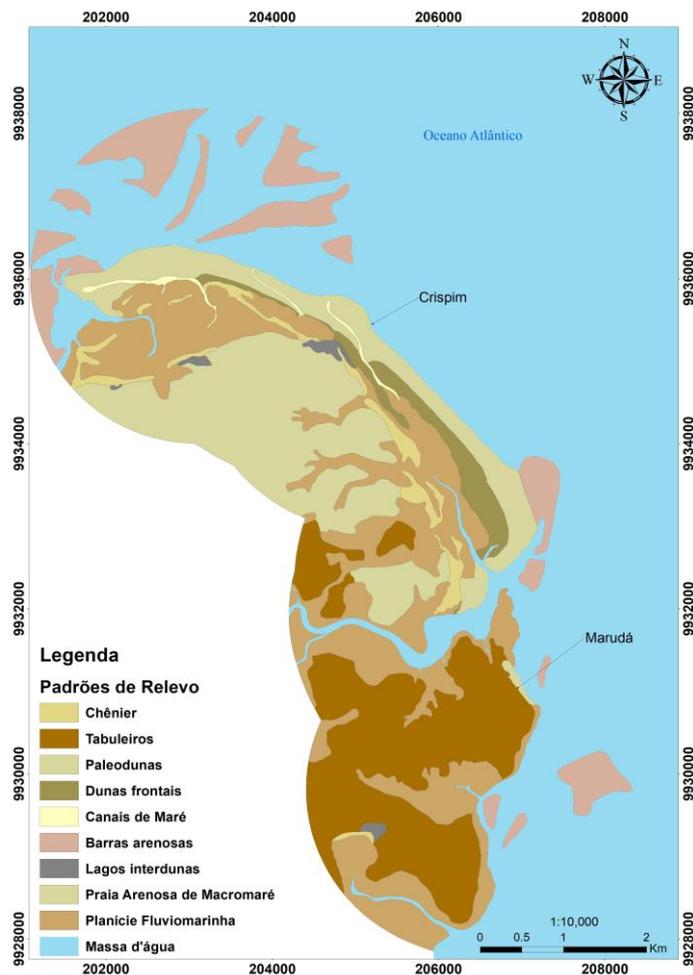
Portanto, a carta de aptidão à urbanização elaborada para a orla marítima das praias do Crispim e Marudá foi gerada através da análise multicritérios, enquanto às áreas adjacentes foram analisadas somente em função das feições geomorfológicas encontradas na área em estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Feições geomorfológicas

A partir da elaboração do mapa de feições geomorfológicas, foi possível identificar e delimitar nove subunidades de relevo costeiro: *Chenier*, Tabuleiros, Paleodunas, Dunas Frontais, Canais de Maré, Barras arenosas, Lagos interdunas, Praia Arenosa de Macromaré e Planície Fluviomarinha (Figura 19).

Figura 19- Mapa de unidades geomorfológicas da área de estudo.



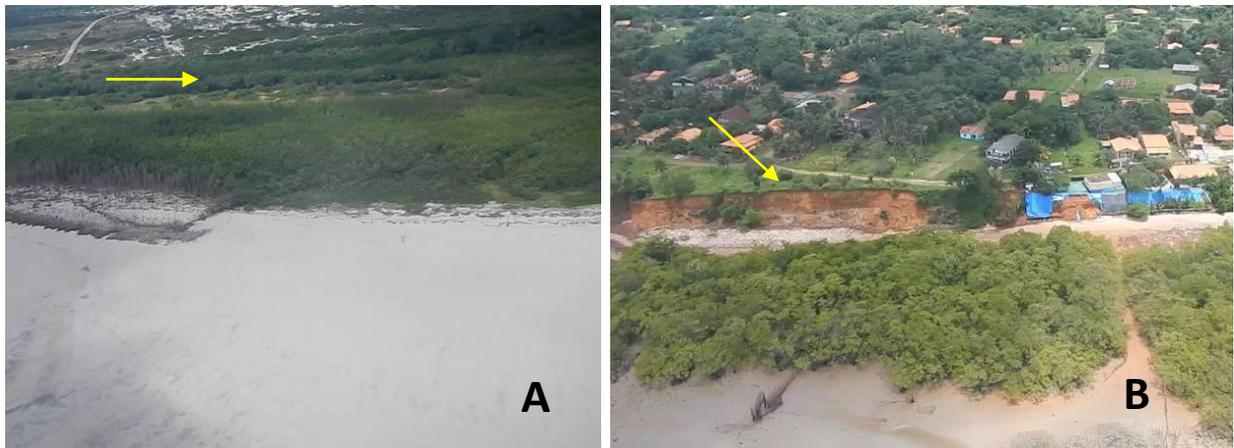
A unidade *Chenier* é caracterizada por corpos arenosos (cordões de praias e/ou dunas) sobre depósitos lamosos de manguezais, atualmente, isolados dos processos marinhos, indicando a progradação da planície fluviomarinha e conseqüentemente da costa sobre o pretérito ambiente praiial. Segundo Silva e El-Robrini (2001), esta unidade é determinada por um pacote arenoso, recoberto por depósitos de dunas muito finos. Na área de estudo, esta unidade possui formas alongadas, na direção preferencial NW-SE, paralelamente a linha de

costa, com larguras que variam de 50 a 150 m e comprimentos variados. Recoberta por uma vegetação de restinga rasteira, chegando a atingir níveis arbustivos, esta unidade aflora intercalada às planícies fluviomarinhas, por entre as vegetações de mangue. Devido suas características físicas e reológicas esta unidade é considerada como uma região de média fragilidade e suscetibilidade aos processos erosivos costeiros. Sedimentos inconsolidados determinados por uma composição de areia fina a muito fina indicam uma alta probabilidade ao transporte e movimentação das partículas, e que podem ter seu processo acelerado e intensificado a partir de intervenções estruturais, como construções de moradias ou qualquer tipo de processo de urbanização que possa desestabilizar e/ou remobilizar a vegetação que atua como um agente controlador do transporte de sedimentos nos *cheniers*. Portanto, a partir de uma análise tátil-visual de campo e fotointerpretações considera-se esta unidade com média suscetibilidade a erosão costeira (Figura 20A).

A unidade tabuleiro costeiro é determinada pelo domínio geológico da Formação Barreiras e sedimentos da Formação Pós-Barreiras, onde pode ocorrer o desenvolvimento de falésias ao longo dos ambientes litorâneos (SOUZA FILHO; EL-ROBRINI, 1996). Segundo Dantas (2017), as unidades tabuleiros costeiros englobam-se em domínios denudacionais em rochas sedimentares pouco litificadas, representados por relevos de degradação. Esta unidade é caracterizada por uma morfologia suavemente dissecada de gradientes suaves, topos planos e alongados, com predomínio de solos espessos e bem drenados. Os tabuleiros costeiros representam as mais altas altitudes na área de estudo, que chegam a alcançar 20 m de amplitude, com sedimentos basicamente arenosos com altos índices de permeabilidade.

Este trabalho considera, portanto, esta unidade com baixo potencial a processos erosivos. Todavia, suas bordas podem desenvolver quebras abruptas do relevo com a exposição do solo e remobilização das partículas sedimentares, principalmente, quando exposta à dinâmica costeira ou marinha, que modela as falésias, através dos processos erosivos, onde se observa desmoronamentos de blocos (Figura 20B).

Figura 20- (A) Unidade *cheniêr* entre o manguezal, na praia do Crispim. (B) Tabuleiro costeiro aflorando a Formação Barreiras em processo erosivo, em Marudá.

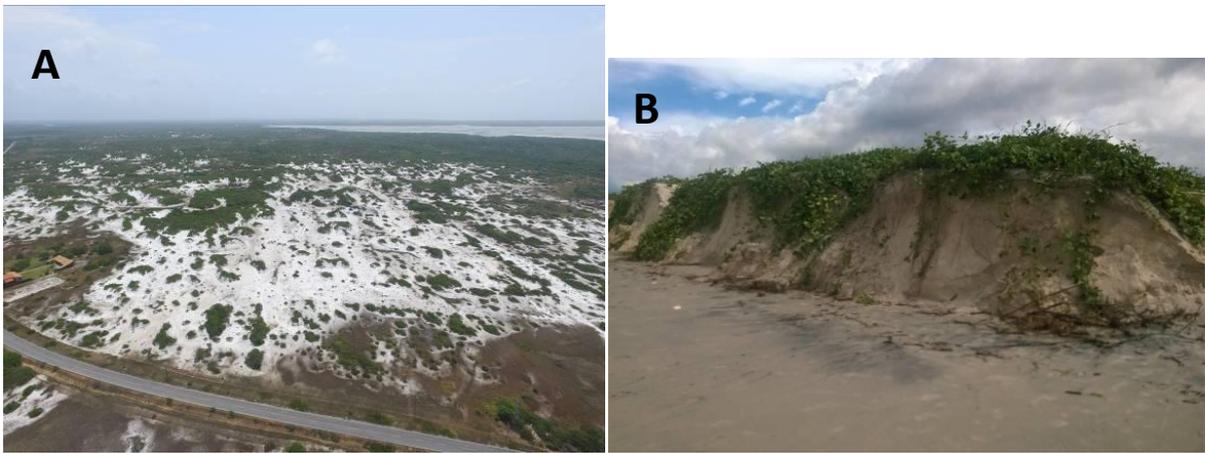


A unidade Paleodunas, segundo Silva (2009b), é determinada por uma sedimentação de partículas de areia fina a muito fina, atualmente, estabilizadas pela presença da vegetação arbustiva típica do ambiente eólico. Na área de estudo, as paleodunas representam uma extensa região, determinada por um campo de dunas que chegam a atingir 4 metros de altura e estão localizadas na porção interior da planície costeira, protegidos dos processos marinhos, sendo estes influenciados somente pela ação eólica. Em sua totalidade os campos de dunas permanecem estáveis frente aos processos de remobilização de partículas sedimentares. Através da análise táctil-visual dos sedimentos e da delimitação foto interpretativa desta unidade foi possível classificá-la como uma unidade com média suscetibilidade aos processos erosivos costeiros (Figura 21A).

As dunas frontais, segundo Dantas (2017), consistem em relevos de agradação e zonas de acumulação atuais, são determinadas por uma morfologia ondulada composto de sedimentos areno-quartzosos bem selecionados e depositados e retrabalhados pela ação eólica. Podem se apresentar tanto cobertas por vegetação (dunas fixas), quanto sem a cobertura vegetal (dunas móveis). Na área de estudo, esta unidade ocorre em corpos alongados, paralelamente a linha de costa, com amplitudes de podem variar de 1 a 3 m de altura na praia do Crispim, enquanto na praia de Marudá essa feição ocorre de maneira menos expressiva, com alcance médio de 1 m de altura. Consistem em depósitos arenosos com granulometria que varia de fina a muito fina, e ocorrem geralmente vegetadas no seu topo, com sangradouros associados. Essas linhas de sangradouros ocorrem como consequência do pisoteio nas vegetações de dunas e do caminho preferencial da água superficial durante os

períodos chuvosos. Os sangradouros representam, portanto, uma zona de fraqueza, onde a remobilização dos sedimentos ocorre de maneira mais acelerada se expandindo as laterais. Além desta área, a frente de dunas também são regiões que estão em constante retrabalhamento, principalmente, nos períodos de maré alta equinociais de sizígia, onde a linha de costa, geralmente, é delimitada pelas dunas frontais. Portanto, devido esta intensa dinâmica, influenciada pela sazonalidade climática regional, os campos de dunas são constantemente remobilizados e erodidos, assim como realimentados, dependendo do período do ano. Essa unidade de campo de dunas é considerada como uma região de muito alta suscetibilidade à processos erosivos costeiros (Figura 21B).

Figura 21- (A) Paleodunas recortada por estrada de acesso à praia do Crispim. (B) Dunas frontais verticalizadas existentes na região central da praia do Crispim em 2015.



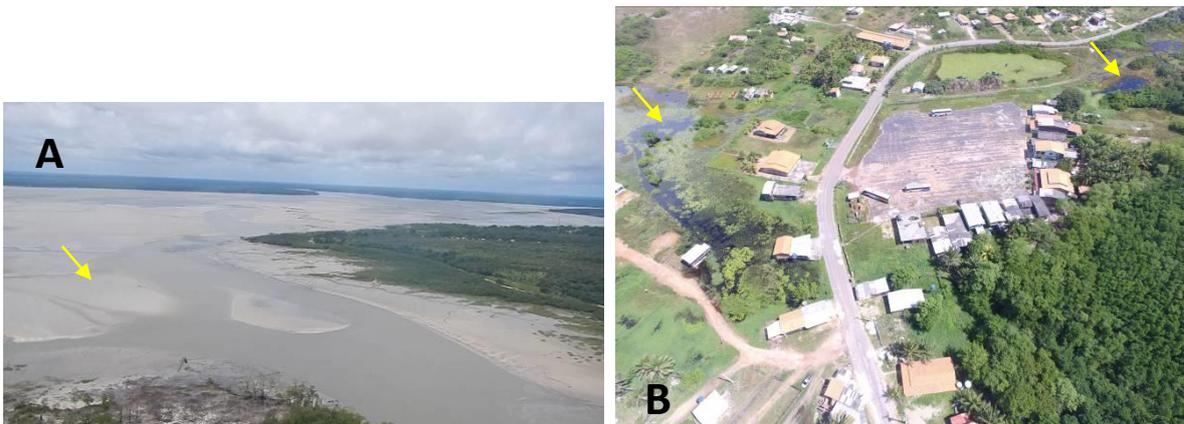
(Fonte: LGA).

As barras arenosas desenvolvem-se geralmente ao longo da foz dos rios e canais de marés determinados por um acúmulo de sedimentos arenosos com aproximadamente 2 m de espessura (SILVA, 2009b). Na área de estudo, as barras arenosas se apresentam como unidades morfológicas heterogêneas em corpos alongados, arredondados, configurando delta de maré vazante e enchente, e que permanecem quase que totalmente emersos na maré alta, e totalmente expostos na maré baixa. Essa variação da maré, além de dificultar a delimitação dos corpos, funciona como controladora da deposição dos sedimentos, que aliados às correntes marinhas determinam uma direção preferencial de deposição dos sedimentos e consequentemente do corpo como um todo. As barras arenosas funcionam como retentores naturais de sedimentos, formados por processos naturais, e podem explicar os déficits de depósitos ao longo da praia. Além disto, esta unidade quando muito próxima à zona de intermaré pode influenciar significativamente na energia de ondas na zona de arrebentação em marés alta. Portanto, considera-se as barras arenosas unidades de relevo que podem

intensificar no processo erosivo costeiro, representando uma alta suscetibilidade à erosão costeira quando refletido no ambiente de praia (Figura 22A).

Os lagos interdunas estão associados tanto aos campos de paleodunas como aos campos de dunas frontais e são alimentados basicamente por águas pluviais, que podem secar durante o período de estiagem (SILVA Jr.; EL-ROBRINI, 2001). Na área de estudo, os lagos concentram-se, principalmente na região posterior as dunas frontais, próxima à área urbanizada da praia do Crispim, que provavelmente se desenvolveu o período da estiagem, dando uma falsa impressão de áreas pouco inundadas. Por se tratar de uma zona com altos índices de saturação, com solo silto-arenoso ricos em matéria orgânica essa unidade representa muito alta suscetibilidade aos processos costeiros (Figura 22B). Vale ressaltar que tanto a unidade de barras arenosas quanto a unidade lagos interdunas foram classificados no intuito de uma melhor compreensão geomorfológica e da dinâmica costeira e são área totalmente inaptas à qualquer tipo de urbanização.

Figura 22- (A) Barras arenosas na foz de rio entre as praias do Crispim e Marudá. (B) Lagos interdunas próximos à comunidade do Crispim.



As praias arenosas de macromaré, limitadas pelo alcance máximo e mínimo das marés de sizígia, foram compartimentadas em três setores: zona supramaré, zona intermaré e zona inframaré (SILVA, 2009b). Esta unidade é caracterizada por uma sedimentação controlada por depósitos arenosos finos, com algumas faixas de partículas mais finas, siltos-argilosas, quando é recortada pelos canais de maré. O ambiente de praia está exposto a agentes erosivos, como correntes, ondas, marés e ventos, que retrabalham os sedimentos expostos na maré baixa. Os canais de marés, além de fonte de sedimentos continentais, podem modificar temporalmente a morfologia da superfície de praia, que chega a atingir extensões de 1 a 1,5 km. Na área de estudo, as praias estão orientadas na direção NW-SE, paralelamente à direção de incidência dos ventos alísios e das ondas, que controlam os processos de deposição

e deriva sedimentar, juntamente as correntes marinhas e o regime de maré. Por se tratar de uma região que quase diariamente permanece submersa nos períodos de maré alta, principalmente de sizígia, expõem as dunas frontais ao processo abrasivo das ondas e a inundação dos canais de maré, esta unidade é considerada muito alta suscetibilidade a erosão costeira (Figura 23A).

A unidade de canais de maré é determinada por um ambiente de transição das planícies fluviomarinhas, com o predomínio de vegetação de manguezal e depósitos lamosos, para o ambiente de praia com a sedimentação arenosa fina. Esses canais comportam-se de maneira bastante dinâmica, e se estendem ao longo da zona de intermaré do ambiente praiial, apresentando-se como canais sinuosos e assimétricos e temporalmente migratórios. Além de atuarem como retentores de sedimentos, os canais de maré podem atuar como amplificadores da intensidade a energia das ondas quando estão mais próximos à linha de costa e aumentam a declividade de praia em suas bordas, fazendo com que a amplitude da lâmina d'água diminua bruscamente. Na praia de Marudá os canais demonstram uma sedimentação mais fina, determinado por depósitos lamosos e densamente saturado, enquanto na praia do Crispim é possível encontrar uma sedimentação de material arenoso e menos saturado. Esses canais são considerados intermitentes, que secam quando a maré está baixa, principalmente no período seco, e são abastecidos basicamente pelos sangradouros, igarapés e canais fluviomarinhos. No entanto, são facilmente destacados no início da subida da maré, quando seu fluxo aumenta e seu canal é totalmente preenchido, até que o nível da maré aumenta a tal ponto em que o canal e suas bordas permanecem totalmente inundados e emersos pelas águas do mar. Por se tratar de uma região diariamente emersa pelo mar, esta unidade é considerada com alta suscetibilidade tanto aos processos erosivos marinhos e eólicos (Figura 23B).

Figura 23- (A) Praia arenosa de macromaré em Marudá. (B) Canal de maré recorta a praia do Crispim.



A unidade planície fluviomarinha, considerada a unidade de maior ocorrência dentro da planície costeira e, foi determinada por ambientes de baixa energia, pouco declivosos e

sedimentos rico em matéria orgânica. Segundo Dantas (2017), trata-se de um relevo de agradação, em uma zona de acumulação atual, caracterizada por sedimentos argilosos orgânicos dominados por maré, sobre superfícies planas com sistema deposicional na interface continente-oceano, e com terrenos de baixa capacidade de suporte. Esta unidade ocupa grande parte da área total, sempre associada aos canais de maré e aos rios e igarapés estuarinos que recortam a planície costeira, facilmente identificada pela abundante vegetação de mangue. Com uma dinâmica de deposição controlada pelo o regime de maré, esta unidade permanece submersa diariamente, de acordo com os níveis de amplitude da maré que chega a atingir 5,5 metros em marés de sizígia. Além de ter influência direta da variação flúvio-continental, principalmente nos períodos chuvosos (novembro a abril) quando ocorre um aumento significativo no nível dos rios. Considera-se, portanto, as planícies fluviomarinhas como regiões de muito alta suscetibilidade à erosão (Figura 24).

Figura 24- Planície fluviomarinha densamente vegetada por manguezal, na praia de Marudá em 2016.

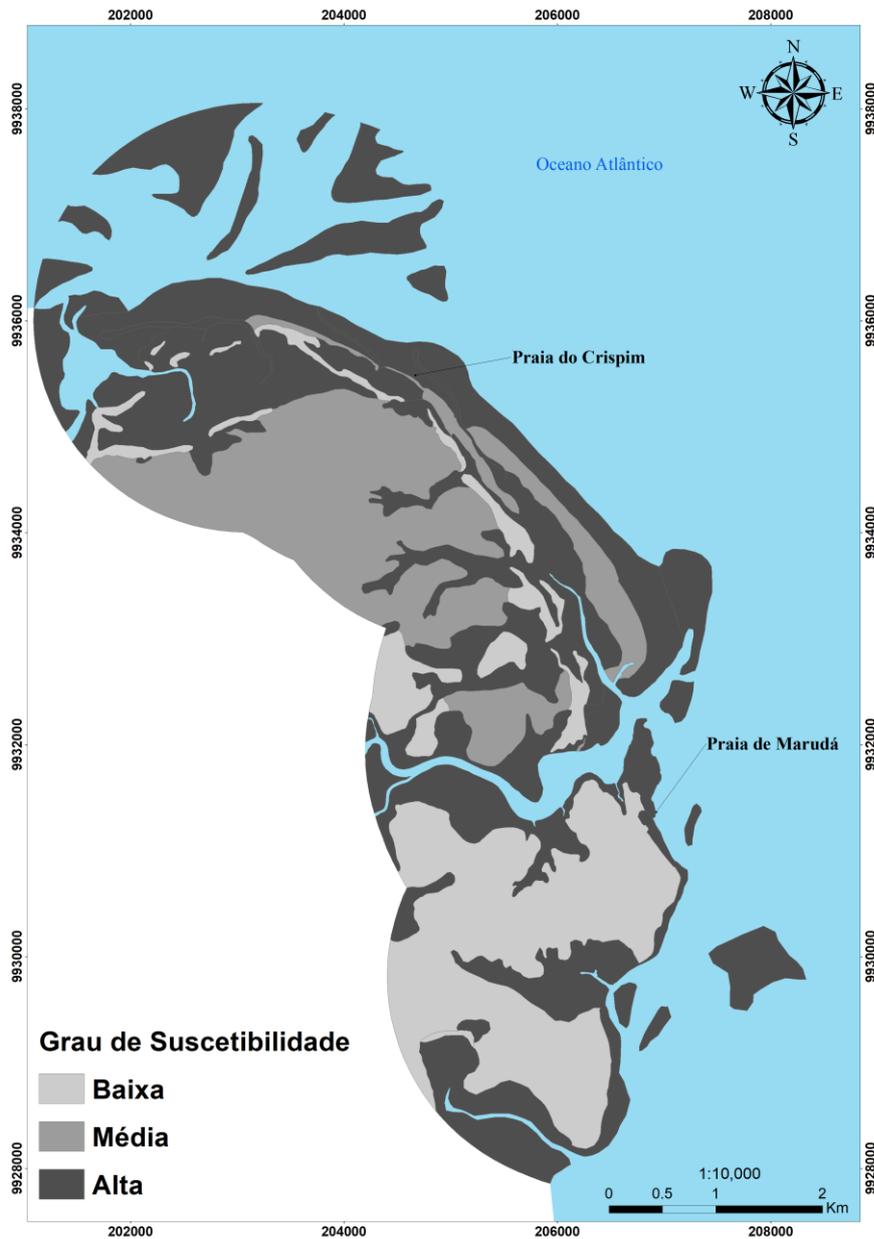


Seguida da análise das diferentes unidades geomorfológicas, cada feição foi analisada quanto à suscetibilidade natural do ambiente aos processos erosivos. A partir desta avaliação, a orla marítima da área de estudo foi classificada em setores de baixa, média e alta suscetibilidade (Tabela 8) (Figura 25).

