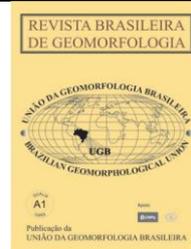


<https://rbgeomorfologia.org.br>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 23, nº 2 (2022)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i2.1951>



Artigo de pesquisa

Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos

Vulnerability to coastal erosion on Amazonian beaches and human occupation in risk areas

Yago de Souza Negrão ¹, Herilene Chaves de Sousa ² e Leilanne Almeida Ranieri ^{3,*}

¹ Universidade Federal do Pará, Laboratório de Oceanografia Geológica, Belém-PA, Brasil; yagosn19@gmail.com

² Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém-PA, Brasil; sousaherilene@gmail.com

³ Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Belém-PA, Brasil; laranieri@ufpa.br

* Correspondência: laranieri@ufpa.br; Tel.: 55-91-99603-8371

Recebido: 28/05/2020; Aceito: 07/06/2021; Publicado: 06/04/2022

Resumo: A costa amazônica apresenta belezas naturais ainda bastante preservadas. Porém, em algumas áreas, consideradas como importantes polos turísticos, a ocupação humana acontece de forma desordenada, ocorrendo danos e prejuízos ocasionados pela erosão costeira. Este artigo mostra um estudo da vulnerabilidade e risco costeiro em 3 praias amazônicas do município de Marapanim/PA, através de observações *in loco*. Por meio de *check-list* de geoindicadores ambientais foi avaliado o grau de vulnerabilidade, de risco à população e de danos sobre as obras costeiras, assim como identificado as áreas prioritárias para planejamento socioambiental. Os resultados variaram bastante por haver muitas áreas preservadas em contraste com as não preservadas, sendo os índices de vulnerabilidade e risco mais elevados nas regiões centrais da praia de Crispim e de Marudá, decorrente da ação antrópica. Na praia de Santa Maria, os índices foram menores por estar localizada no interior do estuário de Marapanim. O trecho Crispim-Santa Maria exemplifica peculiaridades geomorfológicas e geográficas do litoral amazônico, como a pequena a moderada expansão urbana, porém em áreas de risco costeiro. Devido a consolidação urbana ainda ser baixa, planos de gestão podem ser elaborados para atender regiões parcialmente modificadas, de forma a promover uma ocupação ordenada e segura para os moradores.

Palavras-chave: Praia; Erosão; Impactos.

Abstract: The Amazonian coast has natural beauty that is still well preserved, but in some areas considered as important tourist hubs human occupation occurs in a disorderly manner, with damage and losses occurring due to coastal erosion. This article shows the study of coastal vulnerability and risk in 3 Amazonian equatorial beaches in the Marapanim city through on-site observations. Through a checklist of environmental geo-indicators was evaluated degree of vulnerability, risk to population and damage to coastal defense structures, as well as the identification of priority areas for socio-environmental planning. The results varied considerably because there are many preserved areas in contrast to the non-preserved ones, the highest vulnerability and risk rates being mainly in the central regions of Crispim and Marudá beach due to the anthropic action. At Santa Maria beach the rates were lower because it is located further inland from the Marapanim estuary. The Crispim-Santa Maria section exemplifies the various geomorphological and geographic

peculiarities of the Amazon coast, such as low to moderate urban expansion, however in coastal risk areas. Due to urban consolidation, it is still low, management plans can be drawn up to serve partially modified regions to promote an orderly and safe occupation for residents.

Keywords: Beach; Erosion; Impacts.

1. Introdução

A zona costeira engloba diversos ambientes que estão sujeitos a influência de agentes oceânicos, continentais, atmosféricos e antrópicos, sendo extremamente sensível às mudanças que exercem impactos nessa região, como as climáticas. Diante disso, entende-se que a zona costeira é uma área de intenso estresse ambiental, seja pela excessiva exploração dos seus recursos naturais, pelo uso desordenado do espaço (GRUBER; BARBOZA; NICOLODI, 2003), ou por possuir um papel de proteção da linha de costa frente às forças oceanográficas (marés, correntes, ondas), meteorológicas (ventos e tempestades) e fluviais (hidrodinâmica estuarina) (RANIERI e EL-ROBRINI, 2016), as quais originam fenômenos de erosão e deposição sedimentar atuando dinamicamente.

Na maior parte dos casos, a linha de costa corresponde ao componente mais dinâmico e instável da zona costeira e recebe maior atenção no gerenciamento devido aos danos em construções existentes neste local, pois embora algumas linhas sejam estáveis, as porções em erosão são mais comuns (BUSH *et al.*, 1999).

Nesse contexto, ações de gestão costeira são de extrema importância, sendo um instrumento político para as atividades de planejamento e gerenciamento das zonas costeiras (POLETTE e SILVA, 2003).

No Brasil, a gestão costeira começou a ganhar âmbito pela Lei n.º 7.661, de 16 de maio de 1988, instituindo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), cujos detalhamentos e operacionalização foram objeto da Resolução n.º 01/90 da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM), de 21/11/90 (MMA, 2018). Segundo o Artigo 2º da Lei n.º 7.661, o PNGC visa especificamente orientar a utilização dos recursos na Zona Costeira Brasileira, de forma a contribuir para elevar a qualidade da vida de sua população, e a proteção do seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (BRASIL, 1988).

Segundo García (1999), as características que mais se destacam na zona costeira são: (I) complexa interação entre as águas doces e marinhas e entre diversas massas de ar; (II) predomínio de paisagens geologicamente novas; (III) possuir uma estrutura parcial complexa, disposta em faixas paralelas ao mar; (IV) instabilidade, fragilidade, vulnerabilidade e limitada capacidade de suportar impactos humanos (amplia difusão de impactos); (V) unidade de valor patrimonial, com combinação de altas (turismo, construções) e baixas (agricultura) potencialidades; e, (VI) forte e intensa ocupação humana.