Tabela 8- Caracterização das unidades geomorfológicas e grau de suscetibilidade natural associada.

Unidades	Grau de Suscetibilidade (Valor)	Caracterização
<i>Cherniêr</i>	Médio (2)	Devido suas características físicas e reológicas e seu posicionamento, a vegetação de mangue, que atua como uma barreira natural é considerada como uma região de média suscetibilidade aos processos erosivos.
Tabuleiro costeiro	Baixa (1)	Essa unidade é caracterizada por uma morfologia de topos planos e alongados, com predomínio de solos espessos e bem drenados, representa as mais altas altitudes na área de estudo, com exceção de suas bordas que podem desenvolver quebras abruptas do relevo.
Paleodunas	Média (2)	Os campos de dunas permanecem uniformes frentes aos processos de remobilização de partículas sedimentares.
Dunas Frontais	Alta (3)	Em constante retrabalhamento, pelos ventos e marés, principalmente, nos períodos de marés equinociais de sizígia. Constantemente remobilizadas e erodidas, assim como realimentados, dependendo do período do ano.
Barras arenosas	Alta (3)	Retentores naturais de sedimentos, e podem explicar os déficits de depósitos ao longo da praia. Quando muito próxima à zona de intermaré pode influenciar significativamente na energia de ondas na zona de arrebentação em marés alta. Portanto, esta unidade de pode intensificar o processo erosivo costeiro.
Lagos interdunas	Alta (3)	Concentram-se, principalmente na região posterior as dunas frontais. Zonas com altos índices de saturação. Apresenta alta suscetibilidade a erosão.
Praia arenosa de macromaré	Alta (3)	Exposta a agentes marinhos e atmosféricos, como correntes ondas, marés e eólicos, que retrabalham os sedimentos expostos na maré baixa, e fluviomarinhos, determinados pelos canais de marés, que além de fonte de sedimentos continentais, modificam temporalmente a morfologia da superfície de praia.
Canais de maré	Alta (3)	Canais sinuosos e assimétricos, temporalmente migratórios, atuam como canais de retenção de sedimentos e como amplificadores da intensidade a energia das ondas quando estão mais próximos à linha de costa e da declividade de praia em suas bordas. Suscetível tanto aos processos erosivos marinhos e eólicos, quando a inundação fluviomarinha
Planície fluviomarinha	Alta (3)	Associada aos canais de maré e aos rios e igarapés estuarinos que recortam a planície costeira, facilmente identificada pela abundante vegetação de mangue. Dinâmica de deposição controla pelo o regime de maré e pela variação sazonal do regime fluvial continental. Suscetível aos processos erosivos marinhos e inundação fluviomarinha.

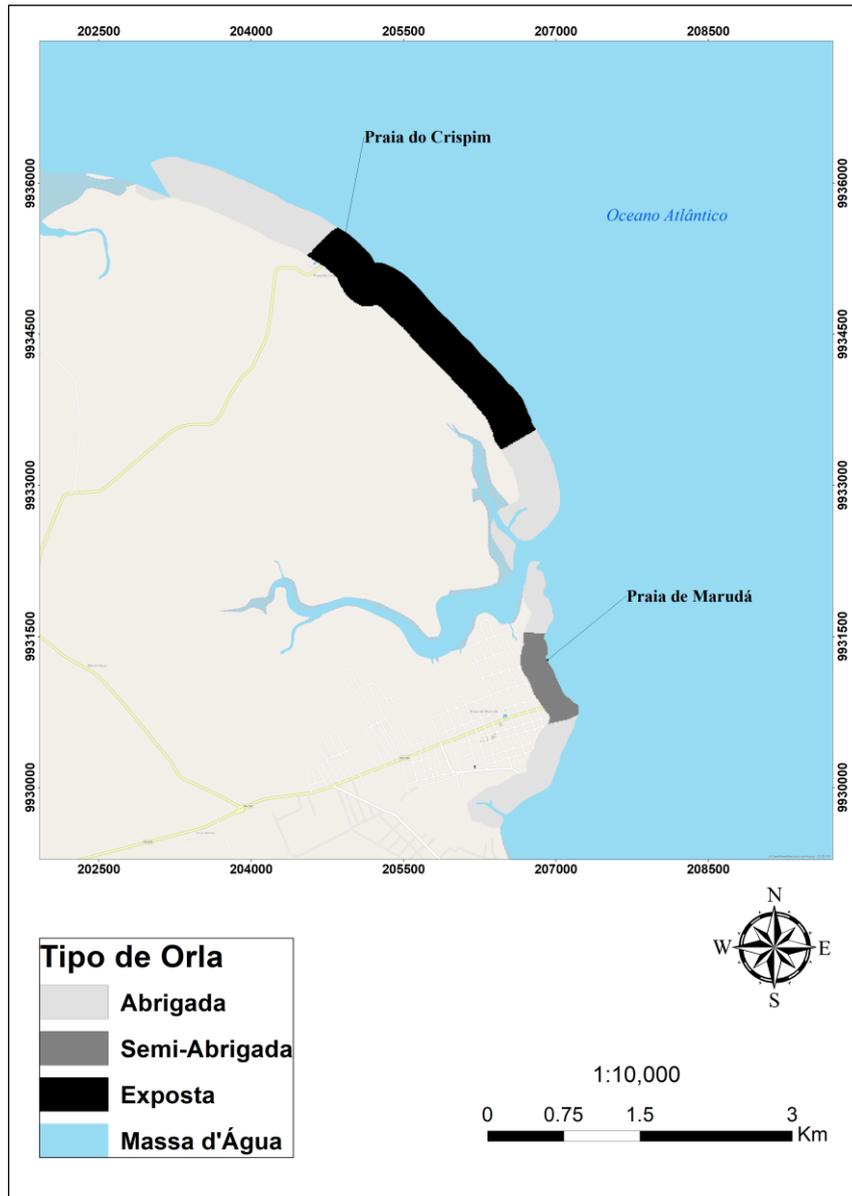
Figura 25- Mapa de suscetibilidade a erosão com base nas unidades geomorfológicas.



5.2. Tipo de Orla

Com base nas características físicas de posicionamento e grau de exposição do ambiente de praia aos agentes marinhos, como ondas, marés e deriva sedimentar, foi estabelecida a classificação proposta pelo Projeto Orla (BRASIL, 2004) de compartimentar e definir os diferentes trechos e tipologias de orla. Essa classificação fundamentada na morfologia do arco praia, na direção preferencial a qual a orla está posicionada, além dos diversos ambientes morfológicos que se comportam como dispersores de energia, ou são ambientes de baixa energia (Figura 26).

Figura 26- Mapa de suscetibilidade a erosão costeira com base nos diferentes tipos de orla, na orla marítima do Crispim e Marudá.



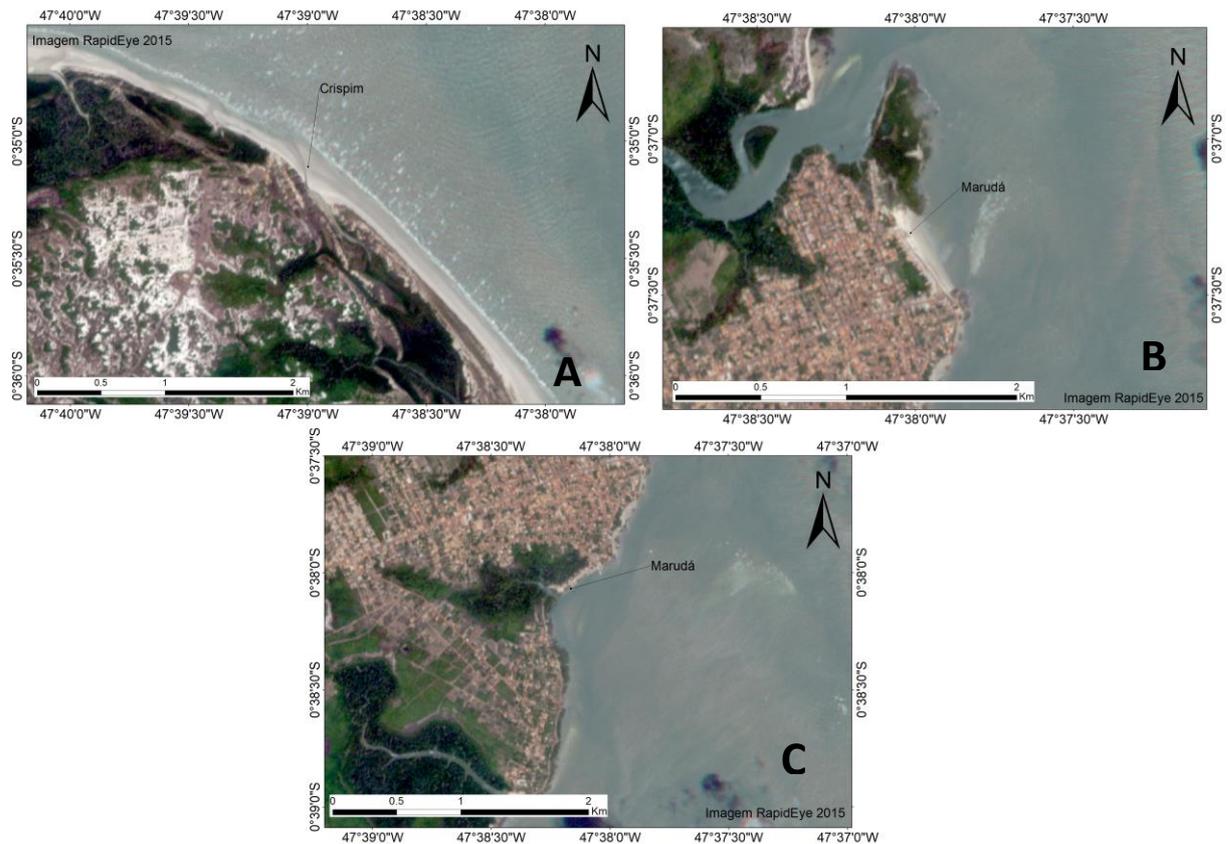
A orla exposta se concentra na praia do Crispim, a qual possui uma geometria retilínea voltada para o Oceano Atlântico (Figura 25), propiciando a ação dos agentes marinhos e atmosféricos de ondas, marés e ventos. Além de estar concentrada na região determinada pelas maiores problemáticas causadas pela erosão costeira e recuo da linha de costa, também, está localizada a comunidade da Vila do Crispim. Essa área é considerada como muito alta suscetibilidade a erosão costeira e inundação (Figura 27A).

A orla semi abrigada localiza-se na praia de Marudá, que apesar de seu posicionamento estar voltado para o ambiente estuarino ainda é fortemente atingida e influenciada pelos agentes marinhos de ondas e marés. As consequências desses processos são

facilmente observadas fissuras, fraturas, desabamentos, solapamentos e suspensão do muro de arrimo de concreto e blocos cimentados na base, pela remobilização de sedimentos e processos abrasivos ocasionados pela incidência das ondas nas marés cheias. Esta tipologia de orla é considerada como média suscetibilidade aos processos erosivos costeiros (Figura 27B).

As orlas abrigadas foram assim definidas por estarem posicionadas próximo à foz dos rios ou canais de maré, e voltadas para o ambiente estuarino, determinados pelos vastos campos de manguezais de baixa energia de sedimentação. Estão associadas também às barras arenosas, que apesar de reter sedimentos de realimentação da praia podem diminuir a intensidade em que a energia de onda ou a velocidade do avanço da maré incidem sobre a praia. Tipologia de maior representatividade na área de estudo, que se estende desde o limite superior da praia do Crispim, na zona de transição do Crispim a Marudá, e na porção mais ao sul da praia de Marudá. Considerada o tipo de orla com de muito baixa suscetibilidade a erosão costeira e inundação (Figura 27C).

Figura 27- (A) Setor de praia exposta em Crispim. (B) Setor da praia semi-abrigada em Marudá. (C) Setor de praia abrigada por manguezal em Marudá.



Seguida da análise dos diferentes tipos de orla, cada trecho desta foi analisada quanto à suscetibilidade natural do ambiente aos processos erosivos. A partir desta avaliação, a orla marítima da área de estudo foi classificada em setores de baixa, média e alta suscetibilidade (Tabela 9).

Tabela 9- Caracterização dos tipos de orla e grau de suscetibilidade associado.

Tipos de Orla	Grau de Suscetibilidade (Valor)	Caracterização
Orlas Abrigadas	Baixa (1)	Posicionadas próximo à foz dos rios ou canais de maré, e voltadas para o ambiente estuarino, determinados pelos vastos campos de manguezais de baixa energia de sedimentação
Orla Semi abrigada	Média (2)	Posicionadas para o ambiente estuarino mas fortemente atingida e influenciada pelas ondas e marés. As consequências desses processos são facilmente observadas pela erosão da orla.
Orla exposta	Alta (3)	Geometria retilínea voltada para o oceano, propiciando a ação dos agentes marinhos e atmosféricos de ondas, marés e ventos. Fortes indícios de processos erosivos abrasivos associados.

5.3. Variação da Linha de Costa

O presente estudo contemplou as praias do Crispim e Marudá para a análise da variação da linha de costa em uma escala tempo de 4 anos para a praia do Crispim e de 6 anos para a praia de Marudá, considerando a resolução e qualidade das imagens disponíveis. Apesar das praias apresentarem uma forte tendência de recuo de linha de costa, em alguns casos pontuais pôde-se observar tendências deposicionais ou nulas em consequência da adoção de técnicas de engenharia costeira.

A orla marítima da praia do Crispim e de Marudá são determinadas, por ambientes de planícies marinhas e planícies fluviomarinhas, dominados pelo regime de macro-marés, que chegam a atingir amplitudes de 5 m. Esta região está constantemente exposta aos processos gerados pela dinâmica costeira, como ondas, ventos, marés, inundação, além da migração dos canais de maré. Além desses fatores naturais, essa região foi sendo ocupada por comunidades/vilas pesqueiras, além de estabelecimentos comerciais, que visam atender o turismo. A análise da variação da linha de costa possibilitou quantificar o perigo e compartimentá-lo em graus de perigo.

Apesar de grande parte das dunas estarem preservadas ao longo da extensão da praia do Crispim, com vegetação de restinga presente, severos processos erosivos recorrentes atingem algumas porções da praia. Indícios erosivos, como verticalização da duna frontal, indicam um balanço negativo na deposição e erosão dos sedimentos em alguns trechos da

praia, principalmente na região onde está concentrada a maior densidade demográfica, e nas porções dos canais de maré. A ocupação do ambiente de praia, ainda que em processo inicial com baixa concentração de construções, propicia a mobilização de sedimentos e conseqüentemente do recuo da linha de costa.

Segundo a análise quantitativa da variação da linha de costa na praia do Crispim, entre 2012 e 2015, os valores erosivos chegam a atingir 20 m/ano de recuo da linha de costa, enquanto em alguns trechos valores positivos de 16 m/ano. A partir desta análise, foi possível identificar as regiões mais críticas, onde o processo de remobilização de sedimentos torna-se preponderante frente ao processo de deposição. Essas regiões de caráter erosivo estão diretamente relacionadas às intervenções antrópicas e à dinâmica natural do ambiente costeiro característico de praias de macromarés.

A praia do Crispim foi subdividida em 4 classes: Alta erosão (20-14 m/ano), Média erosão (14-7 m/ano), Baixa erosão (7-0 m/ano) e Acresção (0-16 m/ano). A faixa determinada pelas altas taxas de recuo médio da linha de costa localiza-se na região de uso para turismo, onde estão concentradas as construções, sejam elas moradias, casas de veraneio, bares, restaurantes ou pousadas. A partir desta correlação, nota-se que as intervenções antrópicas estão intensificando e acelerando o processo de recuo da linha de costa. Além deste fator antrópico, pode-se considerar para praias de macromarés, a feição de canal de maré como um controlador dos processos de recuo da linha de costa. A partir da análise fotointerpretativas das imagens de satélite foi possível identificar trechos de recuo da linha de costa causados principalmente pela migração do canal de maré. Os trechos com taxas medianas e baixas de recuo da linha de costa são condicionados pelo déficit de sedimentos depositados, o arrasamento de faixa de dunas frontais e em algumas regiões pelo recuo do manguezal, inserido nas planícies fluviomarinhas, que acabam sendo soterrados pela areia impedindo o desenvolvimento da vegetação de mangue, e erodidos pela ação abrasiva das ondas. O trecho de acresção está concentrado na porção mais a sudeste da praia do Crispim, representado pela região mais extensa de dunas, com ausência de intervenção antrópica e canais de marés (Figuras 28 e 29).

A orla marítima de Marudá consiste em uma região mais desenvolvida, tanto em infraestrutura, como em assiduidade de ocupação e urbanização, quando comparada à praia do Crispim. Determinada pela presença de um pequeno campo de dunas vegetado, obras do tipo muro de arrimo que contempla grande parte de sua extensão e um vasto manguezal, a orla

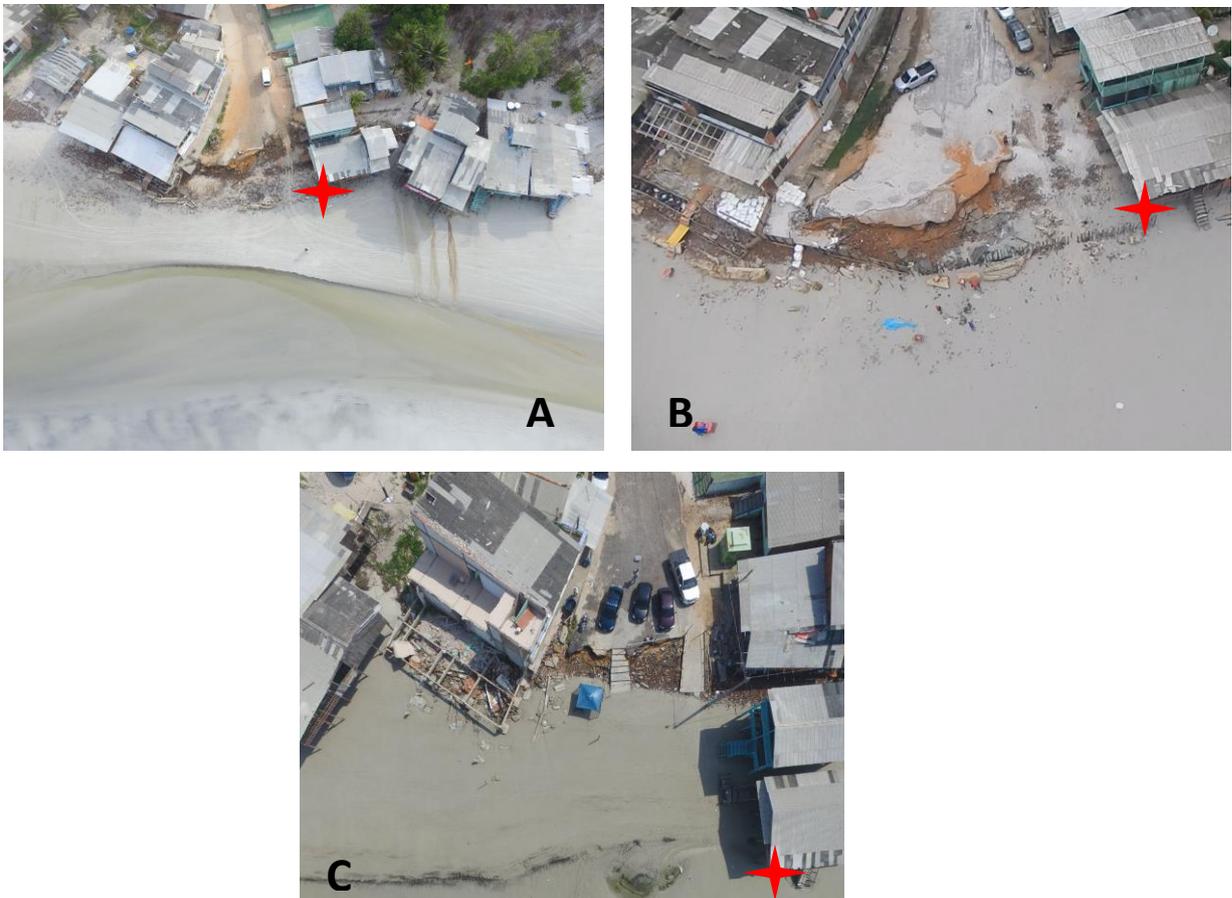
marítima de Marudá demonstra um ambiente de severos processos erosivos e altos valores de variação da linha de costa. Indícios de processos erosivos recorrentes são observados ao longo da estrutura de obra de contenção, a qual passa por frequentes assistências de manutenção em sua estrutura.

Figura 28: (A) Manguezal soterrado por deposição de sedimentos arenosos na praia do Crispim, em 2016. (B) Destruição de rua beira-mar a partir do recuo da linha de costa na praia do Crispim, no ano de 2015.



(Fonte: LGA).

Figura 29- Variação da linha de costa em setor com maiores taxas de recuo na praia do Crispim. Ponto de referência na moradia (★). (A) Outubro de 2016. (B) Abril de 2017. (C) Setembro de 2017.



A partir da análise multitemporal da variação da linha de costa em 2010 a 2015 foi possível quantificar taxas tanto de erosão como de acresção em diferentes trechos da orla marítima. A orla marítima de Marudá foi subdividida em 3 classes: Alta erosão (10-6 m/ano), Baixa erosão (6-0 m/ano) e Acresção (0-13 m/ano). A praia em sua totalidade demonstra um padrão erosivo, que chega a atingir até 10 m de recuo da linha de costa por ano, no entanto, em grande parte esse valor atinge 6 m de recuo por ano, em média. Os maiores valores do recuo da linha de costa estão concentrados na porção norte da praia de Marudá, na região de manguezal, assim como os maiores valores de avanço da linha de costa que chegam a atingir 13 m/ano. Característica determinante de praias de macromarés, a intensa dinâmica controlada pelo regime de marés pode provocar tanto a perda quanto o desenvolvimento da vegetação de mangue a partir de um domínio sazonal de períodos de secas (abril a outubro) e períodos chuvosos (novembro a março). Na região com a presença de muros de contenção de arrimo deve-se considerar uma variação quase que nula, pois apesar dos evidentes sinais de deterioramento causado pelo processo erosivo, a linha de costa permanecerá fixa (Figura 30).