Inseridas na zona costeira, as praias são depósitos de material inconsolidado, como areia e cascalho, formados na interface entre a terra e o mar ou outro corpo aquoso de grandes dimensões (SUGUIO, 1992). São ambientes que possuem diversas funções, como proteção costeira, habitats para espécies de animais e vegetais, recreação, atividades urbanas, turismo (SOUZA *et al.*, 2005), entre outras. Devido a isso, possuem grande relevância ambiental, econômica e social e, quaisquer impactos nesse ambiente, como por exemplo, a erosão, acarretam várias consequências negativas.

O estudo em ambiente costeiro sobre alterações morfológicas e identificação de áreas erosivas, deposicionais ou preservadas é de fundamental importância, pois pode servir como ferramenta e subsídio para políticas de gerenciamento costeiro, bem como o planejamento e desenvolvimento de atividades humanas mais sustentáveis numa região.

Neste contexto, pesquisas sobre vulnerabilidade costeira têm ganhado notoriedade nos últimos anos (NICOLODI e PETERMANN, 2010; RANIERI e EL-ROBRINI, 2016; KANTAMANENI, 2016; PANTUSA *et al.*, 2018; TANO *et al.*, 2018; BEVACQUA; YU; ZHANG, 2018; RAKIB *et al.*, 2019; BRAGA *et al.*, 2019), principalmente envolvendo a problemática da erosão, a qual provoca a perda de moradias, prejuízos financeiros e gera risco para a população que mora no litoral. Logo entender sua fragilidade, bem como reconhecer áreas mais suscetíveis ao risco e danos causados pela erosão é de fundamental importância.

Diversos locais no Brasil apresenta problemas relacionados com a erosão costeira, a qual ocorre ao longo das linhas de costa, sendo principalmente um processo natural oriundo de balanço sedimentar negativo (SOUZA *et al.*, 2005). No entanto, o processo erosivo pode ser influenciado de forma antrópica, dependendo do uso e das formas de ocupação do litoral. Na costa amazônica, por exemplo, diversas regiões com ocupação humana

desordenada passam por processos de erosão, como: Salinópolis, Abaetetuba, Ilha de Mosqueiro, Bragança e Marapanim (RANIERI e EL-ROBRINI, 2015), o que gera para essas cidades problemas econômicos, pois algumas são importantes polos turísticos do Estado.

Diante disso, a hipótese desta pesquisa é baseada no fato de que a ação antrópica tem contribuído para erosão costeira local e, dada a importância do gerenciamento costeiro, este artigo buscou identificar a vulnerabilidade costeira à erosão e os riscos à população nas praias de Crispim, Marudá e Santa Maria (Marapanim/PA), como estudo de caso para a costa amazônica do Brasil.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

O município de Marapanim está localizado no nordeste do Estado do Pará, Brasil, apresentando uma população de aproximadamente 26.605 mil habitantes, segundo o último censo demográfico do país (IBGE, 2010). As praias estudadas (Santa Maria, Marudá e Crispim) não estão situadas na sede municipal, e sim, em vilas afastadas do município, localizadas à margem do estuário do rio Marapanim (Figura 1). Estas são um dos polos turísticos do Estado, que passaram a apresentar nos últimos anos um crescimento populacional, acompanhado do aumento do número de construções residenciais e comerciais, especialmente após a construção da Orla de Marudá em 2004.

A praia de Marudá tem uma orla de aproximadamente 453 m de extensão. Localiza-se na Vila de Marudá, assim como a praia de Santa Maria, que se situa estuário adentro, em área de planície de maré. Já a praia do Crispim localiza-se na foz estuarina, com pouca ocupação humana. Nesta praia, o acesso principal é por meio de uma rampa danificada pela erosão costeira, sem calçadão, porém com bares/restaurantes sobre palafitas (sobre troncos ou pilares) na face praial.

Parte da população que possui residências em Marapanim, está presente apenas durante o período de férias (julho e dezembro, especialmente) nas vilas do município, como Marudá e Crispim, ocasionado um processo de conscientização ambiental dificultoso, pois estes não vivem frequentemente os problemas da região mais próxima do oceano, como a erosão costeira e acúmulo de resíduos sólidos vindos da descarga fluvial e do oceano adjacente.

Em relação aos aspectos oceanográficos, essa região é caracterizada como uma zona estuarina, com importantes ambientes, os quais são influenciados pela dinâmica do fluxo fluvial e pelas correntes de maré. Já as ondas são formadas pelos ventos alísios de NE (EL-ROBRINI *et al.*, 2018). Durante os meses de Junho-Julho-Agosto, os alísios oriundos do Hemisfério Sul exercem maior contribuição na região Norte. Já durante os meses de Dezembro-Janeiro-Fevereiro, os alísios oriundos do Hemisfério Norte são em média 1 m/s mais intensos, podendo influenciar na ação de ondas de longo período que se propagam no Atlântico Equatorial (SILVA, 2013) e, assim, na erosão costeira da região ao atingirem a costa. Innocentini *et al.* (2001) também ressaltam que as tempestades tropicais originadas no Atlântico Norte geram marulhos que podem atingir o litoral da região Norte.

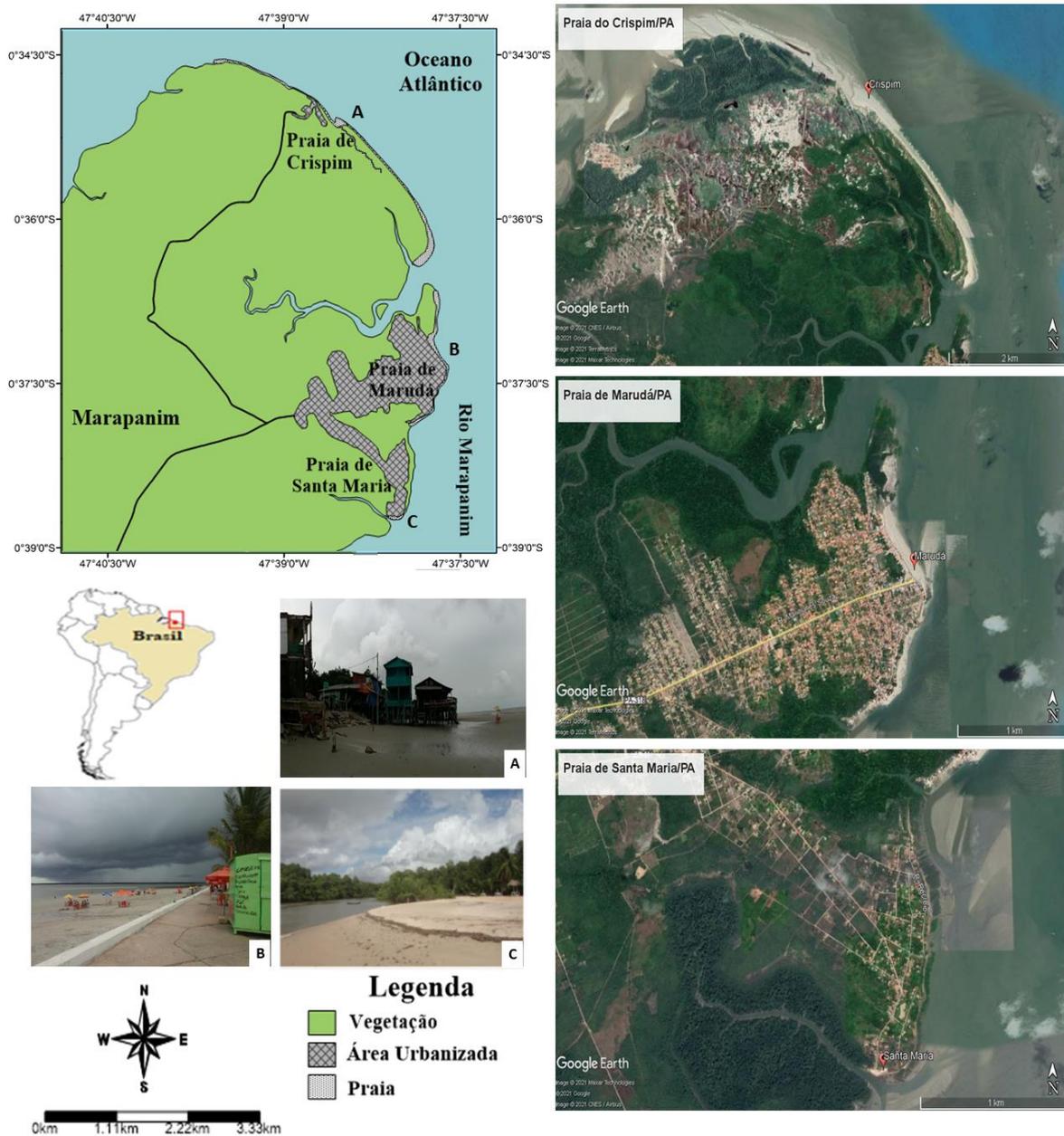


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Imagens Google Earth do ano de 2020.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2. Coleta de dados

A coleta de dados ocorreu em 15/03/2018, tendo posterior monitoramento das condições ambientais, para possíveis ajustes, em 01/07/2018, 12/01/2019 e 26/10/2019, além de observações por sensoriamento remoto em software gratuito (Google Earth Pro) para análise mais ampla da área, até o ano de 2020. *In loco*, utilizou-se um GPS para mapeamento de ecossistemas na linha de costa e feições costeiras, visando identificar trechos da costa com vulnerabilidade à erosão. Além disso, foram obtidas informações dos riscos à população e danos ao patrimônio público e residências privadas, causados pelo processo de erosão na região e, aplicadas tabelas pré-definidas para análise dos impactos de obras nas praias (Figura 2).

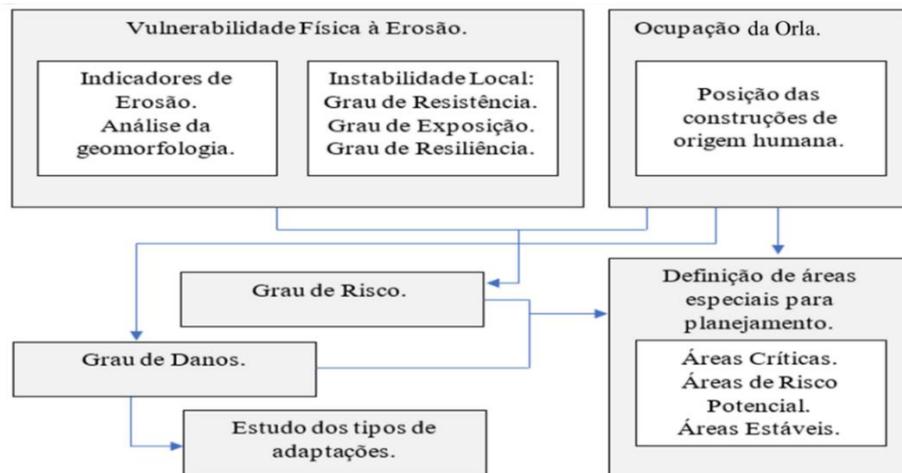


Figura 2. Fluxograma da metodologia adotada. Modificado de Lins-de-Barros (2005).

2.3. Estudo da vulnerabilidade física à erosão

Para determinar o potencial de erosão nas praias foram analisados os geoindicadores de Bush *et al.* (1999). Estes foram subdivididos em 3 grupos: erosão severa, erosão e acreção/estabilidade (Tabela 1). Adicionalmente utilizou-se imagens de satélite do programa Google Earth, para verificar a taxa de variação da linha de costa (m) do ano de 2010 a 2020, por meio de medição linear.

Tabela 1. Subdivisão dos geoindicadores de erosão costeira.

| Geoindicadores de Erosão Costeira | |
|-----------------------------------|--|
| Erosão severa | 1 - ausência de dunas de transposição; 2 - escarpas ativas por ondas ou dunas remanescentes; 3 - canais de maré expostos na zona de espraiamento; 4 - ausência de vegetação; 5 - obras de engenharia costeira presentes na praia ou offshore; 6 - escarpamento do pós-praia; 7 - edificações e infraestruturas urbanas danificadas; |
| Erosão | 8 - dunas escarpadas ou rompidas; 9 - escarpas íngremes e depósitos de talús; 10 - turfa, lama ou troncos de árvores expostos na praia; 11 - praia estreita ou com área coberta por espraiamento de ondas; 12 - presença de leques de transposição, aberturas artificiais (como corte de estradas); 13 - vegetação efêmera ou tombada; |
| Acreção/ Estabilidade | 14 - dunas robustas e vegetadas; 15 - escarpa vegetada com rampa estável; 16 - praia larga e berma bem desenvolvido; 17 - ausência de leque de transposição; 18 - vegetação bem desenvolvida, arbustos de dunas, grama pioneira de praia. |

O grau de instabilidade local foi determinado por meio dos parâmetros sugeridos por Lins-de-Barros (2005). Eles foram adaptados e obtidos através de observação visual das praias estudadas. Consistem em grau de resistência, exposição da praia e resiliência.