Figura 30- (A) Indícios do intenso processo erosivo, destruição de cordão de enrocamento na orla de Marudá em 2017. (B) Descalçamento de cordão através da remobilização de material, na orla de Marudá em 2017.



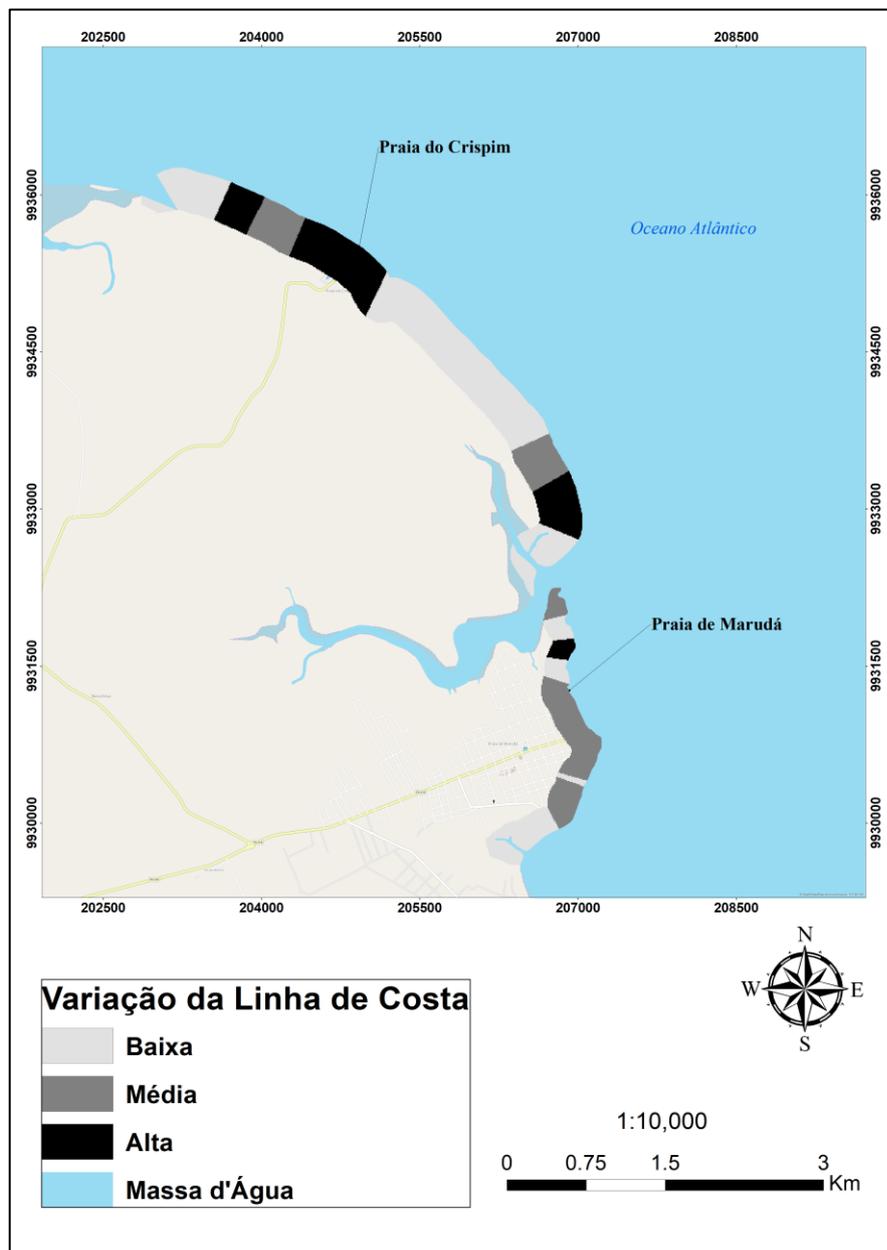
Seguida da análise multitemporal da variação da linha de costa, cada trecho deste foi analisado quanto ao perigo latente intrínseco a sua variação. A partir desta avaliação, a orla do Crispim e Marudá foram determinadas por setores baixo, médio e alto perigo (Tabela 10) (Figura 31).

Tabela 10- Caracterização da variação da linha de costa e grau de perigo associado.

Varição da Linha de Costa	Grau de Perigo (Valor)	Caracterização
Alta erosão	Alto (3)	Valores erosivos variam de 14 a 20 m/ano de recuo da linha de costa. Identificação de trechos de recuo da linha de costa causados principalmente pela migração do canal de maré.
Média erosão	Médio	Valores erosivos chegam a atingir 14 m/ano de recuo da linha de

	(2)	costa. Condicionados pelo déficit de sedimentos depositados, o arrasamento de faixa de dunas frontais e pelo recuo do manguezal, inserido nas planícies fluviomarinhas, que acabam sendo soterrados pela areia, e erodidos pela ação abrasiva das ondas.
Baixa erosão	Baixo (1)	Valores erosivos chegam a atingir 7 m/ano de recuo da linha de costa. São condicionados pelo déficit de sedimentos depositados, o arrasamento de faixa de dunas frontais e pelo recuo do manguezal, inserido nas planícies fluviomarinhas, que acabam sendo soterrados pela areia, e erodidos pela ação abrasiva das ondas.
Acresção	Baixo (1)	Valores positivos de 16 m/ano de avanço da linha de costa. Representado pela região mais extensa de dunas, com ausência de intervenção antrópica e canais de marés migratórios. Quanto à região com a presença de muros de contenção de arrimo deve-se considerar uma variação quase que nula.

Figura 31- Mapa da variação da linha de costa da orla marítima da praia do Crispim e Marudá.



5.4. Variação dos perfis de praia

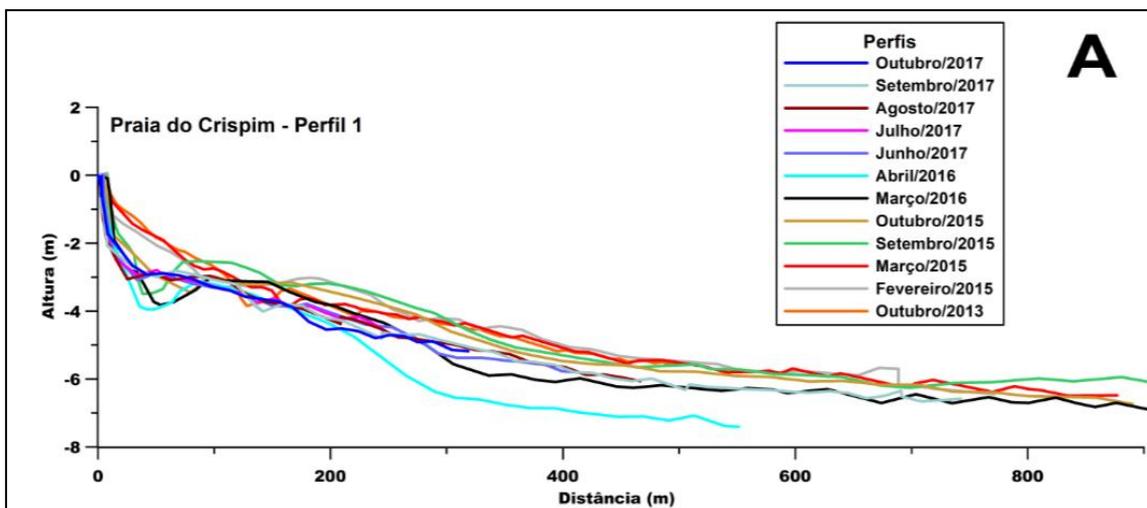
Ao longo do seguimento praial do Crispim, o comprimento médio da base das dunas frontais até a linha de maré baixa tem uma média de 600 m, chegando a alcançar valores de 1200 m. Dentre as irregularidades que interrompem a homogeneidade desta praia, vale ressaltar os sistemas de crista e calha gerados pela migração dos canais de maré e o acelerado processo erosivo no pacote sedimentar do perfil 1 na praia do Crispim.

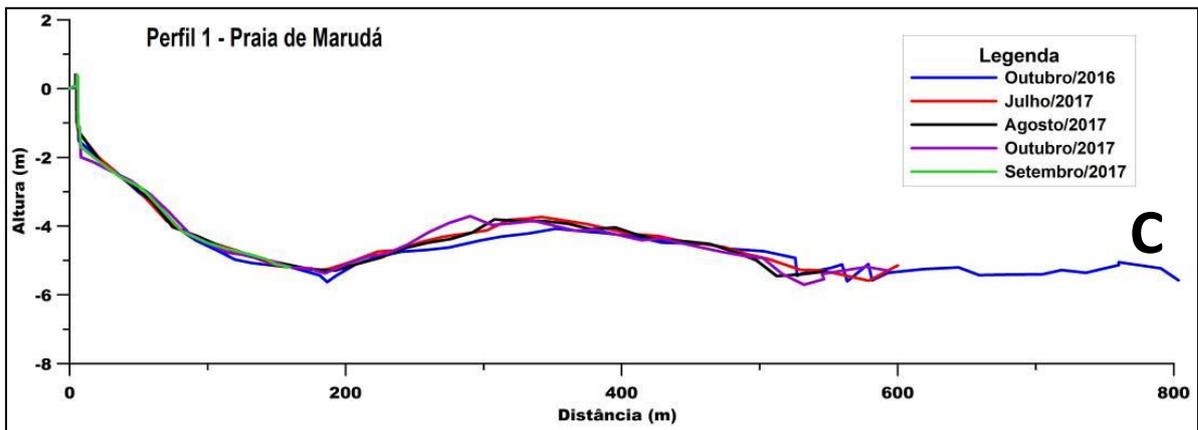
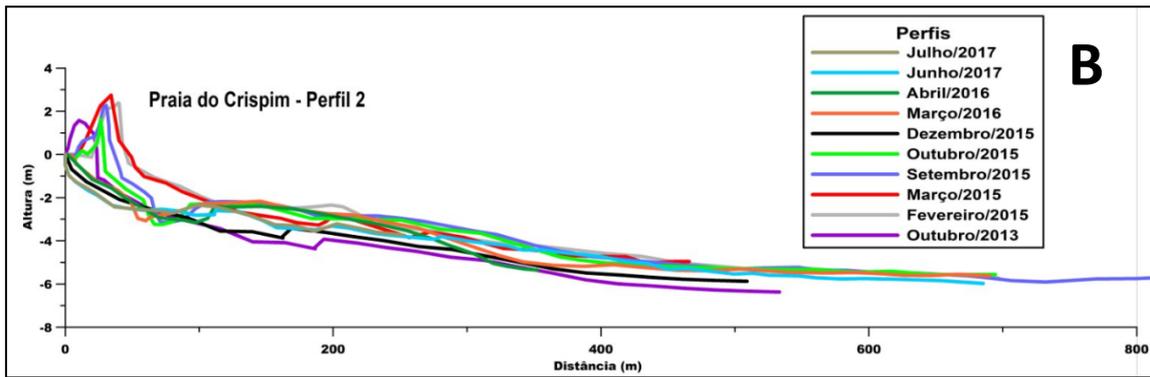
O levantamento topográfico dos 3 perfis de praias, dois na praia do Crispim e 1 na praia de Marudá, revelou que estas praias apresentam baixa declividade em toda sua extensão, com valor médio de $1^{\circ}40'$, valores condizentes com sua hidrodinâmica.

Para caracterização da variabilidade morfológica da área de estudo, foi realizada uma análise comparativa entre os consecutivos perfis 1 e os consecutivos perfis 2 na praia do Crispim, assim como os consecutivos perfis 1 da praia de Marudá. Esta análise permitiu o reconhecimento mais detalhado das mudanças entre os meses estudados de 2013 a 2017 na praia do Crispim, para os perfis 1 e 2 (Figura 32A e 32B), assim em 2016 e 2017 para o perfil 1 da praia de Marudá (Figura 32C).

A análise comparativa dos perfis topográficos no perfil 1 da praia do Crispim possibilitou a compreensão mais completa da morfodinâmica costeira, que atua ao longo das praias de macromarés. A partir desta análise, foi possível identificar os períodos onde os processos ocorreram de forma mais intensa, sendo estes referentes à erosão ou deposição dos sedimentos.

Figura 32: (A) Variação dos perfis topográficos 1 da praia do Crispim. (B) Variação dos perfis topográficos 2 da praia do Crispim. (C) Variação dos perfis topográficos 1 da praia de Marudá.





A partir da análise dos perfis apresentados, foi possível caracterizar a praia como de caráter erosivo, apesar das mudanças pouco significativas na morfologia de praia. A migração do canal de maré, preenchimento deste ou erosão de suas cristas, causam o constante rebaixamento ou elevação do perfil topográfico das praias. O rebaixamento dos perfis topográficos seguidos de processos erosivos ocorre preferencialmente nas zonas supamaré e intermaré superior, enquanto a realimentação do perfil de praia se dá próximo da zona intermaré média-inferior, a exceção do perfil A (Figura 33).

O perfil B demonstra uma migração da crista lateral do canal de maré em direção à zona de intermaré superior, além de indicar uma erosão extrema na zona de intermaré superior, rebaixando o perfil em 0,8m. Este perfil evidencia um processo erosivo severo desde 2015, e ainda observa-se certa elevação no perfil de praia na zona de intermaré média, sugerindo a deposição dos sedimentos erodidos da porção superior do perfil (Figura 33).

O perfil C, referente à transição de outubro de 2015 a março de 2016 (LGA), e demonstra os maiores valores de amplitude de variação do perfil praiial, que ocorre quase homogeneamente por toda topografia. Pode-se observar a migração do canal de maré em direção à zona intermaré média. Este perfil demonstra o comportamento transacional de um período seco, no mês de outubro de 2015, para um período chuvoso, no mês de março de

2016, sugerindo um controle sazonal. Vale ressaltar que em outubro acontecem as marés de equinócio de primavera, associadas aos processos erosivos de alto potencial danoso (Figura 33).

O perfil D demonstra um período de deposição preferencial de sedimentos, e um considerável aumento do pacote sedimentar no período de abril de 2016 a junho de 2017. Observa-se claramente o preenchimento do canal de maré na zona supramaré, com o aumento de 1,2 m proporcionando uma considerável elevação no perfil morfológico da praia e uma diminuição da dinâmica erosiva. Prolongamento elevacional na zona intermaré inferior, sugere um período de realimentação de praia (Figura 33).

A partir da análise comparativa geral ao longo do período de monitoramento, relativa ao perfil mais antigo (out/2013) e o perfil mais recente (out/2017) observa-se uma intensa modificação e um considerável rebaixamento do perfil topográfico para este ponto na praia do Crispim (Figura 32). No período Outubro/2013 e Outubro/2017, foi identificado um abatimento do perfil em cerca de 1,7 m na zona de supramaré e intermaré média. Além do preenchimento do canal de maré, que anteriormente alcançava 0,5 m de profundidade e atualmente culmina em 0,2 m, houve a migração deste canal localizado anteriormente à 130 m do início do perfil, na zona intermaré, para 40 m do início do perfil, na zona supramaré. Apesar disso, a declividade do perfil variou pouco, de $0^{\circ}35'$ para $0^{\circ}45'$, se considerada toda a sua extensão. Porém, quando comparada à variação da declividade na zona de intermaré superior, verificou-se uma mudança de $1^{\circ}25'$ para $6^{\circ}41'$, que explica a maior intensidade das ondas nos últimos eventos erosivos. Entre estes períodos houve uma mudança no volume sedimentar de $-163,8 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil, e esta mobilidade sedimentar reflete na orla marítima, gerando diversos efeitos negativos e crescentes ao longo dos anos de monitoramento da praia os quais se refletem nos processos erosivos que atingem diretamente a população local. (Figura 35).

Figura 33- Perfis de comparação por pares ao longo do ano de 2015 a 2017 para o Perfil 1 da praia do Crispim.

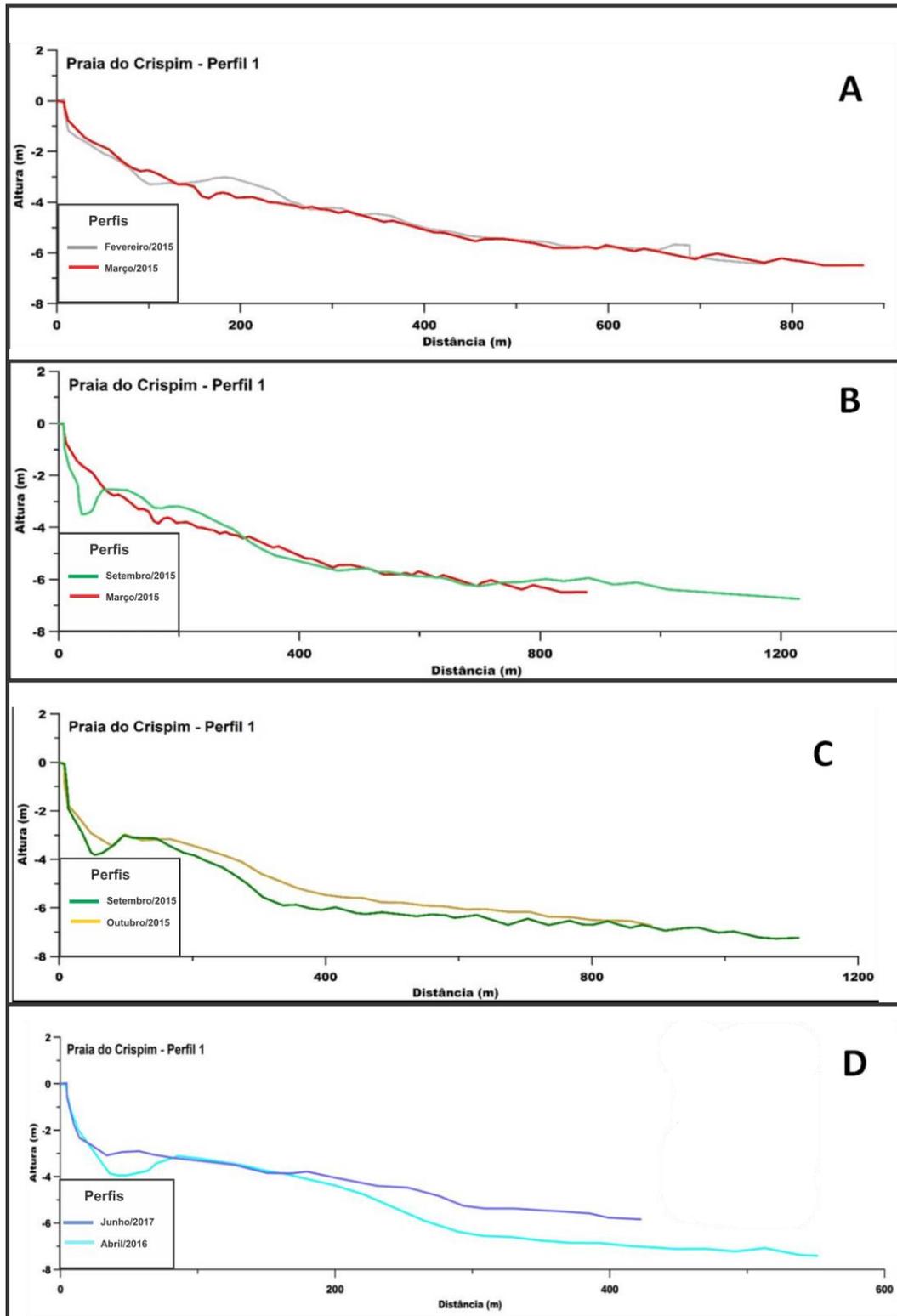


Figura 34- Variação do perfil topográfico do monitoramento total (2013 a 2017) no perfil 1 da praia do Crispim.

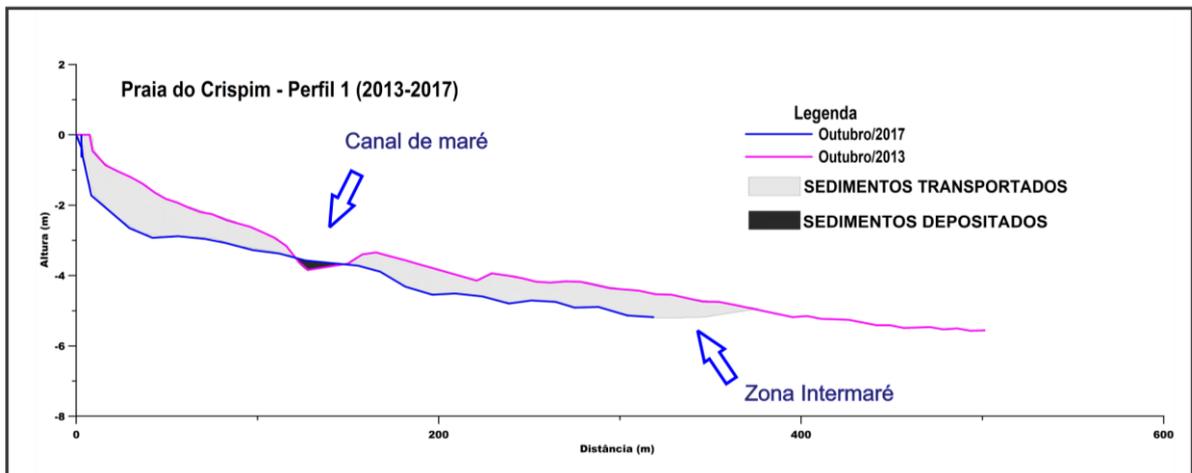


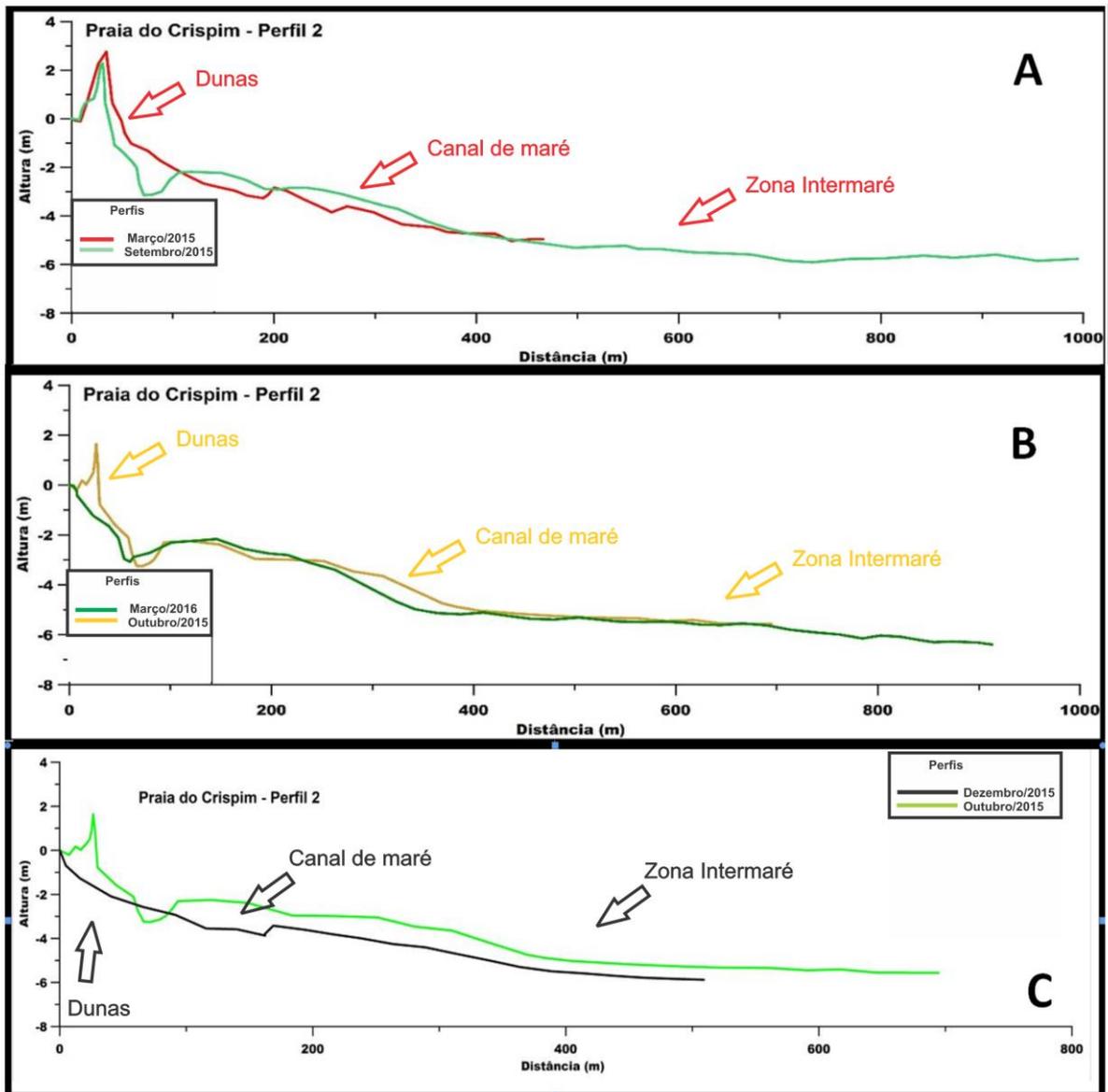
Figura 35- (A) Setor perfil 1 na praia do Crispim e as consequências da ausência do aporte sedimentar. Março de 2015. (B) Abril de 2016. (C) Junho de 2017.