O parâmetro resistência foi obtido através de três outras variáveis (Tabela 2), que são: (a) a cobertura vegetal, já que ela pode reduzir a ação do vento, retém sedimentos fornecendo maior resistência à erosão (MORTON, 2002), além de reduzir o potencial energético das ondas (BUSH *et al.*, 1999) que quebram próximas da linha de costa; (b) a presença de dunas, as quais funcionam como importante estoque de sedimentos (LINS-DE-BARROS, 2005); e (c) a granulometria dos sedimentos, visto que, dependendo do tamanho e coesão dos grãos, eles podem ser mais facilmente erodidos.

Quanto ao grau de exposição às ondulações (Tabela 3), está fortemente relacionado à localização das praias no estuário de Marapanim.

Tabela 2. Variáveis para determinação do grau de resistência.

| VARIÁVEIS | Grau de Resistência – Classificação | | |
|----------------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------------|
| | Alta | Moderada | Baixa |
| Vegetação | Densa e bem desenvolvida | Esparsa | Inexistente |
| Granulometria | Silte e argila | Areia grossa e média | Areia fina e muito fina |
| Dunas | Altas (>5m) | Médias (5 a 2 m) | Baixas (<2m)/Inexistentes |

Tabela 3. Classificação do parâmetro grau de exposição da praia.

| Grau de Exposição às Ondas – Classificação | |
|--|---|
| Muito elevado | Trecho exposto ao mar aberto, com elevada energia de ondas até a linha de costa. |
| Elevado | Trecho exposto ao mar aberto, com elevada energia de ondas até a linha de costa, porém com perda de energia ao chegar na linha de costa. |
| Moderado | Trecho semi-abrigado da ação das ondas, como em estuários ou baías, ou parcialmente protegido por efeito barreira (ex.: ilhas, bancos, promontórios). |
| Fraco | Trecho que se apresenta abrigado da ação das ondas, como no interior de estuários, ou totalmente protegido por efeito barreira (ex.: ilhas, bancos e promontórios). |

O grau de resiliência é compreendido como a capacidade de adaptação e recuperação de um determinado sistema que tenha sido afetado e desequilibrado (LINS-DE-BARROS, 2005), sendo dividido em: alto, moderado e baixo (Tabela 4).

Tabela 4. Classificação do parâmetro grau de resiliência da praia.

| Grau de Resiliência – Classificação | |
|-------------------------------------|--|
| Alto | Costas naturais com nenhum ou pouco indícios de detrimientos naturais. |
| Moderado | Costas que estão em processo de modificação antrópica parcial, ou costas naturais que estejam passando por processo de tombamento. |
| Baixo | Costas totalmente modificadas antropicamente. |

Utilizando a interação dos parâmetros descritos acima (resistência, exposição e resiliência), o grau de instabilidade local foi dividido em muito elevado, elevado, moderado e baixo ou ausente.

Como o cruzamento dos resultados dos parâmetros supracitados são numerosos. Estes são destacados nos resultados da pesquisa, como dados obtidos para o grau de instabilidade local.

A partir da junção dos indicadores de erosão e grau de instabilidade local, foi possível classificar a linha de costa quanto a Vulnerabilidade Física à Erosão (Tabela 5). O termo “física” refere-se à questão fisiográfica/estrutural.

Tabela 5. Classificação da vulnerabilidade física costeira.

| VULNERABILIDADE FÍSICA | Grau de Instabilidade Local | Indicadores de Erosão |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Muito Alta | Muito elevado | Erosão severa |
| Alta | Elevado | Erosão severa |
| | Elevado | Erosão |
| | Moderado | Erosão severa |
| Moderada | Moderado | Erosão |
| Baixa | Baixo/Ausente | Acreção ou estabilidade |

2.4. Caracterização da ocupação da orla

De acordo com os critérios do Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004 (BRASIL, 2004) quanto à classificação de orlas brasileiras e, segundo o Projeto Orla (MMA e MPOG, 2006) quanto ao recuo das linhas de costa: orlas/costas naturais são aquelas preservadas e conservadas, com construções que têm recuos de mais de 200 metros, orlas/costas em processo de urbanização ou urbanização consolidada são, respectivamente, aquelas com baixo a alto potencial de impacto, paisagens parcialmente a muito modificadas, e construções a menos e a mais de 50 metros da linha de costa.

Desta forma, para caracterizar a ocupação da orla quanto ao posicionamento das construções em relação à linha de costa, foram definidas três situações (Tabela 6).

Tabela 6. Classificação utilizada para caracterizar a ocupação da orla praial.

| Posicionamento das construções de origem humana – Classificação | |
|--|---|
| Distante | A mais de 200 metros. |
| Próximo | A mais de 50 metros. |
| Muito próximo | A menos de 50 metros ou diretamente sobre a linha de costa. |

2.5. Avaliação do grau de risco

Utilizando resultados do grau de vulnerabilidade física e a posição das construções foi obtido a avaliação do grau de risco para cada praia, sendo: (1) risco muito elevado, os locais com vulnerabilidade física muito alta e construções muito próxima da praia (menos de 50 m); (2) risco elevado, os locais com vulnerabilidade física elevada e construções próxima da praia (menos de 50 m); (3) risco moderado, os locais com vulnerabilidade física moderada a baixa e construções a mais e menos de 50 m da linha de costa; e (4) risco baixo/sem risco iminente, os locais com as construções distante (mais de 200 m).

2.6. Avaliação do grau de danos e prejuízos identificados

Na avaliação do grau de danos (Tabela 7), adaptado de Lins-de-Barros (2005), foram identificadas as perdas paisagísticas antrópicas nas praias em decorrência do posicionamento das construções. Igualmente às etapas anteriores, os resultados foram mapeados utilizando o Surfer 10 da Golden Software.

Tabela 7. Descrição do grau de danos ao patrimônio público e estabelecimentos privados, causados pela erosão costeira. Adaptado de Lins-de-Barros (2005).

| Grau de Danos – Classificação | |
|--------------------------------------|--|
| Ausente | Segmentos sem danos às construções. |
| Fraco | Danos muito pequenos de acesso às casas e quiosques, alagamentos sem destruição ou destruição da margem do estuário, anterior a praia. |
| Moderado | Destruição parcial da orla dificultando a circulação de pessoas e acesso à praia, casas, quiosques, praças e calçadões. |
| Forte | Destruição parcial de avenidas, destruição parcial dos muros, casas e quiosques. |
| Muito Forte | Destruição total ou de grande parte dos quiosques, muros ou casas. |

2.7. Estudo dos tipos de adaptações/obras costeiras

O estudo dos tipos de adaptações à erosão costeira foi por meio do método de matriz de interações de Farinaccio e Tessler (2010), o qual relaciona os tipos de obras na orla, o grau de interferência delas e os impactos causados (Tabela 8).

Tal método não foi aplicável para toda a área de estudo, pois alguns locais não possuem obras ou intervenção humana.

Tabela 8. Resumo da matriz de obras e danos costeiros de Farinaccio e Tessler (2010), utilizada na área de estudo.

| MATRIZ DO SETOR (_____) | PADRÃO DE INTERFERÊNCIA | | | | IMPACTOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | A | B | C | D | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | p | q | r | s | t | |
| Obras de proteção | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obras de recuperação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obras de infraestrutura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Obras de lazer e turismo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PADRÕES DE INTERFERÊNCIA: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Padrão A: obras que são capazes de alterar predominantemente os fluxos longitudinais, aqueles relacionados aos movimentos das correntes de deriva litorânea (<i>longshorecurrents</i>), e que apresentam expressão mais nítida em planta; | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Padrão B: obras que alteram os fluxos transversais, relacionados aos movimentos costa adentro-costa afora (<i>onshore-offshore</i>), cujo reflexo se dá maneira mais incisiva sobre o perfil praial; | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Padrão C: obras cuja ação se dá de maneira igualitária nos dois tipos de fluxos; e | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Padrão D: Obras que interferem nos fluxos de canais estuarinos. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G1-IMPACTOS SOBRE A FAIXA DE AREIA – PRAIAS | Redução da faixa de praia (avanço das obras sobre a faixa de praia) (a) | | | | G3-IMPACTOS ASSOCIADOS Deposição de areia em equipamentos públicos (praças, quiosques, etc) (j) Deposição de areia em avenidas e ciclovias (k) Colapso de muros de proteção (l) Solapamento/recalques de aterros (m) Assoreamentos (n) Escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas paralelas a linha de costa (o) Redução de áreas úteis a ocupação (p) Alteração da paisagem (q) Contaminação da água superficial - por efluentes (r) Contaminação da água por resíduos sólidos (s) Alteração do regime de fluxo da água subterrânea (t) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Praias mais extensas causadas pelo assoreamento/deposição (b) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Praias mais estreitas pela erosão (erosão paralela a linha de costa) (c) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alteração da topografia da praia (perfil praial) (d) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instalação de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) (e) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aprisionamento de sedimentos junto a estrutura rígida de orientação impedindo seu movimento a sotamar (f) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G2-IMPACTOS SOBRE CANAIS ESTUARINOS | Instalação de processos erosivos nas margens dos canais estuarinos (g) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Redução de ambientes naturais (h) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Redução de áreas de mangue (i) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

2.8. Definição de áreas especiais para planejamento

Adaptando as definições de Esteves (2003), as áreas especiais para planejamento foram classificadas em: áreas críticas, de risco potencial e não emergenciais (Tabela 9).

Tabela 9. Classificação das áreas especiais ao planejamento aplicado à gestão costeira.

| Áreas especiais para planejamento – Classificação | |
|--|--|
| Áreas críticas | Apresentam risco acentuado e correspondem a segmentos que sofreram danos fortes e muito fortes, com construções muito próximas das praias (menos de 50 metros). Representam uma situação de problema com perdas e prejuízos econômicos. São áreas que necessitam de ações corretivas e prioritárias. |
| Áreas potenciais | Apresentam risco médio e possuem danos predominantemente moderados e fracos. São caracterizadas por construções próximas das praias, a mais e menos de 50 metros. Representam uma situação de risco iminente, pois possuem tendência de urbanização, o que pode levar a ocupação de áreas de risco. |
| Áreas não emergenciais | Áreas sem urgência de intervenção por não apresentar risco iminente, com construções afastadas da praia (a mais de 50 metros), quando existentes. Não possuem forte pressão de uso ou indício de tendência de ocupação. |

3. Resultados e Discussão

3.1. Geoindicadores de erosão costeira

A determinação da vulnerabilidade física das praias (Figura 3a) foi obtida utilizando os resultados dos geoindicadores de erosão (Figura 3b), juntamente com o grau de instabilidade local (Figura 3c), que é apresentado na sequência.

Inicialmente, através da análise de geoindicadores de erosão na linha de costa, constatou-se que o trecho da orla de Marapanim estudado apresentou classificação de erosão severa à acreção, conforme mostrado no mapa abaixo (Figura 3b). As regiões com erosão severa estão coincidindo com os locais onde há maiores modificações antrópicas próximas da linha da costa, com a alteração da paisagem natural para a construção de estruturas residenciais e comerciais, e obras de proteção costeira, como muros de Arrimo, no setor central das praias de Crispim e Marudá.