No perfil 2 da praia do Crispim, o processo de mudança de perfil de praia ocorre de maneira mais explícita, evidenciando rigorosos processos erosivos e rebaixamento bruscos da

topografia praial. Foram observados, arrasamento de dunas frontais, migração de canais de maré, além da elevação do perfil topográfico causada pela deposição intensificada na zona de intermaré inferior (Figura 36).

Figura 36- Perfis de comparação por pares dos meses de Março/2015 a Dezembro/2015 para o Perfil 2 na praia do Crispim.

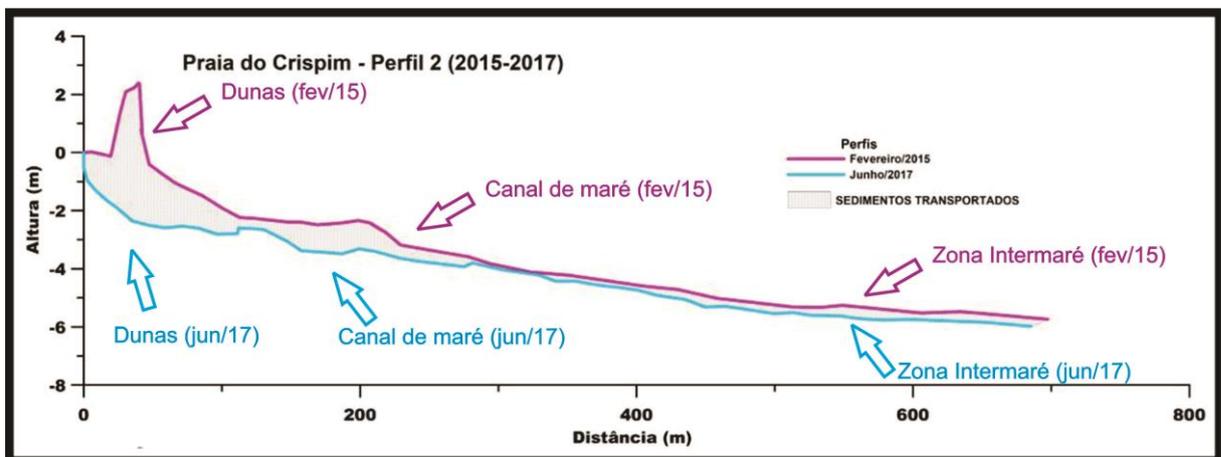


A partir da análise do perfil A, observa-se o início do processo de desestabilização da duna frontal que demonstra um déficit de sedimentos, sugerido a partir do recuo de 5 m. Além do avanço do canal de maré em direção a zona de intermaré superior, em cerca de 100 m, pode observar o aprofundamento da ordem de 0,5 m e que inicialmente atingia 0,6 m e estreitamento do mesmo. Vale ressaltar, o sutil engordamento de aproximadamente 0,2 m da crista lateral do canal de maré, o qual se desloca juntamente com o canal. No período de

Outubro/2015 a Março/2016 houve o arrasamento total das dunas frontais, modificando totalmente a morfologia praial neste ponto da praia do Crispim, evidenciado pelo perfil B. Além desta variação houve também, um recuo do perfil em 25 m em direção ao início do perfil, marcada pela transição sazonal e marés equinociais, tanto de primavera como de outono que atuaram no retrabalhamento destes sedimentos e o consequente processo erosivo intensificado. Aliado ao processo erosivo ocorreu a migração do canal de maré em direção à zona de supramaré em aproximadamente 15m (Figura 36).

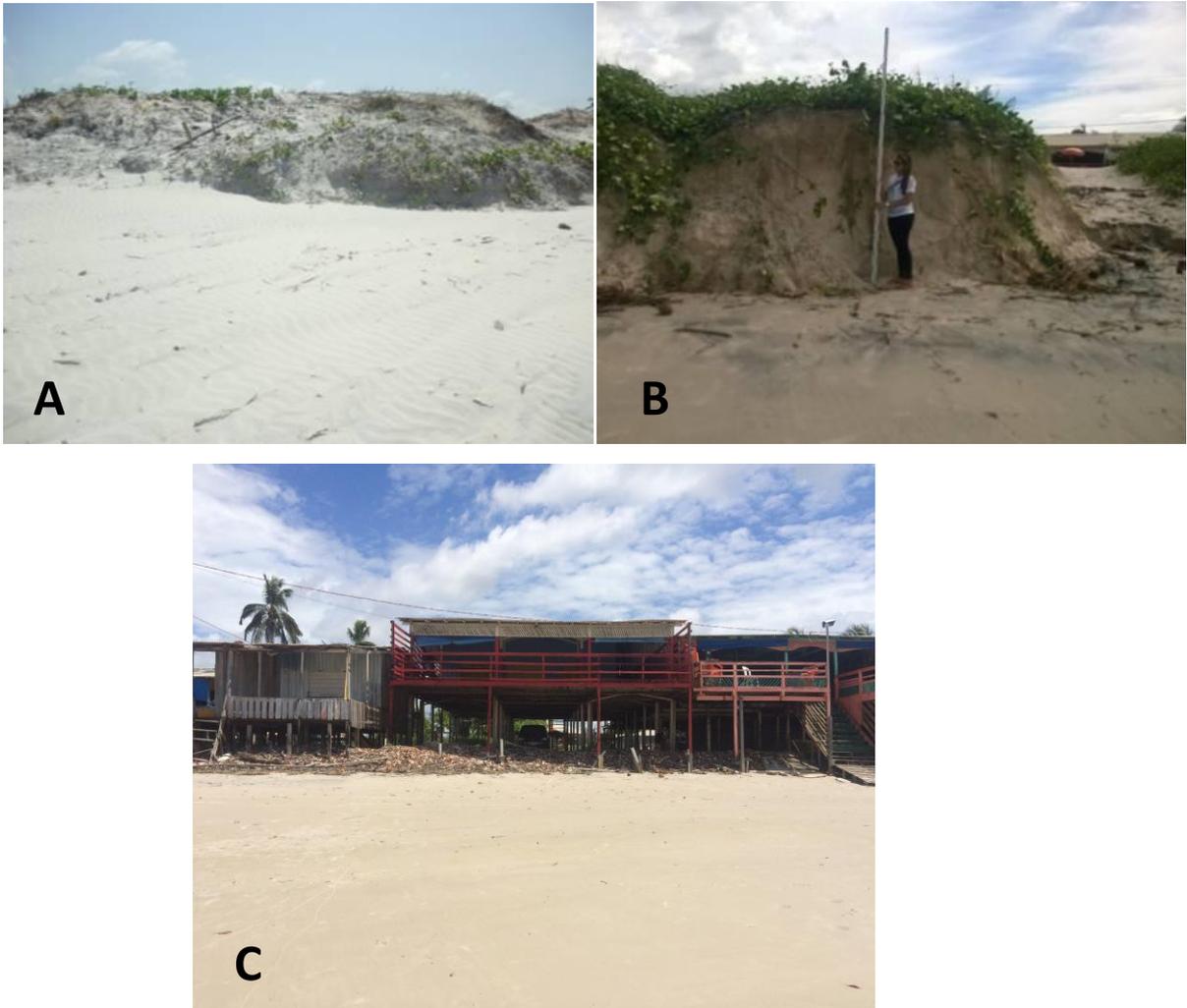
A análise comparativa da morfologia inicial e final do monitoramento topográfico do perfil 2 da praia do Crispim, de fevereiro de 2015 a junho de 2017, possibilitou a aferição de uma grande mudança na morfologia da praia (Figura 37). Foi observado o rebaixamento do perfil topográfico em cerca de 4,5 m na zona de supramaré, próximo às dunas frontais arrasadas e 1,2m na zona de intermaré média-superior, causada prioritariamente pela migração dos canais de maré. Na zona de intermaré inferior ocorreu um sutil rebaixamento da topografia de 0,2 m. Além disso, a declividade do perfil variou pouco, de 0°36' para 0°50', se considerada toda sua extensão, e também em suas zonas, onde a variação máxima foi verificada na zona de intermaré inferior, passando de 0°27' para 1°13'.

Figura 37- Variação dos perfis topográficos total no período de monitoramento (fevereiro/2015 a junho/2017) no Perfil 2 da praia do Crispim.



Entre estes períodos houve uma mudança no volume sedimentar de $-162,3 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil (Figura 38).

Figura 38- (A) Dunas vegetadas e sem sinais de processo erosivo atuante em 2011; (B) Duna vegetada, com perfil verticalizado, indicando a ação da erosão em março de 2015; (C) A mesma área com duna completamente erodida em 2017.



(Fonte: LGA).

Na praia de Marudá, o perfil topográfico sugere um comportamento de variação morfológica mais homogênea quando comparado à praia do Crispim, determinado pelos baixos valores de elevação e de rebaixamento ao longo do período de monitoramento, que se estendeu de outubro de 2016 a setembro de 2017 (Figura 39). A partir da análise dos levantamentos topográficos iniciais e finais foi possível estabelecer uma tendência à deposição ao longo do perfil, com valores sutis de elevação do perfil topográficos, que chegam a atingir 0,75m. Esta tendência a valores positivos do balanço sedimentar deve-se a obra de engenharia, do tipo muro de arrimo, que apesar de demonstrar uma necessidade de manutenção recorrente, impede que a dinâmica erosiva evolua rapidamente como na praia do Crispim (Figura 40).

Figura 39- Variação dos perfis topográficos medidas em Outubro/2016 e Outubro/2017 no Perfil 1 da praia de Marudá.

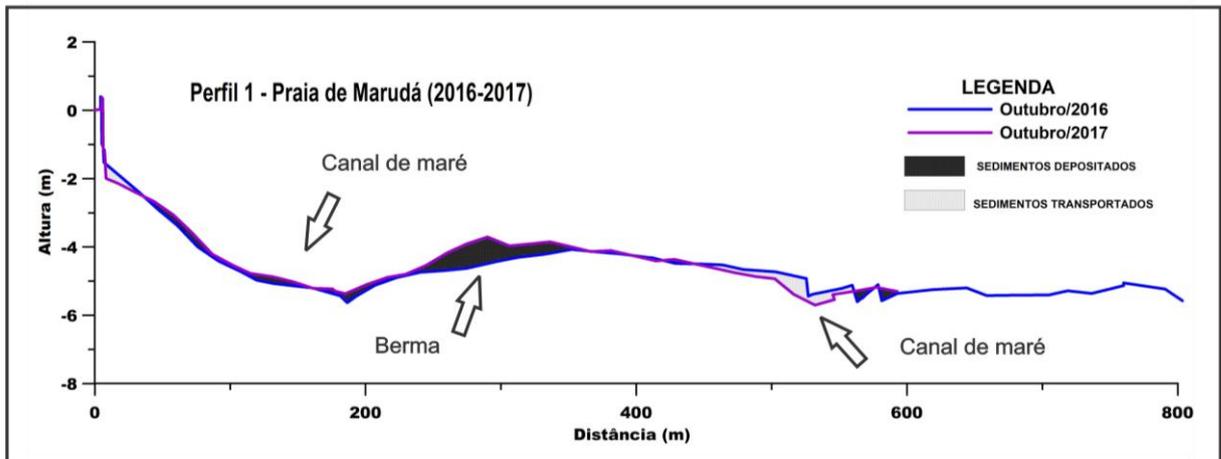
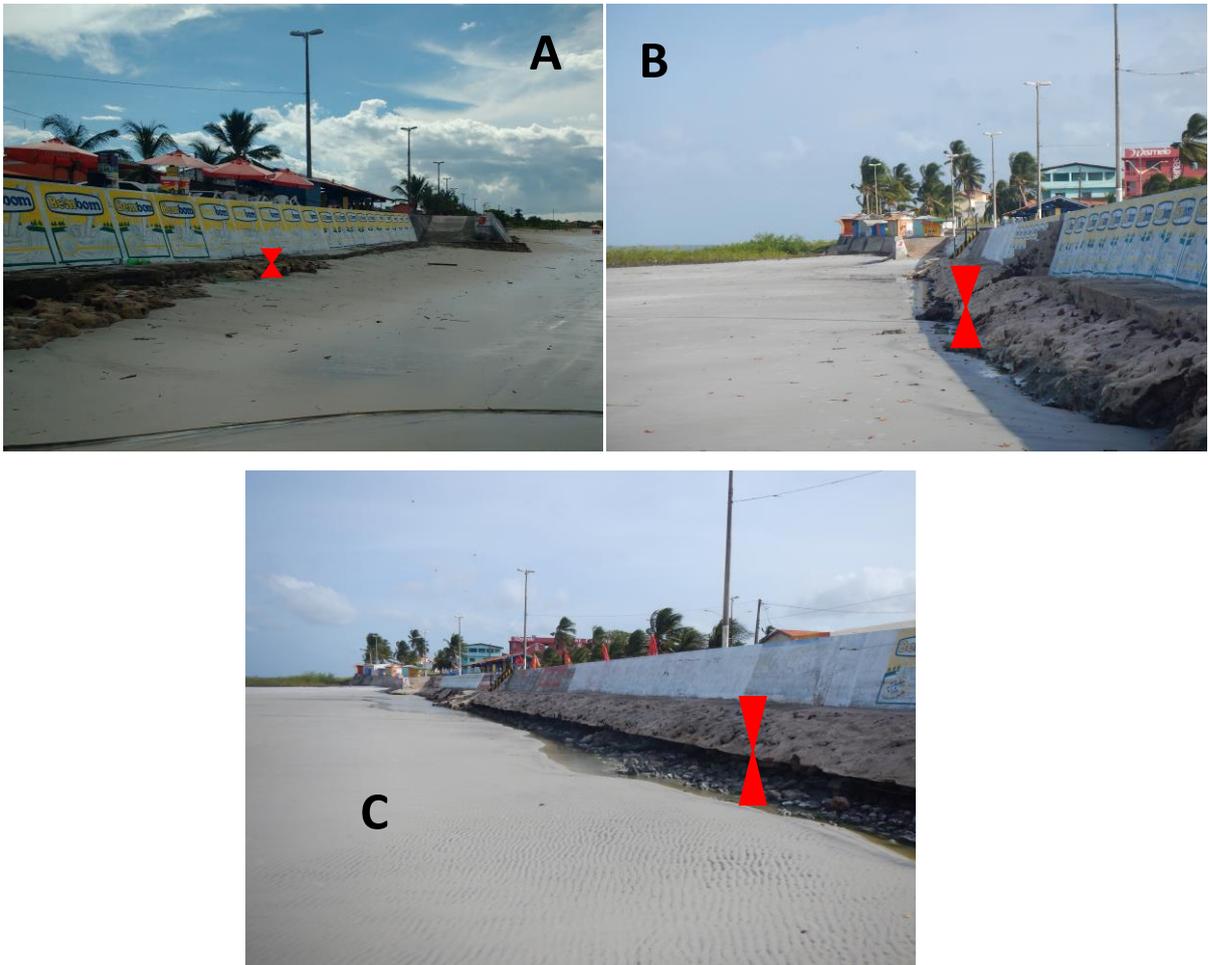


Figura 40- Mudanças de aporte sedimentar são claramente observadas em 2017 na praia de Marudá. (A) Junho. (B) Setembro. (C) Outubro.



Seguida da análise multitemporal dos perfis topográficos transversais à linha de costa indicativos da morfologia praiar, cada ponto deste foi analisado quanto ao perigo latente intrínseco a sua variação. A praia do Crispim apresenta áreas de alto perigo, enquanto na praia de Marudá a região do perfil 1 foi considerada como de baixo perigo (Tabela 11) (Figura 41).

Figura 41: Mapa da variação do perfil de praia, nas praias do Crispim e Marudá.



Tabela 11- Caracterização dos perfis de praia e grau de perigo associado.

Perfis de Praia	Grau de Perigo (Valor)	Caracterização
Perfil 1 – Praia do Crispim	Alto (3)	Praia de caráter erosivo, associado a migração do canal de maré, Arrasamento das dunas e rebaixamento significativo do perfil de praia na região intermaré, e avanço em alguns 20 metros em ambiente de praia. Está associado ao ponto de maior degradação da orla marítima.
Perfil 2 – Praia do Crispim	Alto (3)	A variação do perfil de praia ocorre de maneira explícita, evidenciando rigorosos processos erosivos e rebaixamento bruscos da topografia praiial. Foram observados, arrasamento de dunas frontais, migração de canais de maré, além da elevação do perfil topográfico causada pela deposição intensa na zona de intermaré inferior.
Perfil 1 – Praia de Marudá	Baixo (1)	A variação do perfil de praia sugere um comportamento de variação morfológica homogênea, determinada pelos baixos valores de elevação e de rebaixamento do perfil ao longo do período de monitoramento. Tendência à deposição ao longo do perfil, com valores sutis de elevação do perfil topográficos, que chegam a atingir 0,75m

5.5. Exposição da população à erosão

O conceito de risco proposto pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2007) condiciona o risco à ocorrência de um evento perigoso que tem o potencial de gerar danos à população ou comunidade, expressada pelo nível de vulnerabilidade. Neste tópico, serão abordadas somente as porções da orla marítima de Marudá e Crispim habitadas e com presença de construções, que caracterizam áreas expostas a erosão (Figura 42).

A praia do Crispim foi setorizada em duas áreas, que demonstram um diferente comportamento frente aos processos de erosão, os quais foram classificados pelo grau potencial da exposição da população e construções, que varia de muito alto a baixo. O processo erosivo na praia do Crispim recorrente vem evoluindo ao longo dos anos, de maneira sazonal, e influencia diretamente no movimento das dunas, que são geralmente erodidas e arrasadas na época da chuva e na época da seca são recompostas.

Segundo conversa com moradores e funcionários da prefeitura, desde novembro de 2015, o nível da maré teve um aumento significativo quando comparado aos anos anteriores, e o processo erosivo passou a ser incidente não somente na rua beira mar, como também nas moradias e restaurantes adjacentes. O aumento da intensidade do processo ocorreu ao longo do verão amazônico de 2015 (abril a outubro), tendo o seu pico em fevereiro de 2016.

Foram encontrados indícios, que evidenciam a contínua evolução do processo erosivo ao longo de toda orla, como, fissuras nas estruturas das construções de alvenaria, fissuras e destruição do asfalto ao longo da orla, além de estacas de sustentação de moradias de madeira quebradas, descalçadas, causadas pela ação abrasiva das ondas em conjunto com a subida da maré (CPRM, 2016). Neste setor, as evidências indicam uma área de alta exposição frente os processos de erosão costeira, tanto para a população residente como para o turista de veraneio (Figura 43).

Figura 42- (A) Mapa de exposição da população à erosão costeira na praia do Crispim e Marudá.