A erosão sobre áreas preservadas foi identificada onde a vegetação começa a passar por um processo de degradação, como regiões de mangue com muito tombamento nas praias de Crispim e Marudá. Além disso, dunas frontais escarpadas também serviram como geoindicadores de erosão na praia do Crispim. Contudo, esta característica pode ser sazonal, típica do período mais chuvoso (dezembro a maio), quando se realizou a principal coleta dos dados.

Ranieri e El-Robrini (2016) identificaram esta característica em outras praias amazônicas quando a ocorrência do período mais chuvoso e, o bom desenvolvimento das dunas frontais no período menos chuvoso.

Desta forma, nesta pesquisa sugere-se o termo erosão sazonal para estas áreas identificadas com erosão, mas limitadas com dunas frontais. No período mais chuvoso, ocorre erosão das dunas frontais, devido ao aumento do nível do estuário de Marapanim e maior alcance da maré na linha de costa, formando-se escarpas praias de 1 a 3 m em praias do litoral paraense. Em contrapartida, os fortes ventos alísios que sopram continente adentro, seriam os responsáveis, durante o período menos chuvoso, pela migração e acumulação de sedimentos nas dunas frontais (EL-ROBRINI *et al.*, 2006, EL-ROBRINI *et al.*, 2018).

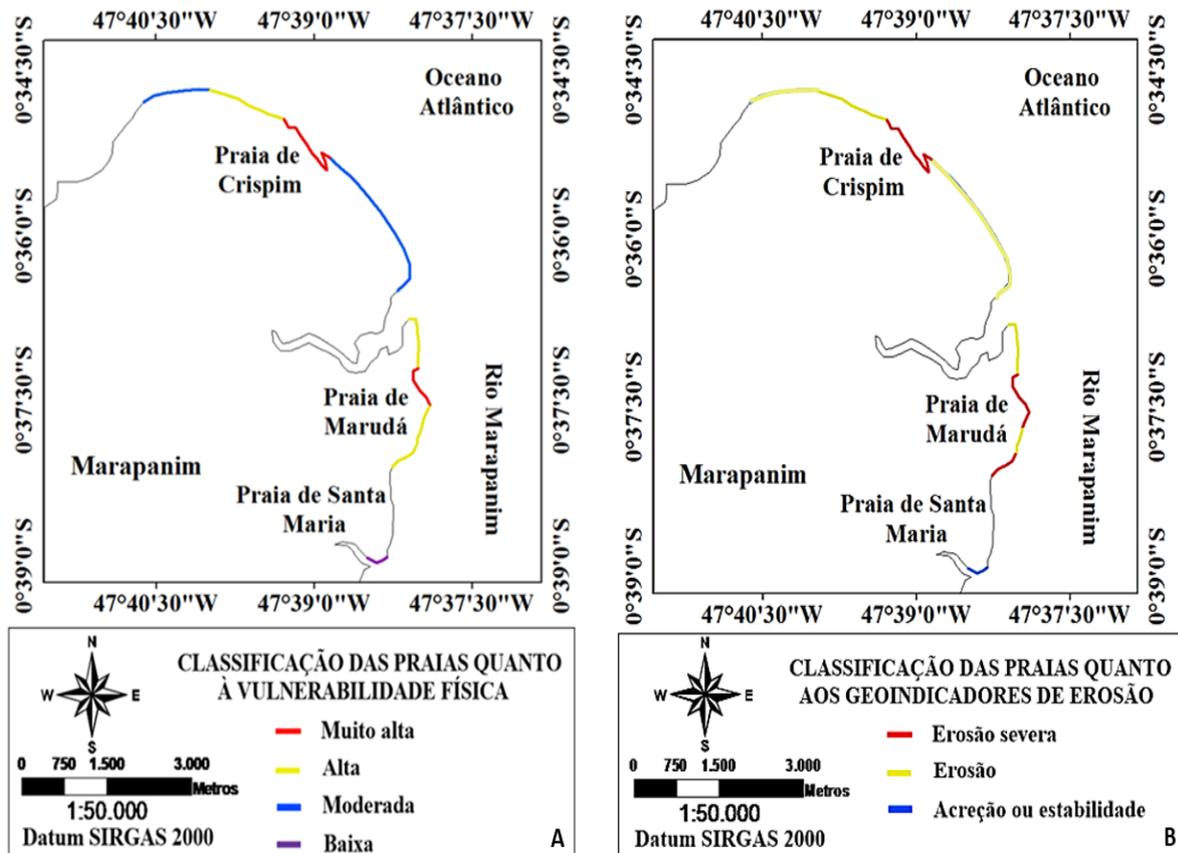


Figura 3. Mapa da vulnerabilidade física das praias de Crispim, Marudá e Santa Maria (A), e a resultante da análise dos geoindicadores de erosão (B).

Isto é explicado devido à forte relação que há entre a pluviosidade na região e os processos meteo-oceanográficos, intensificando-os em períodos mais chuvosos e, amenizando ou tornando-os mais estáveis, em períodos menos chuvosos. No primeiro caso, a relação é explicada pela maior ocorrência de tempestades e, conseqüentemente, instabilidades na incidência de ventos e ondas na costa; e pelo fato da elevada precipitação implicar numa maior descarga fluvial dos estuários da região, influenciando na elevação do nível das marés.

Ao longo da costa amazônica, a precipitação, vazão de rios, ventos, marés, correntes e ondas são os principais fatores que controlam a variação morfológica e sedimentação das praias (GUERREIRO *et al.*, 2013), ocasionando erosão e acreção costeira.

Quanto à acreção ou estabilidade, especificamente na costa de Marapanim, ocorreu em toda praia de Santa Maria (Figura 3b), a qual se encontra mais no interior do estuário, portanto mais protegida das forças oceânicas. Isto é confirmado no estudo de Baía, Ranieri e Rosário (2021), cujas taxas de acreção costeira alcançaram máximo de 3,89 m/ano entre 1988 a 2016 e, mínimo de -1,23 m/ano, demonstrando que a estabilidade ou acreção vem predominando a 3 décadas no local.

3.2. Instabilidade local

A combinação dos resultados obtidos em grau de resistência, grau de exposição e grau de resiliência permitiu a elaboração do cenário encontrado no grau de instabilidade local, o qual foi dividido em muito elevado, elevado, moderado e baixo (Tabela 10).

O grau de resistência e resiliência foram variáveis determinadas pela caracterização da cobertura vegetal, dunas e granulometria, sendo principalmente influenciados pela cobertura vegetal, que permite reduzir o espraiamento das ondas e reter sedimentos finos na linha de costa, a exemplo da vegetação de mangue, fornecendo maior resistência à erosão. O bom estado dessa vegetação, com ausência ou pouco tombamento, ou até mesmo indícios de crescimento, indicam também uma boa resiliência. Quanto às demais variáveis de

caracterização, a granulometria não alterou em relação às praias, e as dunas na linha de costa ocorreram somente na praia de Crispim, sem variações também, apenas dunas frontais baixas, conforme é especificado a seguir.

Tabela 10. Grau de instabilidade local de acordo com o grau de resistência, grau de exposição e grau de resiliência.

| GRAU DE INSTABILIDADE LOCAL | Grau de resistência | Grau de exposição | Grau de resiliência | Praia /Setorização |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Muito elevado | Baixo | Muito elevado | Baixo | Crispim Central |
| | Baixo | Elevado | Baixo | Marudá Central |
| Elevado | Baixo | Moderado | Baixo | Marudá Sul |
| | Moderado | Muito Elevado | Alto | Crispim Norte |
| Moderado | Moderado | Muito Elevado | Moderado | Crispim Norte/ Crispim Sul |
| | Moderado | Elevado | Moderado | Marudá Sul/ Marudá Norte |
| Baixo | Moderado | Fraco | Alto | Santa Maria |
| | Alto | Fraco/Inexistente | Alto | – |

3.2.1. Grau de resistência

As observações sobre a presença de vegetação na linha de costa revelaram uma alternância na ocorrência desta variável (Tabela 11). Sendo possível correlacionar a presença de vegetação com a ocorrência de construções na costa, já que nas regiões mais ocupadas a vegetação se encontra reduzida ou ausente. No entanto, a partir da identificação do nível de cobertura vegetal local, foi possível apontar a predominância de vegetação bem desenvolvida na linha de costa. Havendo inclusive um gradiente natural ao longo da área de estudo, onde mais externamente ocorre vegetação pioneira em campos de dunas e, internamente ao estuário predomina vegetação de mangue, mais densa que a anterior.

Os resultados referentes às análises granulométricas de amostras superficiais de sedimentos coletados na zona de intermaré das praias seguiram a classificação de Wentworth (1922) para sedimentos arenosos e lamosos.

Após o método de peneiramento à seco dos sedimentos, foram obtidas três classes, onde silte e argila indicaram resistência alta à erosão, devido à forte coesão; areia grossa e média, indicaram resistência moderada; e areia fina e muito fina, partículas incoesas mais leves, indicaram resistência baixa, tal como mostra a relação erosão x partículas sedimentares no diagrama de Hjulström (1935).

Assim, foi constatado que ocorre a predominância dos grãos classificados como areia fina (0,125 mm) e muito fina (0,90 mm) em todas as praias (Tabela 11), tendendo a resistência baixa destas partículas.

Para o caso da existência de dunas na linha de costa, estas ocorrem somente na praia de Crispim (Tabela 11), as quais ficam classificadas como baixa (baixa altura), variando entre 1 e 2 metros, indicando também resistência mais baixa aos processos meteo-oceanográficos destas feições típicas que limitam o pós-praia em direção ao continente (limite superior).

A combinação das variáveis citadas anteriormente gerou uma variada combinação de resultados (Tabela 11), os quais por meio de uma avaliação qualitativa resultou em uma classificação final quanto ao grau de resistência das praias estudadas (Figura 4a).

Tabela 11. Variáveis obtidas na determinação do grau de resistência da linha de costa.

| Praias /Setorização | Cobertura vegetal | Granulometria | Dunas | GRAU DE RESISTÊNCIA |
|----------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|----------------------------|
| Crispim Norte | Moderada a alta | Areia fina | Baixas a ausentes | Moderado |
| Crispim Central | Baixa a ausente | Areia fina | Ausentes | Baixo |
| Crispim Sul | Alta | Areia fina | Baixas | Moderado |
| Marudá Norte | Alta | Areia fina | Ausentes | Moderado |
| Marudá Central | Baixa | Areia fina | Ausentes | Baixo |
| Marudá Sul | Baixa a moderada | Areia fina | Ausentes | Moderado a Baixo |
| Santa Maria | Alta | Areia fina | Ausentes | Moderado |

3.2.2. Grau de exposição

Segundo os resultados obtidos com a classificação das praias de acordo com o grau de exposição às ondulações (Figura 4b), foi possível observar que a praia de Crispim possui em toda sua extensão um grau de exposição muito elevado, já que ela se encontra em uma região da costa mais exposta ao oceano.

Na medida que se adentra o estuário de Marapanim, o grau modifica devido as áreas situadas no estuário médio serem mais protegidas e menos expostas ao oceano, como ocorre na praia de Marudá com grau variando de elevado a moderado, pois ainda ocorrem ondas neste local e, na praia de Santa Maria, sem ocorrência de ondas, cujo grau de exposição foi fraco.

3.2.3. Grau de resiliência

Com os dados obtidos por meio das observações de campo, foi possível elaborar um mapa do litoral de acordo com a resiliência local frente aos possíveis eventos erosivos que possam ocorrer (Figura 4c). Para isso, se considerou observações de recuperação ou não de ecossistemas, como a presença de dunas embrionárias, a ocorrência de mangue jovem, bem como a ausência deles e de outros ecossistemas de proteção em alguns trechos de costa já antropizadas.

Notou-se que ao longo da linha de costa, o grau de resiliência predominante foi o moderado, pois ecossistemas de proteção costeira ainda presentes numa grande extensão evidenciam indícios de degradação natural amenos, onde dunas frontais, embora escarpadas periodicamente, tem estado semi-vegetadas e com recuperação sazonalmente (mais estáveis e/ou desenvolvidas no período menos chuvoso). Além disso, a vegetação de mangue em direção às extremidades das praias tem mostrado certa recuperação ou estabilidade. Já nas áreas centrais e à sul da praia de Marudá, onde a vegetação é ausente ou esparsa, devido a ocupação antrópica, o grau de resiliência é baixo, havendo inclusive manguezal em tombamento.