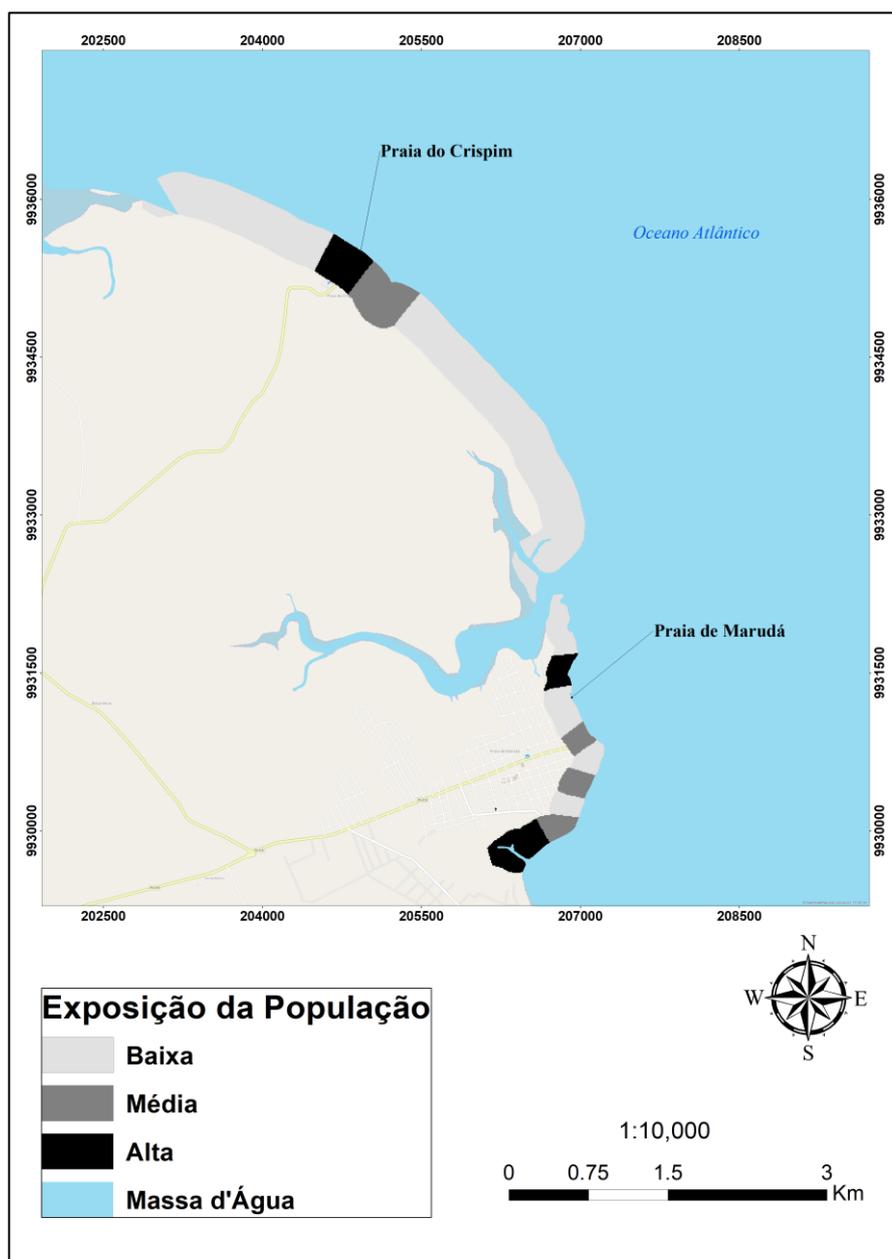


Figura 43- (A) Destruição de construções e de rua beira-mar na praia do Crispim, em 2016 (Fonte: LGA). (B) Construções expostas aos agentes costeiros devido variação da linha de costa, em 2016. (C) Edificações localizadas no ambiente praiial, expostas à ação das ondas e marés, em 2017.

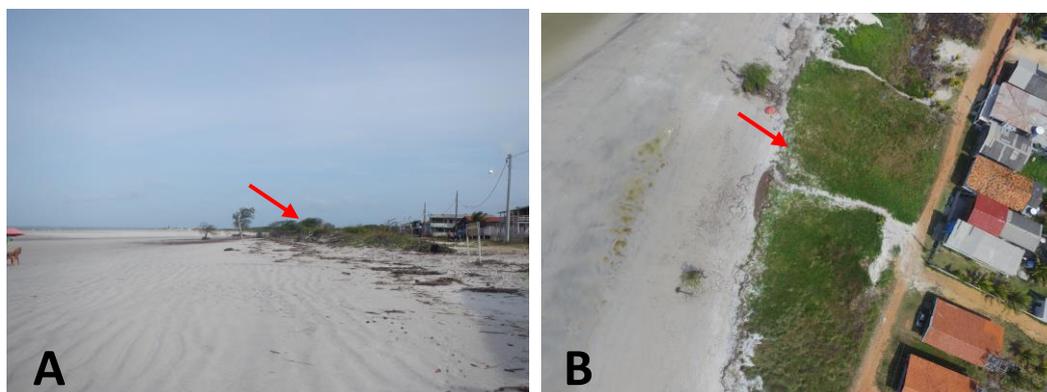


Na porção sudeste da praia do Crispim ainda existe dunas preservadas, com aproximadamente 400 m de extensão e 40 m de largura, com vegetação nativa, que atuam como barreiras naturais de proteção às moradias. Esta região foi classificada como uma área de média exposição, devido às taxas erosivas calculadas anteriormente a partir da variação da linha de costa e dos perfis de praia. Caso estas taxas se mantenham, essas dunas serão arrasadas em aproximadamente 3 a 4 anos (Figura 44), expondo as moradias ao desenvolvimento progressivo da ação abrasiva das ondas em conjunção às marés e à migração dos canais.

Na região mais a noroeste da praia do Crispim, foi delimitada uma área representativa de exposição baixa a média aos processos erosivos, representada por uma pequena vila de pescadores, com moradias de madeira. Estas moradias encontram-se instaladas entre o ambiente de dunas frontais, lagos interdunas e manguezal, que seguido do

arrasamento das dunas podem ser atingidas pelo processo erosivo proveniente da influência de maré, ação mecânica das ondas e pela migração dos canais de maré (Figura 45).

Figura 44- (A) Dunas de aproximadamente 1,5 de altura vegetadas agem como barreiras naturais de proteção as moradias, na praia do Crispim em 2017. (B) Imagem aérea de dunas atuando como barreiras naturais de proteção às moradias, na praia do Crispim, em 2017.



Na orla marítima do Crispim o setor de alta exposição foi determinado a partir da delimitação de 22 imóveis, dentre restaurantes, pousadas, bares, casas de veraneio e moradias; no setor de média exposição foram delimitados 26 imóveis, enquanto no setor de baixa exposição foram delimitadas 6 moradias.

Figura 45- Pequena vila de pescadores instalada em ambiente pós-praia no Crispim, em 2016.

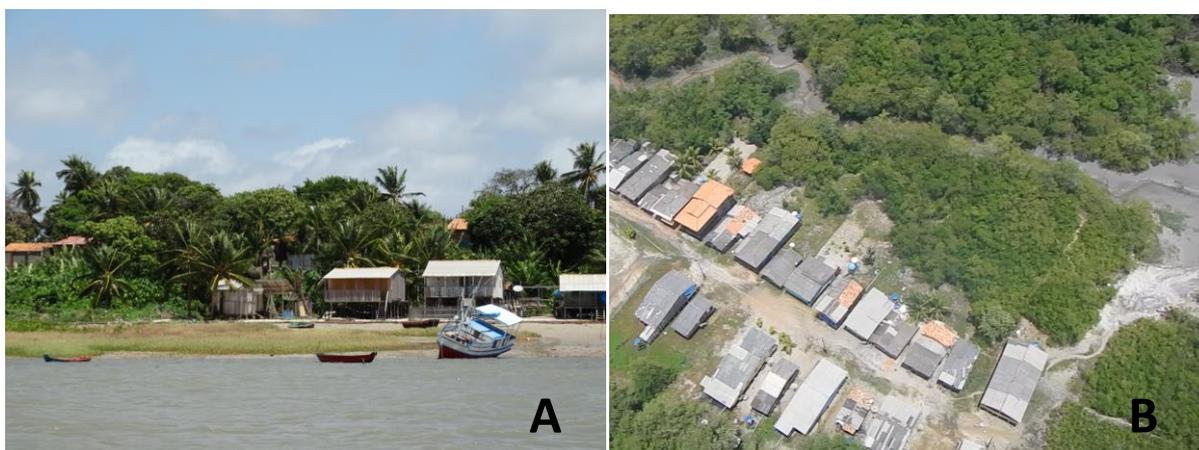


Na praia de Marudá, nota-se um intenso processo de expansão da ocupação territorial para áreas de planícies fluvio-marinhas, que além de desencadear um processo de remobilização da vegetação de mangue, a população se coloca em regiões que permanecem emersas e inundadas diariamente, afetadas pelo regime de maré semidiurno, o que configura áreas de alta exposição aos processos costeiros.

As obras de engenharia de contenção demandam de contínua manutenção e monitoramento, além dos reparos necessários, devido os decorrentes dos processos abrasivos. Fissuras, quebras, deterioramento da estrutura de concreto, configuram áreas de exposição média.

Na orla marítima de Marudá nota-se o predomínio de áreas de baixa a média exposição à inundação principalmente, e secundariamente, de áreas com potencial erosivo. Os setores localizados nos extremos sul e norte da praia de Marudá foram classificados como áreas de alta exposição à inundação determinadas pela expansão urbana nas planícies fluviomarinhas. Estes núcleos populacionais são impactados, pela variação sazonal do nível dos rios e canais nas épocas chuvosas e secas, assim como pela variação diária das marés. Em geral, a população promove o processo de remoção da vegetação de mangue para construção de novas moradias, sendo este um local prioritariamente procurado por famílias de baixa renda ou de pescadores, que culminam em localidades de baixa infraestrutura e saneamento básico inexistentes, determinados por alta exposição aos processos naturais (Figura 46).

Figura 46- (A) Moradias instaladas em planície fluviomarina, (B) Imagem aérea da área de manguezal na vila de Marudá em 2017.



O setor de baixa exposição está localizado na porção norte do cordão arenoso da praia de Marudá, determinado assim pelos baixos potenciais erosivos locais. O estado permanente e intacto das dunas frontais e da obra de contenção implantada para a construção da orla indicam áreas menos críticas quanto aos processos costeiros de erosão (Figura 47A). Enquanto na porção mais ao sul, encontram-se indícios de desenvolvimento de feições erosivas, como fissuras e descalçamento do muro de contenção, evidenciados pelo progressivo avanço dos processos erosivos incidentes na obra de engenharia, caracterizando uma área de exposição média à erosão costeira (Figura 47B).

Figura 47- (A) Dunas bem preservadas e moradias pouco expostas aos processos costeiros. (B) Obras de contenção com indícios de instabilidade expõem a população residente assim como o turista, na praia de Marudá, em 2017.



Cada setor foi analisado, quanto à exposição das construções frente à evolução dos processos recorrentes incidentes na área em estudo. A partir desta avaliação, foram classificadas áreas de alta, média e baixa vulnerabilidade à erosão ao longo das praias do Crispim e Marudá (Tabela 12).

Tabela 12- Caracterização da exposição da população à erosão e grau de vulnerabilidade associado.

Exposição da população à erosão	Grau de Vulnerabilidade (Valor)	Caracterização
Alta exposição	Alto (3)	Áreas ocupadas por ruas ou edificações, preteritamente atingidas por processos erosivos recorrentes. Evidência de processos de erosão pela orla, como fissuras e degradação de instalações estruturais, assim como marcas d'água nas construções evidenciam processos de inundação. Geralmente relacionado à núcleos populacionais concentrados em áreas de baixa infraestrutura e saneamento básico precário.
Média exposição	Médio (2)	Áreas ocupadas por ruas ou edificações, que podem vir a ser atingidas caso os processos costeiros intensifiquem-se, geralmente relacionado aos núcleos populacionais concentrados em áreas de baixa a média infraestrutura. Alguma evidência de atingimento em ambiente próximo às construções, como marcas d'água e indícios de alta umidade em seus muros, assim como poucos indícios de processos erosivos pretéritos.
Baixa exposição	Baixo (1)	Áreas ocupadas por ruas ou edificações, que demonstram estabilidade, tanto nas instalações estruturais como nas feições naturais adjacentes, geralmente relacionado à núcleos populacionais de classe média a alta. Demonstram ausência de evidencias de degradação e sem histórico de atingimento de processos erosivos ou de inundação. Pode estar associado à intervenções de obras estruturais de contenção dos processos costeiros.

5.6. Tipos de construção

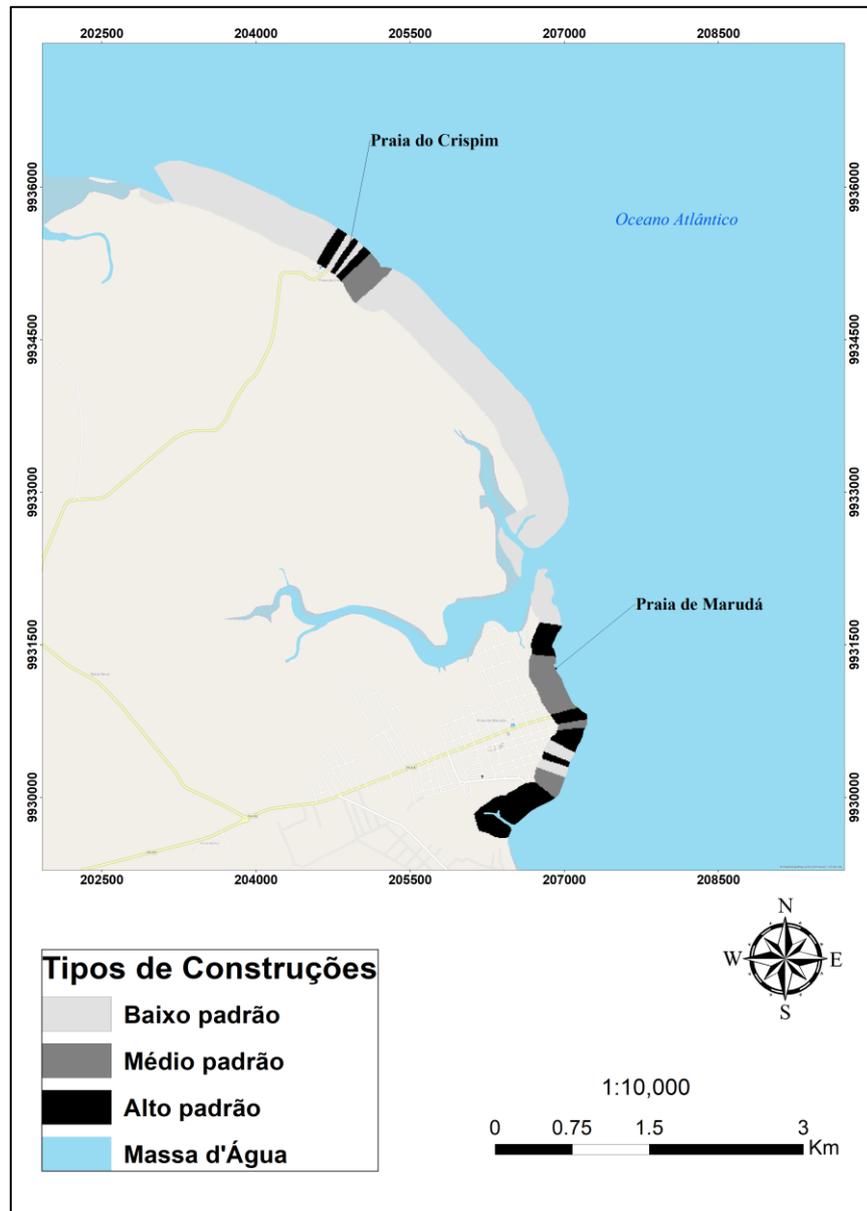
A partir da análise dos padrões construtivos de alto, médio e baixo grau na área de estudo, foi possível compartimentar a orla em trechos com residências, casas de veraneio, bares, restaurantes e pousadas que visualmente apresentam uma alta, média e baixa vulnerabilidade aos processos costeiros de erosão. Esta classificação foi baseada no grau de sensibilidade e resiliência, que compõem a vulnerabilidade, ou seja, a forma com que a edificação recebe ou irá receber e como irá se recuperar do impacto causado pelas intempéries costeiras, inundação e erosão (Figura 48) (Tabela 13).

Na praia do Crispim foram delimitados sete setores, três de alto, um de médio e três de baixo padrão construtivo, enquanto na praia de Marudá foram delimitados dez setores, dois de alto, três de médio e cinco de baixo padrão construtivo.

Tabela 13- Caracterização dos tipos de construções e grau de vulnerabilidade associado.

Tipos de construção	Grau de vulnerabilidade (Valor)	Caracterização
Alto padrão	Baixo (1)	Edificações demonstram visualmente estado intacto frente aos processos costeiros, seguida provavelmente de um contínuo monitoramento e reparo em sua estrutura. Foram delimitadas edificações tanto de madeira como de alvenaria, as quais demonstram uma baixa vulnerabilidade, associada a mobilidade da construção. Encontram-se, geralmente casas de veraneio pertencentes a uma classe média alta.
Médio padrão	Médio (2)	Construção de madeira, alvenaria e mistas, que apresentam algum desgaste em sua estrutura como indícios de degradação causados pela erosão ou inundação. Moradias mistas com sua porção em madeira preservada enquanto sua estrutura de alvenaria totalmente destruída. Edificações de madeira apresentam um desequilíbrio em sua base, mostram uma baixa manutenção.
Baixo padrão	Alto (3)	Identificadas pelo claro descaso do proprietário, ausência de manutenção, e consistem em estruturas tanto de palafita em madeira, como de alvenaria. Construções frágeis e resistência muito baixa, com estacas de sustentação quebradas, e geralmente construções fixas, que não permitem a mobilidade de sua estrutura.

Figura 48- Mapa de tipos de construção com base nos padrões construtivos encontrados na praia do Crispim e Marudá.



A partir da análise qualitativa dos padrões de construções, foram delimitadas onze construções de alto padrão construtivo localizadas no setor mais a sudeste da praia do Crispim, essas edificações demonstram visualmente estado intacto frente aos processos costeiros erosivos, seguida provavelmente de um contínuo monitoramento e reparo em sua estrutura. Foram delimitadas edificações, tanto de madeira como de alvenaria, as quais demonstram uma baixa sensibilidade aos processos costeiros (Figura 49B).

Ao longo da orla de Marudá foram delimitadas 16 edificações de alto padrão construtivo, divididas em dois setores localizados na região centro-sul. Essas construções consistem basicamente em moradias e casas de veraneio que demonstram estruturas estáveis

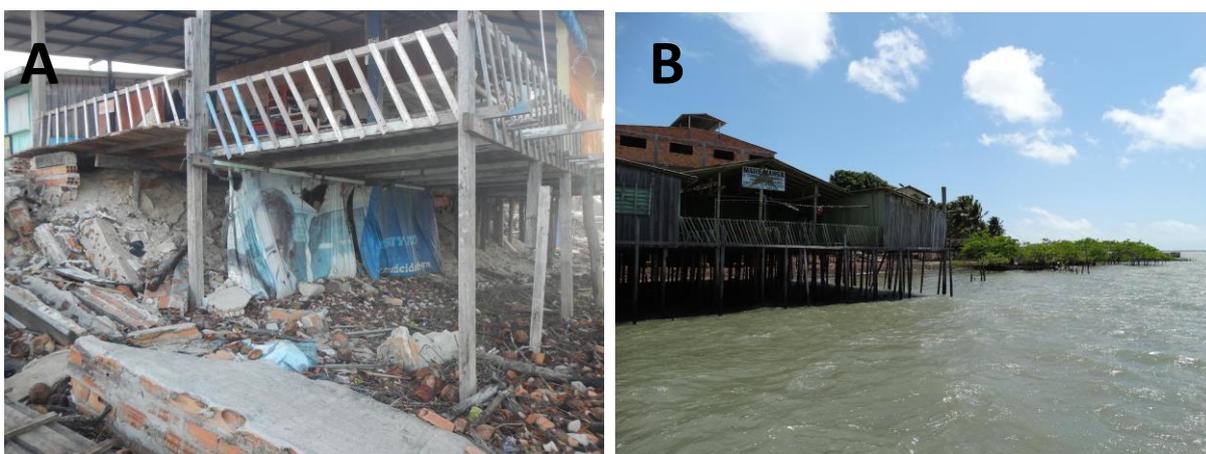
em bom estado de conservação e manutenção. As moradias são predominantemente de alvenaria com estruturas fixas bem estruturadas e demonstram uma baixa sensibilidade (Figura 49A).

Figura 47- (A) Construções de alvenaria de alto padrão na praia de Marudá, em 2017. (B) Construção de madeira preservada característica de alto padrão, na praia do Crispim em 2017.



A partir da análise da sensibilidade das construções frente aos processos de erosão, foi delimitado um setor de médio padrão construtivo na praia do Crispim, determinado por 22 edificações, dentre elas construção de madeira, alvenaria e mistas, que apresentam algum desgaste em sua estrutura, como indícios de degradação e umidade causados pela erosão. Foram delimitadas moradias mistas com sua porção em madeira preservada enquanto sua estrutura de alvenaria totalmente destruída (Figura 50A).

Figura 50- (A) Moradia mista de madeira e alvenaria, com sua porção de alvenaria arrasada pelos agentes costeiros, na praia do Crispim. (B) Construção de madeira em palafita manifesta pouca ou nenhuma manutenção em sua estrutura, na praia de Marudá.



Ao longo da orla marítima de Marudá foram especialmente delimitadas 58 edificações divididas em três setores indicativos de padrão construtivo de grau médio.

Edificações de madeira apresentam um desequilíbrio em sua base, demonstrado pelo tombamento sutil, evidenciam uma alta instabilidade da estrutura de construção (Figura 50B).

Construções de baixo padrão são identificadas pela ausência de manutenção, a alta fragilidade das construções, e consistem em estruturas de palafita em madeira e de alvenaria.

Ao longo da praia do Crispim, foram delimitadas aproximadamente 13 edificações, divididas em três segmentos de baixo padrão construtivo. As construções de palafita em madeira sem a devida manutenção são caracterizadas por construções frágeis e resistência muito baixa, com estacas de sustentação quebradas e moradias tombadas umas sobre as outras, evitando o desabamento (Figura 51).

Figura 51- (A) Construção de madeira com estaca quebrada pela ação abrasiva dos agentes costeiros. (B) Construções tombadas sobre as outras, devido quebra de estaca, na praia do Crispim.

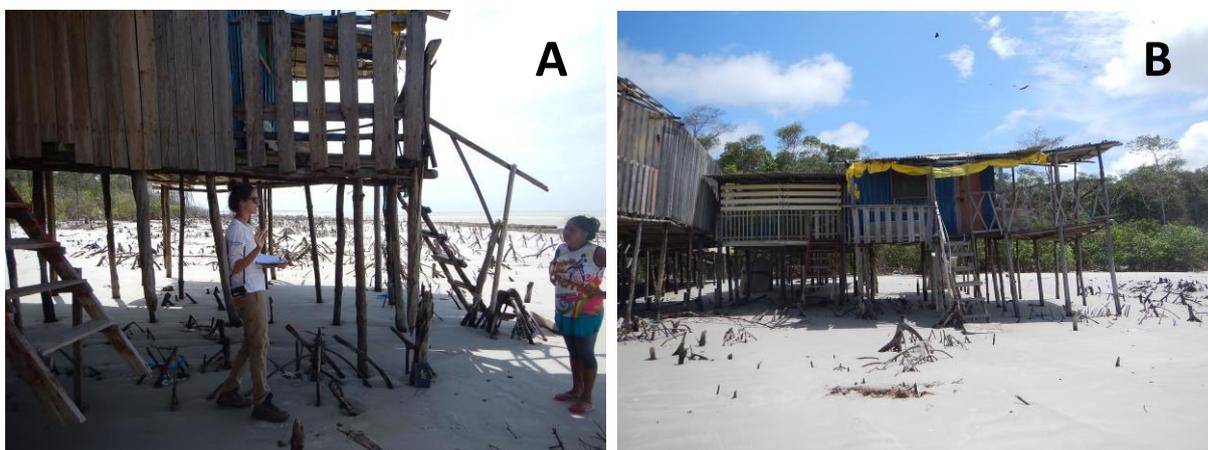


Figura 52- Moradia de alvenaria destruída por agentes erosivos costeiros enquanto construções de madeira permanecem intactas na praia do Crispim. (A) Abril de 2016. (B) Agosto de 2017.



(Fonte: LGA).

Assim como as moradias de alvenaria, apesar de demonstrarem uma resistência maior em sua estrutura são instalações fixas e imóveis facilmente impactadas pelos agentes costeiros, de erosão e inundação (Figura 52).

Na orla marítima de Marudá, foram espacialmente delimitadas 128 edificações divididas em cinco segmentos de baixo padrão construtivos, sendo a maioria representada por construções de palafita em madeira e baixa índice de manutenção.

5.7. Obras de contenção

A partir da análise da orla marítima das praias do Crispim e Marudá, foi possível compartimentar a orla em trechos com: presença de obras de contenção, ausência de obras de contenção e obras de contenção deterioradas, bem como classificá-los em alta, média e baixa vulnerabilidade aos processos erosivos. Esta classificação foi baseada no grau de resiliência e exposição da população, ou seja, a forma com que a população está espacialmente instalada em relação às obras, e como irá se recuperar do impacto causado pelas intempéries costeiras frente o investimento público de reparo ou implantação de novas contenções estruturais dos processos costeiros (Figura 53).

Grande parte de extensão da orla encontra-se exposta aos processos costeiros, com ausência de intervenções estruturais de obras de engenharia do tipo muros de contenção, ou qualquer outro tipo de tratamento para a redução da intensidade dos processos erosivos e de inundação, tais como gabiões, espigões, arrimo e enroncamentos. As planícies fluviomarinhas e os vastos campos de manguezais exercem um papel de dissipadores energéticos, ao desenvolvimento e evolução contínua dos processos de erosão, todavia, representam uma região diariamente inundada, exposta à variação tanto da maré como do nível dos rios. Este setor foi classificado como de muito alta vulnerabilidade aos processos costeiros (Figura 54).

Vale ressaltar que a praia do Crispim, por não apresentar obras de contenção e estar exposta diretamente ao desenvolvimento dos processos abrasivos, foi classificada em toda sua extensão como muito alta vulnerabilidade a erosão.

Figura 53- Disposição das diversas classes de obras de engenharia ao longo da praia de Marudá.

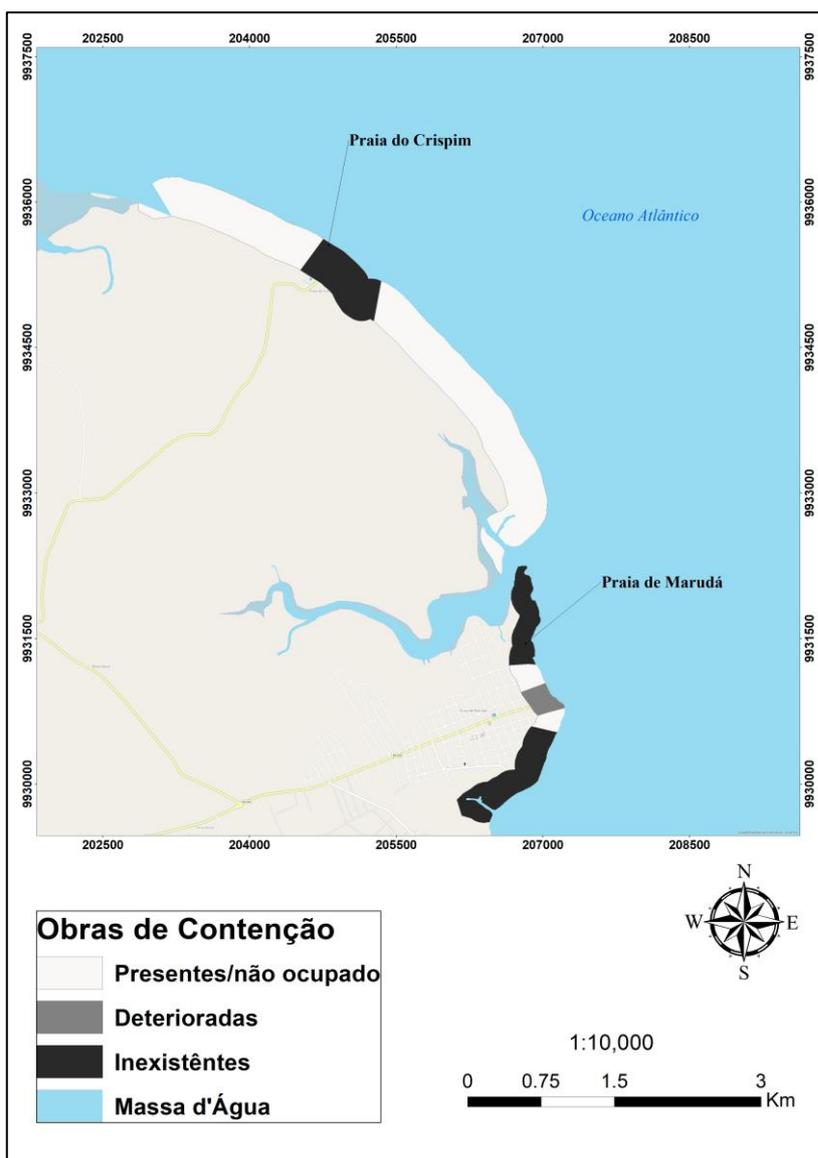


Figura 54- (A) Região com ausência de obras de contenção diariamente inundada protegida da ação erosiva pela vegetação de mangue. (B) Setor sem obra de contenção e vegetação totalmente exposto aos agentes costeiros, na orla marítima de Marudá, em 2017.



Obras de contenção, ocasionalmente podem atuar em sentido contrário à diminuição da intensidade dos processos atuantes na orla marítima, impulsionando a formação de áreas de risco (SOUZA, 2009). A região central da orla marítima de Marudá possui obras de contenção do tipo muro de arrimo, e aproximadamente, um terço dessa obra de engenharia encontra-se deteriorada com indícios de intensos processos de remobilização de sedimentos e ação abrasiva das ondas, como fissuras, quebras de blocos e descalçamento, indicando sensibilidade alta destas obras frente aos processos (Figura 55), e uma média vulnerabilidade da população residente nas áreas adjacentes.

Figura 55- Fissuras no cordão de enrocamento, destruição e descalçamento de obra na praia de Marudá



Nas regiões em que os muros de arrimo, encontram-se em adequados estados de estabilidade e resistência frente aos processos, considerou-se áreas de baixa vulnerabilidade. As obras são financiadas pelo poder público e pela população mais favorecida financeiramente e conseqüentemente mais resiliente ao desenvolvimento de processos erosivos (Figura 56).

Figura 56- (A) Muro de arrimo demonstra bom estado, na praia de Marudá. (B) Muro particular com furos de drenagem da água.



Pela presença ou não de obras de engenharia, e a qualidade dessas obras, cada setor foi analisado quanto à resiliência e exposição da população frente à evolução dos processos recorrentes incidentes na área em estudo. A partir desta avaliação, foram classificadas áreas de alta, média, baixa vulnerabilidade à erosão ao longo das praias do Crispim e Marudá (Tabela 14).

Tabela 14- Caracterização das obras de contenção e grau de vulnerabilidade associado.

Obras de contenção	Grau de Vulnerabilidade (Valor)	Caracterização
Presença de obras	Baixa (1)	Muros de arrimo ou qualquer tipo de obra em adequados estados de estabilidade e resistência frente aos processos costeiros. Obras de contenção, tanto públicas ou particulares indicam áreas menos vulneráveis ao desenvolvimento de processos costeiros erosivos.
Obras deterioradas	Média (2)	Obra de engenharia deteriorada com indícios de intensos processos de remobilização de sedimentos e ação abrasiva das ondas, como fissuras, quebras de blocos e descalçamento, indicando certa sensibilidade destas obras frente aos processos
Obras inexistentes	Alta (3)	Ausência de obras de engenharia para contenção expõe a população diretamente ao desenvolvimento dos processos abrasivos e de inundação, além de demonstrar uma alta vulnerabilidade

Vale ressaltar que na análise da vulnerabilidade através das variáveis socioeconômicas, para todas as áreas com ausência de população residente, para este trabalho, foram consideradas como área de baixa vulnerabilidade e atribuído o valor 1.

5.8. Análise Temporal e Carta de Aptidão

Segundo os resultados obtidos na elaboração do mapa de perigo a partir da interpolação dos dados de variação da linha de costa, variação do perfil de praia, feições geomorfológicas e tipos de orla, foram encontradas áreas de baixo, médio e alto perigo ao longo das vilas do Crispim e de Marudá. A orla marítima quando analisada somente sobre o ponto de vista das ameaças de erosão, consiste em uma área basicamente de perigo alto, com algumas poucas áreas de perigo médio. Pode-se dizer que esta orla marítima está sobre influência direta dos agentes costeiros de erosão, os quais atuam de maneira intensa, passíveis de serem observados em uma escala temporal de curto prazo.

Na praia do Crispim, o mapa de perigo aponta claramente a região mais afetada pelos processos de erosão, sendo esta área análoga à região com maiores indícios de danos gerados em eventos de alta magnitude, variação da linha de costa, variação do perfil de praia. Ainda no setor da praia do Crispim nota-se somente áreas de alto e médio perigo, o que indica uma região de caráter erosivo em toda sua extensão (Figura 58).

Na praia de Marudá, é possível observar valores mais altos de perigo associados às extensas planícies fluviomarinhas, indicativas de áreas de alta suscetibilidade a erosão, além dos valores de variação da linha de costa. São observadas áreas de baixo e médio perigo, determinadas pelos tipos de orla associadas, a baixa variação do perfil de praia e da linha de costa nos setores associados às obras de contenção, além da feição geomorfológica de tabuleiros.

A análise da variação da linha de costa, em conjunto com a variação dos perfis de praia e a atual localização das construções possibilitou quantificar, em quanto tempo as moradias serão atingidas pelo avanço da maré, caso as taxas se mantenham. Na praia do Crispim, na região indicativa de perigo alto as taxas de variação da linha de costa são de aproximadamente 15 m/ano, e as áreas de perigo médio, as moradias encontram-se aproximadamente a 40 m do alcance máximo da última maré de sizígia. Pode-se assim dizer que em aproximadamente 3 anos, caso as taxas de avanço da linha de costa se mantenham, essas moradias serão atingidas nas marés altas.

Na praia de Marudá as taxas de variação chegam a atingir 10 m/ano, no entanto nesta região, encontra-se uma vasta planície fluviomarinha de aproximadamente 300 m, o que indica um processo acelerado mais ainda assim os núcleos populacionais permanecem em uma distância segura frente aos processos erosivos.

Salienta-se que este estudo, de variáveis temporais permite afirmar que nos períodos dos equinócios de primavera e outono, em conjunto com as marés de sizígia associadas à lua cheia e nova, são quando ocorrem as maiores marés ao longo da costa. Portanto, para esses períodos sugere-se uma atenção maior ao monitoramento dos avanços para que danos recorrentes possam ser minimizados ou evitados.

Quanto às mudanças climáticas globais e elevação dos níveis dos oceanos, com o aumento do nível do mar em 70 cm, segundo as previsões do IPCC (2013), as orlas marítimas de Crispim e Marudá poderão sofrer grandes impactos negativos, tendo em vista a proximidade dos núcleos populacionais da atual linha de costa. Portanto, sugere-se que esta variação do nível dos oceanos seja monitorada na ZCP, no intuito de prever e mitigar as possíveis consequências negativas que possam incidir sobre esta região.

A partir da análise das diferentes componentes da vulnerabilidade, resiliência, sensibilidade e exposição, representados pelos tipos de construção, obras de contenção e exposição da população à erosão, foi possível identificar, na orla marítima das praias do

Crispim e Marudá, uma grande diversidade nas problemáticas socioeconômicas. Nota-se que a praia de Marudá, mais desenvolvida, com presença de obras de contenção, construções de grande porte econômico, e maior densidade demográfica concentrada, recebe uma maior atenção do poder público e da população mais privilegiada economicamente. A praia do Crispim, ainda que em processo inicial de urbanização, e uma baixa densidade demográfica, recebe poucas construções de alto padrão estrutural, e ausência de obras demonstra um certo descaso e descompromisso do poder público. Ainda assim, nota-se que são encontradas mais áreas de alta vulnerabilidade na orla marítima de Marudá, que no Crispim, este fato deve-se à concentração demográfica e a geração de mais áreas de exposição aos processos costeiros. Portanto, apesar de não ter sido utilizada para a análise deste trabalho, a densidade demográfica é considerada um importante fator para planos e projetos de gerenciamento costeiro.

O mapa de vulnerabilidade indica as áreas de alto, médio e baixo grau de vulnerabilidade da população residente na orla marítima das vilas do Crispim e Marudá, elaborado como base nas variáveis: população exposta, tipo de construção e obras de contenção (Figura 59). Como já esperado, as áreas de baixa vulnerabilidade estão concentradas nas porções não habitadas, e áreas de médio a alto grau nas regiões edificadas. A área de maior vulnerabilidade na orla marítima da praia do Crispim está concentrada na região caracterizada como de maior exposição aos processos costeiros de inundação e erosão, assim como a área de média exposição refletiu em uma média vulnerabilidade. Assim como os tipos de construção encontrados na praia do Crispim, os quais demonstram padrões de mais alto nível na região mais ao sul, enquanto mais ao norte, onde está concentrada a área de maior vulnerabilidade estão concentradas as construções de mais baixos padrões construtivos.

As ameaças ambientais representadas neste estudo demonstram claramente sua natureza decorrente de processos com caráter exclusivamente naturais, ligados à ação dos agentes dinâmicos. No entanto, as áreas afetadas pelos desastres naturais são caracterizadas por assentamentos com altos índices de vulnerabilidade, gerando núcleos urbanos de áreas de risco geológico.

A partir da síntese dos dois primeiros mapas, foi gerado o modelo final de carta de aptidão à urbanização na orla marítima das vilas de Marudá e do Crispim, na escala de 1:10.000 (Figura 60). Com base no modelo matemático gerado foi possível determinar três classes de aptidão à urbanização: áreas não aptas, áreas aptas com intervenções, áreas aptas.

Este produto teve como parte fundamental uma abordagem integrada dos diagnósticos dos eixos físicos e socioeconômicos das áreas destinadas à expansão urbana na orla marítima de Marudá e Crispim, onde as análises realizadas para alcançar os objetivos principais foram executadas em escala de detalhe e com suporte de dados quantitativos.

Na carta de aptidão à urbanização foram delimitadas classes de forma a melhor descrever os processos que podem ocorrer, ou quais as limitações impostas a determinado setor do território mapeado e, conseqüentemente, as orientações gerais para o uso e ocupação de cada classe (Figura 57).

Figura 57- Quadro de caracterização e descrição das classes de aptidão à urbanização.

Classe	Caracterização das classes	Diretrizes para projetos de urbanização
Áreas aptas à urbanização	Áreas com baixa probabilidade de ocorrência dos processos costeiros. Concentradas nas unidades geomorfológicas: tabuleiros costeiros. Áreas de baixa exposição aos processos costeiros, associadas à moradias de alto a médio padrão e ocorrência de intervenções estruturais.	Estudos geotécnicos em detalhe, para subsidiar a elaboração dos projetos de intervenções estruturais. Preservação do ambiente natural, a partir de intervenções de baixo impacto.
Áreas aptas à urbanização com intervenções estruturais ou não estruturais	Áreas de média probabilidade de ocorrência dos processos costeiros e que se traduzem por setores de ocupação permanente condicionada à implantação de cuidados especiais. Concentradas prioritariamente na pós-praia (quando existir), pós-dunas e tabuleiros. Áreas de baixa a média exposição aos processos costeiros, associadas à moradias de médio padrão e ocorrência de intervenções estruturais danificadas ou ausência destas.	Condicionar os licenciamentos para construções à apresentação de projetos de estabilidade das intervenções estruturais, fundamentadas em estudos geotécnicos em detalhe. Evitar a ocupação nas áreas de praia, dando preferência ao ambiente pós-duna e áreas de maiores amplitudes altimétricas. Considerar a recorrência histórica de eventos de inundação e erosão costeira na região, pois eventos de altíssima magnitude geralmente extrapolam o limite do ambiente de praia e a resistência de obras infraestruturais. Considerar preferivelmente construções deslocáveis, dando preferência ao comércio turístico.
Áreas não aptas à urbanização	Áreas com alta probabilidade de ocorrência dos processos costeiros e que são consideradas inadequadas para a ocupação urbana permanente; Concentradas prioritariamente nas unidades geomorfológicas de praia arenosa de macromaré e planícies fluviomarinhas. Áreas de alta exposição aos processos costeiros, associadas à moradias de baixo padrão e ausência de intervenções estruturais.	Restrita proibição de uso e ocupação de longa permanência de pessoas, ressalvadas as obras de infraestrutura, as quais exigem estudos geotécnicos em escala apropriada de projeto. Proteger as zonas de amortecimento das marés altas e inundações dos rios com objetivo de garantir suas funções ambientais (ex: programas de preservação às dunas e à vegetação de mangue).

Áreas aptas à urbanização são representadas por regiões de maiores amplitudes altimétricas, de morfologia plana, com solos bem drenados, isolados dos processos marinhos costeiros.

Áreas aptas à urbanização com intervenções são definidas como regiões de solo bem drenado, suscetibilidade baixa aos processos erosivos e de inundação, no entanto são áreas determinadas pela interação direta com os processos costeiros, as quais podem vir a serem atingidas motivando a conseqüente alteração do ambiente em eventos extremos.

Áreas não aptas à urbanização são determinadas pelo recorrente processo erosivo e de inundação, evidenciado pelos indícios observados no campo, assim, como são representativos de regiões com assentamentos de alta vulnerabilidade socioeconômica.

A carta aptidão à urbanização, parte do mapeamento, caracterização e integração de atributos do meio físico que condicionam o comportamento deste frente às solicitações existentes ou a serem impostas (implantação de infraestrutura e acesso a serviços urbanos, melhorias habitacionais, reparcelamento do solo, consolidações geotécnicas, regularização fundiária e programas de desenvolvimento comunitário, etc.) (SOUZA; SOBREIRA, 2014).

Desta forma, em uma análise de detalhe, nem toda extensão de uma área considerada como de baixo perigo a deflagração de processos costeiros está isenta de problemas de ordem geotécnica, assim como nem toda área com maior perigo a algum processo apresenta situações críticas em toda sua extensão que impeçam sua ocupação.

A análise das classes de aptidão mostrou que os maiores problemas geotécnicos afetam pontualmente a área de estudo e são representadas pelas áreas inaptas à urbanização. As opções de operações voltadas para a adaptação de áreas aptas a urbanização a partir de intervenções estruturais ou não, consistem em obras de engenharia (estruturais) ou remobilização da população, programa de adaptação ao ambiente (não-estruturais), sendo essa uma decisão atrelada diretamente ao quão oneroso e vantajoso possam ser uma dessas opções. A optar por intervenções estruturais, vale ressaltar a necessidade de manutenção das obras de engenharia visando a estabilidade e preservação da estrutura após sua implementação.

A partir desta modelagem matemática foram definidas, para as orlas marítimas em estudo, basicamente, áreas inaptas ou aptas a partir de intervenções. Portanto, considera-se importante ampliar a região de estudo, para uma análise que possibilite a indicação de áreas aptas à urbanização, ou seja, regiões onde a cidade poderia expandir sua linha urbana sem custos intervencionais, sejam estes estruturais ou não.

Esta análise possibilita assim afirmar, que as orlas marítimas somente deveriam ser ocupadas em casos de necessidade extrema e com um contínuo monitoramento da variação da maré, nível do mar e ressacas.

Os estudos de gerenciamento costeiro indicativos à urbanização devem considerar assim como a orla marítima, o município como todo atendendo todas suas especificidades, sejam elas continentais, fluviais ou costeiras, além dos aspectos socioeconômicos da população já residente na região.

Figura 58- Mapa de Perigo à erosão costeira e inundação na orla marítima do Crispim e Marudá.

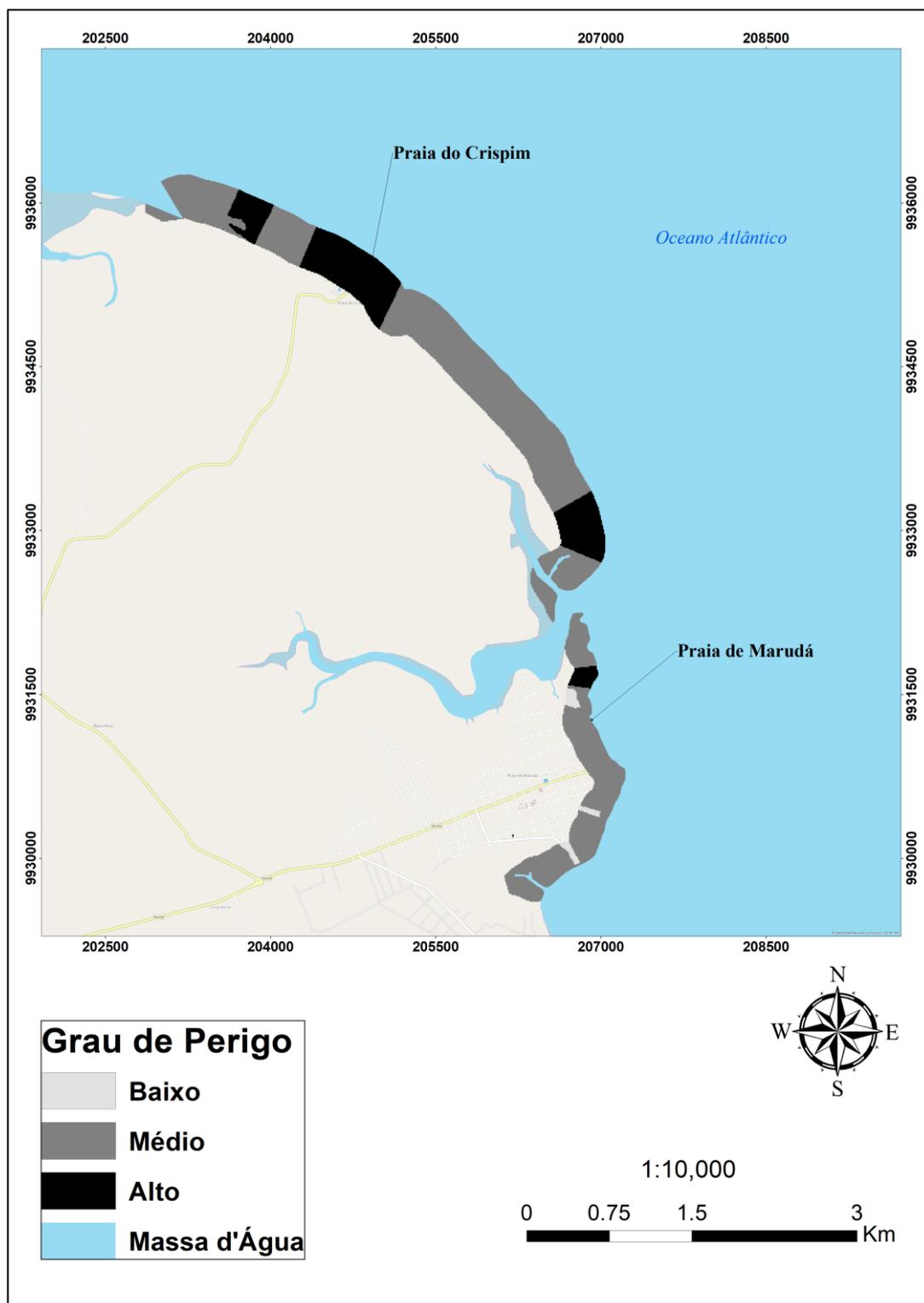


Figura 59- Mapa de vulnerabilidade socioeconômica da população residente na orla marítima do Crispim e de Marudá.

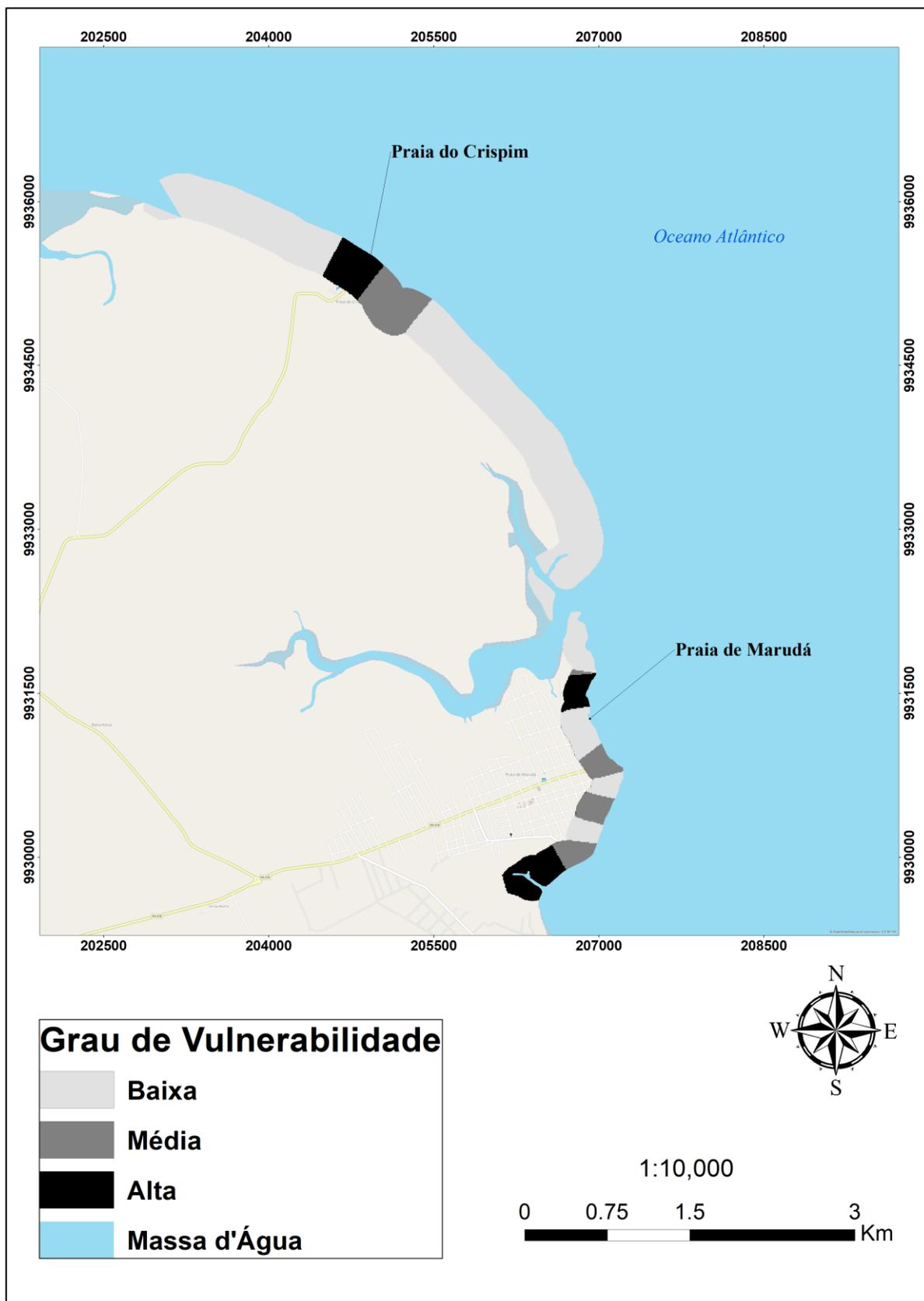
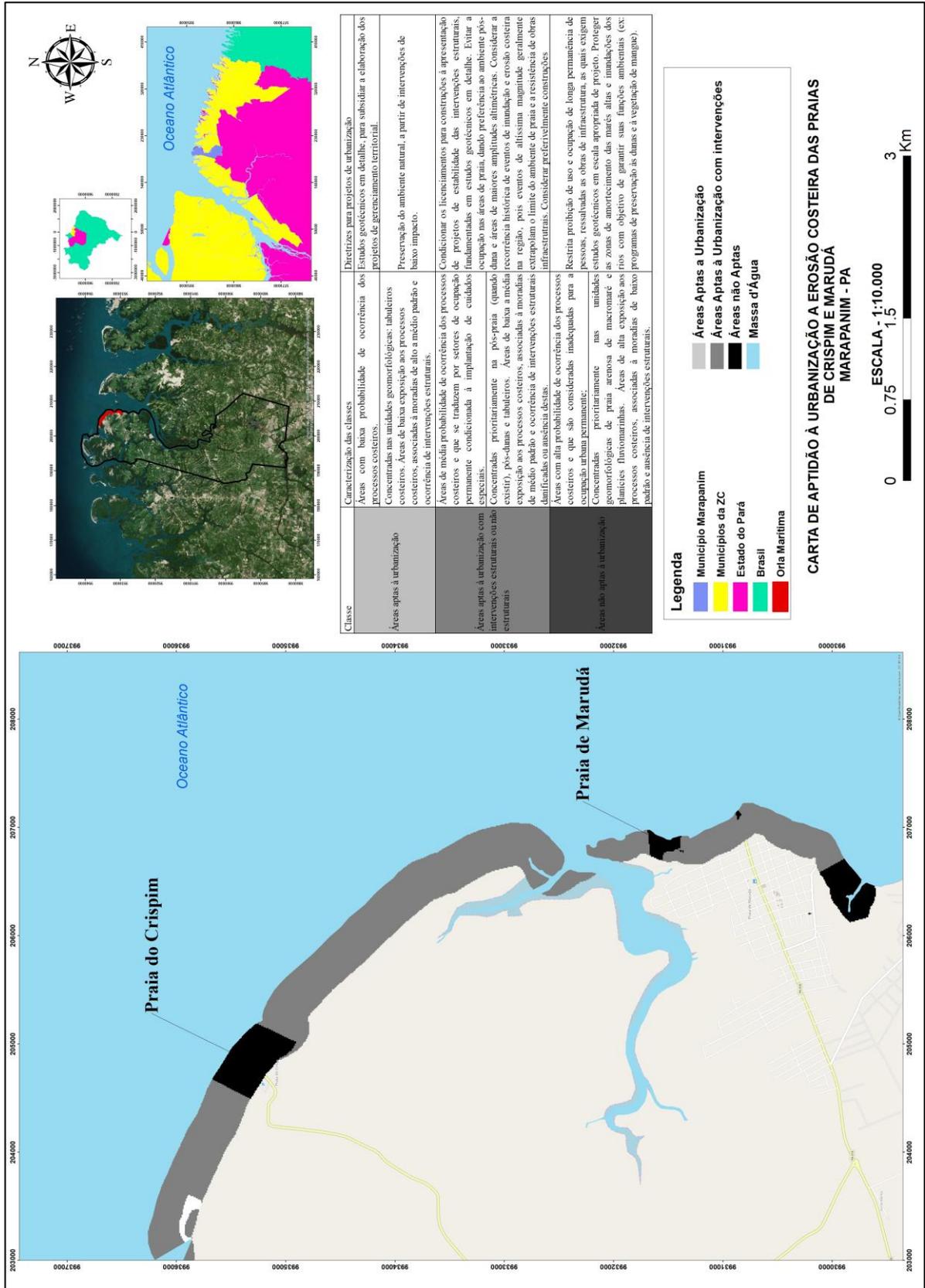


Figura 60- Carta de Aptidão à Urbanização na orla marítima do Crispim e Marudá.



6. CONCLUSÃO

A partir da análise final dos resultados pode-se concluir que a metodologia utilizada para a elaboração e caracterização dos mapas de perigo e vulnerabilidade, assim como para a carta de aptidão à urbanização gerou um resultado satisfatório. Dentro ainda de suas limitações, quanto à definições de faixa de orla marítima, e a ausência de algumas variáveis tanto físicas como socioeconômicas que poderiam enriquecer o trabalho.

Assim, o resultado final deste trabalho pode e deve ser utilizado como subsídio à elaboração dos projetos de gerenciamento em orlas marítimas.

6.1. Falhas e Dificuldades na Aquisição de Dados

Para um entendimento das características físicas da orla marítima do Crispim e Marudá são necessários séries históricas de dados climatológicos e hidrológicos. Países em desenvolvimento como o Brasil, geralmente, têm uma carência de informações confiáveis e de dados publicados, e quando este dado existe, muitas vezes, grandes burocracias são criadas para sua aquisição, atrapalhando a difusão do conhecimento, e que novos trabalhos mais específicos e refinados sejam produzidos. No Brasil, atualmente, o incentivo a pesquisa científica e coleta de dados é negligenciada e poucos recursos financeiros são disponibilizados para esta atividade, sendo, o interesse prioritário do governo, o desenvolvimento econômico e social necessário ao desenvolvimento do país e que atende a população como um todo (SZLAFSZTEIN; STERR, 2007).

Portanto, a ausência de uma base de dados de qualidade, assim como a disponibilidade de imagens, reflete por vezes na qualidade final dos produtos científicos gerados. Embora os problemas de dados mencionados neste trabalho se relacionem com o país como um todo, são mais evidentes na região amazônica devido à sua vasta área, a limitada acessibilidade em algumas regiões e a falta de recursos econômicos e científicos.

As condições climatológicas também atuam como um fator limitante na aquisição de imagens aéreas, por exemplo, devido a pequena janela com condições favoráveis de vôo com poucas ou nenhuma interferência de nuvens, que ocorre somente no período seco.

Vale ressaltar, a dificuldade de delimitar a linha de costa, frente às baixas resoluções das imagens utilizadas para a escala de mapeamento proposta 1:10:000, o que impossibilitou a definição exata da linha, assim como feições naturais e antrópicas que por vezes ocultam a posição da linha de costa. Obras de contenção, construções no ambiente de praia, migração

dos canais de maré, intensos tons de branco nas imagens e cobertura de nuvens são alguns exemplos das problemáticas encontradas para a delimitação da linha de costa.

Assim, as análises multicritério foram aplicadas com sucesso no contexto geológico-geomorfológico e socioeconômico local, com algumas inconsistências geradas pelo modelo matemático final. Essas incoerências são elucidadas pela ausência de base de dados na escala proposta pelo trabalho, assim como a quantidade de variáveis analisadas. O nível de informação básica, as peculiaridades de cada estudo e os próprios recursos técnicos e financeiros disponíveis poderão levar à eliminação de algum passo, a junção de etapas ou a adaptação destas. Neste estudo, reconhece-se que outras variáveis poderiam ser usadas na análise multicritério.

6.2. Considerações Finais

No Brasil, a situação das praias em relação à erosão costeira não é diferente da maioria dos países, havendo inúmeras praias onde o processo é bastante severo e requer medidas emergenciais de contenção e/ou recuperação. Entretanto, são ainda embrionárias as políticas de Gerenciamento Integrado da Zona Costeira (GIZC) em relação ao problema e às suas causas, seja no que tange ao planejamento territorial, às obras de contenção/proteção costeira (estruturais ou não), ao financiamento de projetos ou a estudos de cenários que possam orientar investimentos. De acordo com o Decreto nº 8.927 de 2016, o Ministério das Cidades é o responsável pelo apoio aos municípios para a elaboração de cartas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais, instrumento de planejamento urbano que visa fornecer subsídios para que os novos projetos de parcelamento do solo incorporem diretrizes voltadas para a prevenção dos desastres naturais.

A principal aplicação da Carta de Aptidão à Urbanização consiste no reordenamento e ocupação urbana, subsidiando instrumentos como as leis de uso do solo e planos diretores, em seus aspectos mais específicos, mas também sendo úteis a profissionais e leigos na obtenção de informações sobre o meio físico e seus processos em áreas urbanas.

Pôde-se perceber que, para a ZCP o limite atualmente definido como orla marítima ao longo da ZCB, mostra-se inadequado para termos de gerenciamento costeiro e gestão territorial, portanto, este trabalho indica real necessidade de adaptação dos limites de orla marítima condizentes com a realidade ambiental de cada trecho da ZCB.

A ausência de um planejamento urbano, com um limite de proteção às orlas marítimas, como a delimitação de áreas restritamente indevidas à ocupação e, com a possibilidade de implantações somente para fins comerciais, demonstra a fragilidade da legislação brasileira. Nesta pesquisa, as análises das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidade constataam que a delimitação de áreas de proteção permanente por uma faixa de extensão métricas a quilométricas deve existir com o objetivo de minimizar o desenvolvimento de áreas de risco ao longo dessa região, e auxiliar na preservação de ambientes de ZC e orlas marítimas.

Torna-se necessária uma maior inteiração entre os grupos envolvidos, ou seja, a população residente nas orlas marítimas e ZC, com o gestor municipal, principalmente as Secretarias de Planejamento e Meio Ambiente, assim como as Instituições públicas ou privadas que elaboram estudos de intervenções territoriais. Para que haja realmente, uma gestão composta de fins que culminem na preservação de ambientes costeiros e que atendam a necessidade da população residente, respeitando suas tradições, a academia e os institutos de pesquisa precisam estar em consonância. Essa ação aperfeiçoaria a legislação, e consequentemente, os órgãos que são responsáveis pela fiscalização trabalhariam de maneira uniforme.

As alterações ao ambiente pela sociedade vêm se tornando cada vez mais aceleradas e intensificadas, inclusive frente aos processos físicos que contribuem na criação e impulsionam os desastres naturais. A expansão dos centros urbanos está fortemente associada à vulnerabilidade da população, pois, geralmente, esse avanço se dá em direção a ambientes mais frágeis, seguidos de poluição e ausência de infraestrutura.

Os dados obtidos neste trabalho são considerados extremamente úteis para a realização de adaptações na região de estudo, como obras de contenção ao avanço marinho, bem como de um manejo minucioso dos ambientes nela encontrados, no cenário de mudanças climáticas globais. Assim, será possível planejar adequadamente o uso, a ocupação e a adaptação desta orla marítima e região costeira, valendo-se, sobretudo, das individualidades de cada área.

No que se refere a atividades antrópicas, seria relevante a criação de instrumentos legais que promovessem a maior conservação do ambiente praial, frente intervenções como: construção de obras de engenharia, retirada de areia, desassoreamento de desembocaduras

fluviais, lagunares e estuarinas, instalação de bares ou restaurantes ou obras particulares sobre as praias.

O incentivo do turismo, com base em planos diretores e planejamento urbano de uso e ocupação do solo e, o manejo de seus recursos naturais, poderia ser uma porta para o maior desenvolvimento destas regiões, assim como, daria um maior destaque às suas belezas naturais a atrações recreativas, mundialmente. Assim como o fomento das atividades náuticas (marinas, rotas de *jet-sky* e “*banana-boat*”), além de esportes de praia, como *kitesurf*, *surf*, *frescobol*, *windsurf*.

Finalmente, vale ressaltar que este método pode ser estendido com eficácia a outras áreas ao longo da orla marítima, passíveis de serem incorporadas outras variáveis, na escala apropriada para a finalidade do trabalho que consiste em minimizar o impacto de possíveis desastres naturais, tanto para o meio ambiente como para a sociedade a qual é participante do processo.

REFERÊNCIAS

- ADDO, K. Assessing coastal vulnerability index to climate change: the case of Accra–Ghana. *Journal of Coastal Research*, v. 65, n. sp2, p. 1892–1897, 2013.
- ALBERT, S.; GRINHAM A.; CHURCH, J.; GIBBES, B.; WOODROFFE, C. Interactions between sea-level rise and wave exposure on reef island dynamics in the Solomon Islands. *Environment Research Letters*, v. 11, n. 5, 054011, 10p. 2016. doi:10.1088/1748-9326/11/5/054011.
- ALVARES, C.; STAPE, L.; SENTELHAS, C.; MORAES, G. de; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, J. (Org.) *Manguezais educar para proteger*. Rio de Janeiro: FEMAR; SEMADS, 2001.
- ALVES, M. *Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua, Nordeste do Pará*. 2001. 104f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.
- ALVES, M. Projeto PETROPRAIA: Índice de Sensibilidade Ambiental das Praias de Mesomacromarés da Zona Costeira do Estado do Pará. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 12. Florianópolis, 2007. *Resumo dos trabalhos*. Florianópolis: AOCEANO. 1 CD-ROM.
- ALVES, M.; EL-ROBRINI, M. Morphodynamics of a Macrotidal Beach: Ajuruteua, Bragança, North Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39, p. 949-951, 2006.
- ALVES, M.; EL-ROBRINI, M.; SOUZA FILHO, P.; FARIAS, D.; FRANÇA, C. Morfodinâmica das praias de Meso-Macromarés da Zona Costeira do Estado do Pará. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10., 2005, Vitória. *Anais...* Vitória: ABEQUA, 2005. 1 CD-ROM.
- ALVES, M.; RIBEIRO, A.; LIMA, M., FARIAS, D.; LIMA, A.; CORREA, J., FONTES, E. Efeitos da Erosão Costeira no Litoral do Estado do Pará - Costa Norte do Brasil. In: CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 6, 2011. *Livro de Resumos*. Cabo Verde.
- ANDRADE, M. *Capacidade adaptativa: uma proposição metodológica de avaliação da vulnerabilidade social às inundações aplicada em Santarém*. Universidade Federal do Pará. Núcleos de Altos Estudos Amazônicos. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido. Tese de Doutorado. Belém, 140 f., 2014.
- ARAI, M.; TRUCKENBRODT, W.; NOGUEIRA, A.; GÓES, A., ROSSETTI, D. Novos dados sobre a estratigrafia e ambiente deposicional dos sedimentos Barreiras, NE do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém. *Anais...* Belém: SBG - Núcleo Norte, 185-187, 1994.
- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D.; GÓES, A. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém. *Anais...* Belém, SBG, 1988. v.2, p. 738-752.

ARAÚJO, D. *Transporte longitudinal de sedimento na zona costeira de Natal/RN* (Universidade Federal do Rio Grande do Norte). Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, 127 p, 2015.

ARAÚJO, R. Aspectos Geológicos-Geomorfológicos Relacionados aos Processos Erosivos no Município de Chaves, na Ilha de Marajó. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 1275–1291, 2013.

AUGUSTO FILHO, O. *Carta de Risco de Escorregamentos Quantificada em Ambiente de SIG como Subsídio para Planos de Seguro em Áreas Urbanas: um ensaio em Caraguatatuba (SP)*. Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências e Ciências Exatas/Unesp, Rio Claro, Tese de Doutorado, 195p, 2001.

BALDOCK, T.; HUGHES, M.; DAY, K.; LOUYS, J. Swash overtopping and sediment overwash on a truncated beach. *Coastal Engineering*, v. 52(7), p. 633–645, 2005.

BASTOS, M. A sustentabilidade das restingas do Estado do Pará. In: JARDIM, M.; BASTOS, M.; SANTOS, J. (Eds.). *Desafios da botânica no novo milênio: inventários, sistematização e conservação da diversidade vegetal*. Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 96-99, 2003.

BATTIAU-QUENEY, Y.; BILLET, J.; CHAVEROT, S.; LANOY-RATEL, P. Recent shoreline mobility and geomorphologic evolution of macrotidal sandy beaches in the north of France. *Marine geology*, v. 194, n. 1, p. 31-45, 2002.

BELURU JANA, A.; HEGDE, A. GIS Based Approach for Vulnerability Assessment of the Karnataka Coast, India. *Advances in Civil Engineering*, Article ID 5642523, 10p. 2016.

BIRD, E. *Coastal Geomorphology - An Introduction* (Second Edition). *Australia*. John Wiley & Sons, Ltd. 405 p, 2008.

BIRKEMEIER, A. Field data on seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, v. 111, n. 3, p. 598-602, 1985.

BOAK, E.; TURNER, I. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, v. 214, p. 688–703, 2005.

BORUFF, B.; EMRICH, C.; CUTTER, S. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coastal Research*. v. 21, n 5, p. 932-942, 2005.

BOULHOSA, M.; SOUZA FILHO, P. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia oriental. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, p. 23-27, 2009.

BRAGA, F. *Morfologia e Sedimentologia da Praia de Macromaré de Ajuruteua, Pará: Um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará, 116 p, 2007.

BRAGA, T.; OLIVEIRA, E.; GIVISIEZ, G. Avaliação de Metodologias de Mensuração de Risco e Vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. *São Paulo em Perspectiva*, v. 20, n. 1, p. 81–95, 2006.

BRASIL. Lei Federal nº 7611, de 21 de novembro. *PLANO NACIONAL DE GERENCIAMENTO COSTEIRO – PNGC* (mimeo). *Ministério do Meio Ambiente*. 1990.

BRASIL. Estatuto da Cidade Brasília e legislação correlata. Dispositivos Constitucionais. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. *Senado Federal*, Subsecretaria de Edições Técnicas. *Brasília*. 2004a.

BRASIL. Secretaria de Qualidade nos Assentamentos Humanos. *Projeto Orla: Projeto Orla - Subsídios para um Projeto de Gestão: MMA e MPO*. 2004.

BRASIL. Secretaria de Qualidade nos Assentamentos Humanos. *Projeto Orla: Fundamentos para Gestão Integrada*. Brasília: MMA. v. 1. 78 p. 2006.

BRASIL. *Ministério das Cidades*. Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco. 122 p., 2007.

BRASIL. *Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima/MMA no Estado do Pará*. Diário Oficial, 33515, 1–2, 2009.

BRASIL. III Plano de Ação Federal para a Zona Costeira 2015/2016. *Ministério do Meio Ambiente*. Brasília. 2016.

CALLIARI, J.; KLEIN, F. Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chui, RS. *Publ. Esp. IO/USP*, v. 20, n. 1, p. 48-56, 1995.

CALLIARI, J.; KLEIN, F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Publ. Esp. IO/USP*, v. 11, p. 55-63, 1993.

CARSON, M.; KOHL, A.; STAMMER, D.; SLANGEN, A.; KATSMAN, C.; VAN DE WAL, R.; WHITE, N. Coastal sea level changes, observed and projected during the 20th and 21st century. *Climatic Change*, v. 134, n. 1-2, p. 269-281, 2016.

CASTRO, C.; PEIXOTO, M.; RIO, G. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.

CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM DESASTRES NATURAIS - CEPED; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. *Atlas brasileiro de desastres naturais*. Florianópolis: CEPED/UFSC, v. Brasil. 127 p, 2013.

CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM DIDÁTICA - CEPED; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. *Atlas brasileiro de desastres naturais*. Florianópolis: CEPED/UFSC. Pará. 115 p., 2013.

CERRI, L.; AMARAL, C. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. e BRITO, S. (eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE. 1998.

CHAKRABORTY, A., JOSHI, P. Mapping disaster vulnerability in India using analytical hierarchy process. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 7, n. 1, p. 308-325, 2016.

CORBIN, A. O território do vazio: a praia e o imaginário ocidental. Tradução Paulo Neves. Ed. *Companhia das Letras*, São Paulo, 385 p, 1989.

CORRÊA, L. *Análise dos efeitos térmicos de superfície na cidade de Belém-Pará-Brasil utilizando imagens de satélite*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Pará. 143 p. Belém. 2011.

COSTA, J.; BEMERGUY, R.; HASUI, Y.; DA SILVA, M.; JÚNIOR, C.; BEZERRA, P.; FERNANDES, J. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Revista Geonomos*, v. 4, n. 2, p. 23-44, 1996.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. *Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa Marapanim – Pará*. Relatório técnico. 2016. <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Setorizacao-de-Riscos-Geologicos---Para-4881.html>

CPRM; ANA. *Monitoramento Hidrológico de 2012 - Boletim Abril / 2016*. Manaus: SIPAM. 4 p. 2016.

CPTEC – Banco de dados meteorológico (Modelo WWATCH). *Centro de Previsão de Tempo e estudos Climáticos*, Instituto nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, SP, Brasil. 2016. <http://ondas.cptec.inpe.br/>

CUNHA, L.; LEAL, C. Natureza e sociedade no estudo dos riscos naturais. Exemplos de aplicação ao ordenamento do território no município de Torres Novas (Portugal). In: PASSOS, M.; CUNHA, L.; JACINTO, R (Org.). *As novas geografias dos países de língua portuguesa: paisagens, territórios e políticas no Brasil e em Portugal (II)*. São Paulo: Geografia em Movimento. p. 47-66, 2012.

CUTTER, S. The Changing Nature of Risks and Hazards. In: CUTTER, S. *American Hazardscapes. The regionalization of Hazards and Disasters*. Washington, D. Joseph Henry Press. 179 p, 2001.

DANGENDORF, S.; MARCOS, M.; WOPPELMANN, G.; CORAD, C.; FREDERIKSE, T.; RIVA, R. Reassessment of 20th century global mean sea level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017.

DANTAS, M. *Biblioteca de padrões de relevo. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2017. In: <https://www.google.com.br/search?q=biblioteca+de+padroes+de+relevo+cprm&oq=biblioteca+de+padroes+de+relevo+cprm&aqs=chrome..69i57.18859j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>. Acesso: out/2017

DEAN, R.; HOUSTON, J. Determining shoreline response to sea level rise. *Coastal Engineering*, v. 114, p. 1–8, 2016.

DHN. Tábua das Marés. *Marinha do Brasil*. 2016. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 5 mar. 2016.

EL ROBRINI, M.; SILVA, M.; SOUZA FILHO, P.; EL-ROBRINI, M.; SILVA Jr., O.; FRANÇA, C. Pará. Erosão e progradação do litoral Brasileiro. In: MUEHE, D. *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Programa de Geologia e Geofísica Marinha. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, p. 41-86, 2006.

- EL-ROBRINI, M. *Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas da Ilha do Mosqueiro*. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 85p. 2001. Dissertação de Mestrado.
- ESPÍRITO-SANTO, C.; SZLAFSZTEIN, C. Gestão de risco de desastres em planos diretores de três municípios da zona costeira do estado do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 16, n. 2, p. 223-229, 2016.
- FISCHER, A. *Morfodinâmica do "Saco do Laranjal": costa noroeste do estuário da Laguna dos Patos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Escola de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.
- FOLK, R.; WARD, W. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Research*, v. 27, n. 1, 1957.
- FONTOURA, J. *Hidrodinâmica Costeira e Quantificação do Transporte Longitudinal de Sedimentos Não Coesivos na Zona de Surfe das Praias Adjacentes aos Molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Uni. Porto Alegre, UFRGS. Doutorado, 281 p., 2004.
- FRANÇA, C.; MARTINS, P. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha De Marajó (PA) em imagem Landsat. *Brazilian Journal of Geology*, v. 33, n. 2, p. 127-136., 2003.
- FRANÇA, C.; SILVA PIMENTEL, M. Diversidade Paisagística das Margens Oeste e Leste da Baía de Marajó, Pará, Norte do Brasil. *Revista Geonorte*, v. 3, n. 6, p. 900-910, 2012.
- FRENCH, P. Coastal and Estuarine Management. London. New York: *Routledge environmental management series*. 251 p., 1997.
- GALVIN, C. Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journal of Geophysical Research*, v. 73, p. 3651-3659. 1968.
- GERMANI, Y.; FIGUEIREDO, S.; CALLIARI, L.; TAGLIANI, C. Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do Rio Grande do Sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 15, n. 1, p. 121-131, 2015.
- GEYER, W.; BEARDSLEY, R.; LENTZ, S.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W.; SOARES, I. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, v. 16, n. 5, p. 575-616. 1996.
- GLOSSÁRIO GEOLÓGICO ILUSTRADO WINGE, M. SIGEP. *Serviço Geológico do Brasil – CPRM*. 2018.
- GÓES, M.; ROSSETTI, F.; NOGUEIRA, R.; TOLEDO, M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 2, p. 3-15. 1990.
- GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. *Annual Disaster Statistical Review 2015: The numbers and trends*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Institute of Health and Society (IRSS). Université catholique de Louvain – Brussels, Belgium. 2016.

GUTIERREZ, B.; PLANT, N.; PENDLETON, E.; THIELER, E. Using a Bayesian network to predict shore-line change vulnerability to sea-level rise for the coast so the United States (n. 2014-1083). *United States Geological Survey*. Report v.1083, 26 p., 2014.

HOEFEL, G. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. *Editora da Univali*, Itajai. v. 1, p 92, 1998.

HUGHES, M.; MASSELINK, G.; BRANDER, R. Flow velocity and sediment transport in the swash zone of a steep beach. *Marine Geology*, v.138, n.1-2, p. 91-103, 1997.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Monitoramento das estações automáticas*. 2016. <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>. Acesso: 8/8/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Diretoria de Pesquisa e Informática. *População estimada*. 2010.

Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=261070&search=pernambuco|paulista>>. Acesso em: 13/jul/2017.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In: STOCKER T.; QIN, D.; PLATTNER, G-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA; Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. (Eds.). *Climate change 2013 the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. 2013.

KOMAR, P. *Beach processes and sedimentation*. [S.l.]: Prentice-Hall, Upper saddle river, NJ, 1997. 544 p.

KOPPEN, W. *Climatología: com um estudio de los climas de latierra*. Fondo de Cultura Económica, México, 479 p., 1948.

LIMA, A.; OLIVEIRA, L.; FONTINHAS, R.; LIMA, R. Ilha do Marajó: Revisão Histórica Climatológica, Bacias Hidrográficas e Propostas de Gestão. Relatório Técnico. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Núcleo de Hidrometeorologia (SECTAM/NHM). Belém. *HOLOS Environment*, v.5 n.1, p. 66, 2005.

MACOLA, G.; EL-ROBRINI, M. “*Ilha dos Guarás (Mariteua) – Município de Curuça (NE do Pará): Aspectos Físicos, Meteorológicos e Oceanográficos*. Relatório Final. Belém, DNPM/CPRM, 35 p., 2004.

MAHAPATRA, M.; RAMAKRISHNAN, R.; RAJAWAT, A. Coastal vulnerability assessment using analytical hierarchical process for South Gujaratcoast, India. *Natural Hazards*, v. 76, n. 1, p. 139-159, 2015.

MARENGO J., NOBRE, C. Clima da região amazônica. In: *Tempo e Clima no Brasil*, editado por: CAVALCANTI, I., FERREIRA, N., DA SILVA, M., DIAS, M., Oficina de Textos, p. 179-212. 2009.

MARONE, E.; CAMARGO, R. Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. *Nerítica*. v. 8, n. 1-2, p. 73-85, 1994.

MASSELINK, G.; SHORT, A. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, v 9, n 3, 785-800 p. ISSN 0749-0208. 1993.

MEDEIROS, E.; MAIA, L.; ARAÚJO, R. Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia do Icarai): Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 16, n. 2, p. 185-193, 2016.

MELLO, L.; SIMÕES, P. Análise da variação da linha de costa associado às áreas de risco a erosão costeira nas praias do Pesqueiro e Barra Velha, no município de Soure. Ilha do Marajó-PA. In: Simpósio de geologia da Amazônia, 15, *Anais...*, Belém-PA, 2017.

MELLO, L.; SIMÕES, P.; ALVES, M. Estudo do Processo Erosivo e Recuo da Linha de Costa, com Ênfase nos Danos Causados ao Longo da Praia do Crispim – PA. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48º, *Anais...*, Porto Alegre: SBG. 2016.

MENDES, A. *Ecosystemas Costeiros: Impactos e gestão ambiental*. Belém: MPEG. p.75-87. 2001.

MESQUITA, A.; FRANCO, A.; HARARI, J.; FRANÇA, C. On sea level along the brazilian coast. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 31, n. 5, p. 33-42. 2013.

MORAES, B., COSTA J., COSTA A. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, v. 35, p. 207– 214. 2005

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: CUNHA, D. e GUERRA, T. (orgs.). *Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994.

MUEHE, D. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 2, n. 1, p. 35–44. 2001.

MUEHE, D. Erosão costeira: Tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 11, n. 3, p. 315-325, 2011.

OLIVEIRA Jr. R.; DA SILVA, J.; CAPECHE, C.; RODRIGUES, T. Levantamento de Reconhecimento de Alta Intensidade dos Solos da Folha Marapanim. Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa nº 180, 53 p. Estado do Pará. Belém-PA. 1997.

OLIVEIRA, A. *Susceptibilidade e vulnerabilidade de sistemas costeiros abrigados à oscilação positiva do nível do mar: estudo de caso lagoa da conceição/SC*. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado. 203 p. 2016.

OLIVEIRA, S.; PEREIRA, L.; VILA-CONCEJO, A. Processos morfodinâmicos em uma praia de macromaré no litoral amazônico Morphodynamic processes in a macrotidal beach in the Amazon littoral. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 5, n. 2, p. 125-136. 2014.

PBMC: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: *Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. MARENGO, J.; SCARANO, F. (Eds.). PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p., 2016. ISBN: 978-85-285-0345-6. Acesso em: 05/01/2018

PEREIRA, C.; COELHO, C.. Mapas de risco das zonas costeiras por efeito da ação energética do mar. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 13, n. 1, 27-43 p., 2013.

PEREIRA, L.; VILA-CONCEJO, A.; SHORT, A. Coastal Morphodynamic Processes on the Macro-Tidal Beaches of Pará State Under Tidally-Modulated Wave Conditions. In: SHORT, A.; KLEIN F. *Brazilian Beach Systems* (Vol. 17). Springer International Publishing Switzerland. *Coastal Research Library*, 19 p. 2016.

POLLETE, M.; SILVA, L. GESAMP, ICAM e PNGC – Análise comparativa entre as metodologias de gerenciamento costeiro integrado. *Revista da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*, nº4 Tema e Tendências: Gestão das Águas. p. 27-30. 2003.

PRAMANIK, M.; BISWAS, S.; MONDAL, B.; PAL, R.. Coastal vulnerability assessment of the predicted sea level rise in the coastal zone of Krishna–Godavari delta region, Andhra Pradesh, East Coast of India. *Environment, Development and Sustainability*, v. 18, n. 6, p 1635-1655, 2015.

PROJETO DE GESTÃO INTEGRADA DA ORLA MARÍTIMA – PROJETO ORLA. *Plano de Intervenção na Orla Estuarina e Fluvial do Município de Soure, Ilha de Marajó-PA*. Brasil. 2015.

PROST, M.; MENDES, A.; FAURE, J.; BERREDO, J.; SALES, M.; FURTADO, L.; SANTANA, M.; SILVA, C.; NASCIMENTO, I.; GORAYEB, I.; SECCO, M.; LUZ, L.. Manguezais e Estuários da Costa Paraense: Exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: PROST, M.; MENDES, A. *Ecossistemas Costeiros: Impactos e gestão ambiental*. Belém: MPEG. p.75-87, 2001.

RANIERI, L. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará)*. Tese (Doutorado em Geologia) – Centro de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará, Belém. 195 p., 2014.

RANIERI, L.; EL-ROBRINI, M.. 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. 2016.

ROCHA, T.; FERNANDEZ, G.; NASCIMENTO, L. Avaliação dos critérios morfodinâmicos para a fase de diagnóstico do projeto orla: um estudo de caso em praias arenosas com desembocaduras fluviais. *Sociedade & Natureza*, v. 25, n. 2, p. 333–347. 2013.

ROSSETTI, D. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 14, n. 1, p. 77-89. 2001.

ROSSETTI, D. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. *Geologia USP. Série Científica*, v. 6, n. 2, p. 7-18. 2006.

ROSSETTI, D.; GÓES, A.; SOUZA, L. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 19, n. 2, p. 113–130. 2001.

ROSSETTI, D.; RUJU, A.; CONLEY, D.; MASSELINK, G.; PULEO, J. Sediment transport dynamics in the swash zone under large-scale laboratory conditions. *Continental Shelf Research*, v. 120, p. 1-13. 2016.

ROSSETTI, D.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*. v. 1, p. 25-74. 1989.

SÁ, J. Contribuição a geologia e os sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina. *Boletim do Instituto de Geologia do Rio de Janeiro*, v. 3, p. 21-36. 1969.

SAATY, T. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, v. 15, n. 3, p. 234-281. 1977

SAATY, T. Relative measurement and its generalization in decision making: why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors-the analytic hierarchy/network process. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Series A, Math; v. 102, n. 2, p. 251–318. 2008.

SANTOS, V. *Estratigrafia holocênica e morfodinâmica atual da planície costeira da Ilha de Algodão e Marudá*. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém. 138 p. 1996.

SCHERER, M; SANCHES, M.; NEGREIROS, D. Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas no Brasil: um diagnóstico. Necesidad de cambio. Cádiz, *Red IBERMAR (CYTED)*, p. 291-330. 2009.

SHORT, A. Macro-mesotidal beach morphodynamics: an overview. *Journal of Coastal Research*, v. 7, p. 417-436. 1991.

SILVA, Jr.; EL-ROBRINI M. Morfoestratigrafia do noroeste da planície costeira de São João de Pirabas (Nordeste do Pará). *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 49, n. 1/2, p. 99–114. 2001.

SILVA, M. *Morfoestratigrafia e evolução holocênica da Planície Costeira de Salinópolis, Nordeste do Estado do Pará*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Pós-graduação em Geologia e Geoquímica. 142 p. 1996. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, A. *Índices de extremos climáticos e tendências da precipitação anual e sazonal na Amazônia Oriental*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Pós-graduação em Ciências Ambientais. Belém. 134 p. 2010.

SILVA, B.; SILVA, L.; RODRIGUES T.; GERHARD, P. Solos das mesobacias hidrográficas dos igarapés São João e Cumaru, município de Marapanim e Igarapé Açu. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 32. Fortaleza: SBCS. 2009a.

SILVA, C. *Caracterização geológica–geomorfológica das margens da Baía de Marapanim, NE do Pará*. Pós-graduação em Geologia e Geoquímica. UFPA, Belém. 46 p. 1995.

SILVA, C.; PATCHINEELAM, S.; BAPTISTA NETO, J.; PONZI, V. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos atuantes na linha de Costa. In: NETO, J., PONZI, V., SICHEL, S. (Eds.). *Introdução à geologia marinha*. Interciência, Rio de Janeiro, p. 175-218. 2004.

SILVA, C.; SOUZA FILHO, P.; RODRIGUES, S. Morphology and modern sedimentary deposits of the macrotidal Marapanim Estuary (Amazon, Brazil). *Continental Shelf Research*, v. 29, n. 3, p. 619-631. 2009b.

SILVA, F.; SANTOS, J.; FEITOSA, F.; SILVA, I.; ARAÚJO, M.; GUTERRES, C.; NERES, R. Evidence of Climate Change in the Amazon-Savanna Transition Region in Maranhão State. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 3, p. 330-336. 2016.

SILVA, N.; PEREIRA, L.; GORAYEB, A.; VILA-CONCEJO, A.; SOUSA, R. Natural and social conditions of Princesa, a macrotidal sandy beach on the Amazon Coast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. SI, p. 64, 2011.

SILVA, R. Gerenciamento Costeiro Integrado na Costa Norte Brasileira: Planos Diretores Municipais, Planos Municipais de Gerenciamento Costeiro e Reservas Extrativistas Marinhas. Seminário – Gerenciamento Costeiro na Região Norte. *Comissão da Amazônia, Integração Nacional e de Desenvolvimento Regional*. 54ª Legislatura – 2º Sessão Legislativa Ordinária. Câmara dos Deputados. 2012.

SILVEIRA, F. Marés, fases principais da Lua e bebês. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 20, n. 1, p. 10-29. 2003.

SOBREIRA, F.; SOUZA, L. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, São Paulo, n. 2, p. 79-97. 2012.

SOUSA, R.; PEREIRA, L.; DA COSTA, R.; JIMÉNEZ, J. Management of estuarine beaches on the Amazon coast through the application of recreational carrying capacity indices. *Tourism Management*, v. 59, p. 216-225. 2017.

SOUZA FILHO P. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, n. 4, p. 427-435. 2005.

SOUZA FILHO P.; EL-ROBRINI M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. *Geonomos*, v. 4, p. 1-16. 1996.

SOUZA FILHO, P.; PARADELLA, W. Synthetic Aperture Radar for Coastal Erosion Mapping, and Land-Use Assessment in the Moist Tropics: Bragança Coastal Plain Case Study. *Anais X SBSR, Foz do Iguaçu*, INPE, Sessão Técnica Oral – Workshop. p. 339-347. 2001.

SOUZA FILHO, P.; TOZZI, H.; EL-ROBRINI, M. Geomorphology, land use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sandy beach, northern Brazil. *Journal Coastal Research*. v. 35, p. 580-589. 2003.

SOUZA, C. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: SOUZA, C. (eds.). *Quaternário do Brasil*, Holos Editora, Ribeirão Preto. p.130-152. 2005.

SOUZA, C. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista Da Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 1, p. 17-37. 2009.

SOUZA, C. A Erosão nas Praias do Estado de São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: BONONI, V.; SANTOS Jr., N. (Orgs.). *Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado*, Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo. p. 48-69. 2009a.

SOUZA, C. Erosão costeira. In: TOMINAGA, L.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico. p. 71-84. 2009b. Disponível em <http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp>.

SOUZA, G.; ROCHA, G.; SOBRINHO, M. O público e o privado na apropriação do espaço na zona costeira da Amazônia brasileira: o caso da Ilha do Atalaia, Estado do Pará. *GeoTextos*, v. 12, n.1, p. 105-131, 2016.

SOUZA, L.; SOBREIRA, F. *Guia para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente aos desastres naturais*. Estudo de caso de ouro preto. 1º ed. Brasília, Distrito Federal,. 68 p., 2013.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. Quaternary sea levels of the Brazilian coast: recent progress. *Episodes*, v. 11, n. 3, p. 203–208. 1988.

SZLAFSZTEIN, C. Indefinições e Obstáculos no Gerenciamento da Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 9, n. 2, p. 47-58. 2009.

SZLAFSZTEIN, C. Natural disaster management in the Brazilian Amazon: An analysis of the states of acre, Amazonas and Pará. In: CHEVAL, S. (Ed.). *Natural Disasters*. 1 ed. Zagreb: INTECH. p. 1-20. 2012

SZLAFSZTEIN, C. Management of natural disasters in the Brazilian Amazon region. *Natural Hazards*, v. 76, n. 3, p. 1745-1757. 2015.

SZLAFSZTEIN, C.; STERR, H. A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazard, state of Pará, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, v. 11, n. 1, p.53-66, 2007.

TESSLER, M.; GOYA, S. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. *Revista de Departamento de Geografia*, v.17, p. 11–23, 2005.

THIELER, E.; HAMMAR-KLOSE, E. *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise, preliminary results for the U. S. Atlantic Coast*. Massachusetts: U. S. Geological Survey. Open-file Report, p. 99-593. 1999.

Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/>> Acesso em: 11 dez. 2016.

THIELER, E.; HIMMELSTOSS, E.; ZICHICHI, J.; ERGUL, A. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report. p. 2008–1278. 2009.

TURNER, L.; KASPERSON, E.; MATSONE, A.; MCCARTHYF, J.; CORELLG, W.; CHRISTENSENE, L.; ECKLEYG, N.; KASPERSONB, X.; LUERSE, A.; MARTELLOG, L.; POLSKYA, C.; PULSIPHERA, A.; SCHILLERB, A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n. 14, v. 100, p.8074-8079, 2003.

VILLWOCK, J.; LESSA, G.; SUGUIO, K.; ANGULO, R.; DILLENBURG, S. Geologia e Geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, C.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. (eds.) *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora,. p. 94-113. 2005

WRIGHT, L.; GUZA, R.; SHORT, A. Dynamics of a high-energy dissipative surf zone. *Marine Geology*, v. 45, n. 1-2, p. 41-62, 1982.

WRIGHT, L.; SHORT, A. Morphodynamics variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, v. 56, n. 1-4, p.93- 118, 1984.

WU, T.; HOU, X.; CHEN, Q. Coastal economic vulnerability to sea level rise of Bohai Rim in China. *Natural Hazards*, v. 80, n. 2, p. 1231-1241, 2016.

YIN, J.; YIN, Z.; WANG, J.; XU, S. National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*, v.16, n. 1, p. 123-133, 2012.