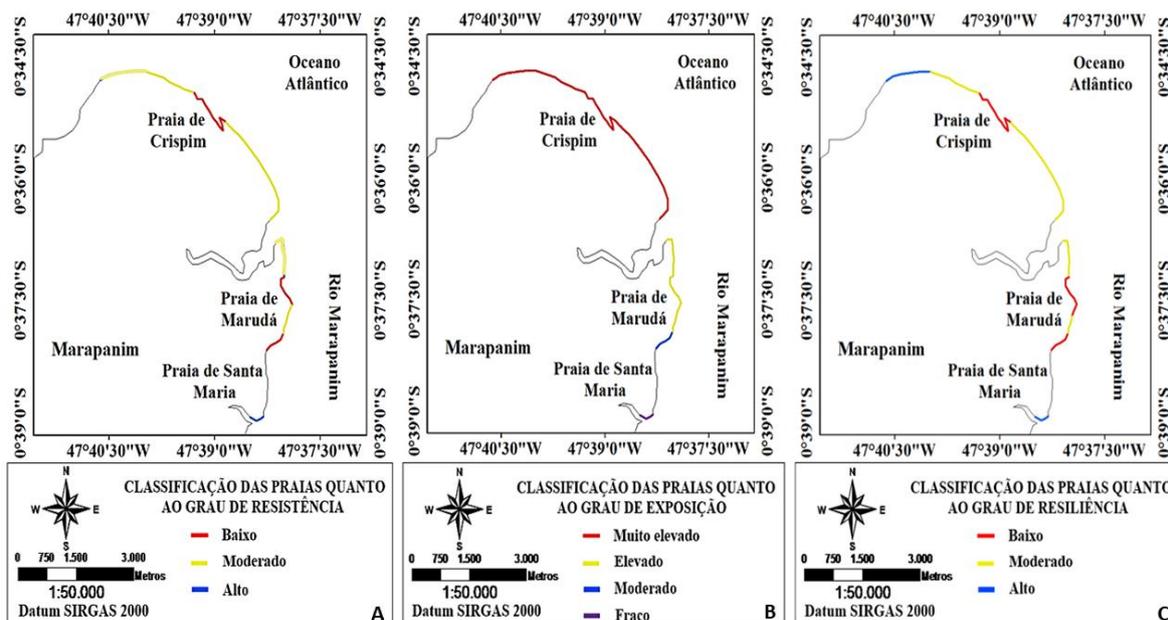


Figura 4. Grau de resistência (A), exposição (B) e resiliência (C) na linha de costa.

3.3. Grau de vulnerabilidade costeira

Ao considerar os geoindicadores de erosão e acreção costeira em Marapanim, somado ao nível de instabilidade local (Tabela 10), ou seja, às características específicas da vegetação e das dunas na linha de costa, e da granulometria predominante da face praia, foi possível identificar a vulnerabilidade costeira à erosão nas praias (Figura 3a).

Não houve total semelhança no mapeamento das áreas erosivas identificadas em campo e o nível de vulnerabilidade física à erosão (Figuras 3a e 3b), pois no segundo caso se considera também o grau de resistência e resiliência de geoindicadores ambientais estudados, além do grau de exposição das praias às ondas.

Assim, no litoral de Marapanim, a vulnerabilidade costeira é predominantemente moderada e alta (Figura 3a). Outras pesquisas também demonstram a alta vulnerabilidade em praias amazônicas (BRAGA *et al.*, 2019; ALMEIDA, 2017, 2015; RANIERI e EL-ROBRINI, 2016; PEREIRA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2011). Contudo, ressalta-se nesta pesquisa que a caracterização da vulnerabilidade costeira é bastante heterogênea, visto que muitas áreas da costa amazônica ainda se apresentam preservadas, ou com baixa taxa de erosão.

Vale destacar também que as regiões deste estudo com maior ocorrência de erosão e instabilidade muito elevada, além de estarem suscetíveis a alta hidrodinâmica, são as que têm ocupação humana mais intensa, onde os patrimônios naturais estão bastante modificados pela ação antrópica, como o setor central de Crispim e Marudá. Santa Maria foi a única área com baixo grau de vulnerabilidade costeira, pois além de apresentar características naturais mais preservadas, está localizada em setor mais abrigado, sem ação de ondas. Na figura 5 é demonstrada a evolução da linha de costa nas 3 praias (anos de 2010 a 2020), inclusive a visualização da expansão urbana.

Mallmann e Araújo (2010) ao estudar a erosão na Região Metropolitana de Recife (Brasil), constatou altas taxas de vulnerabilidade, como sendo oriundo de um deslocamento da linha de urbanização. Isso mostra que o problema da erosão é causado tanto pelo avanço do mar em direção ao continente, e o nível de exposição local à hidrodinâmica; quanto pelo avanço da ocupação humana em direção ao mar.

Neste mesmo contexto, verificou-se que as praias de Marapanim apresentaram aspecto semelhante nas áreas ocupadas e mais expostas. E isto reflete não somente no grau de vulnerabilidade costeira, mas principalmente no grau de risco (Figura 6a).



Figura 5. Evolução da linha de costa (2010 a 2020) e da ocupação humana em Santa Maria, com acreção ou estabilidade costeira e, em trechos da orla das praias de Crispim e Marudá, com erosão severa (não evidente na praia de Marudá, devido a presença de muro de Arrimo e calçadão, onde a erosão é observada *in loco* pelos danos neles).

Constatou-se que no trecho central da praia do Crispim houve um recuo costeiro de 125 m em uma década, 42 m de avanço da linha de costa na praia de Marudá, embora tenha ocorrido apenas numa pequena área ao norte e, 10 m de avanço da linha de costa na praia de Santa Maria (Figura 5).

3.4. Grau de risco

O risco está associado ao perigo que um evento danoso pode causar a uma população. Logo é resultado da interação entre a vulnerabilidade do ambiente e as características de ocupação do litoral. Neste caso, a posição das construções de origem humana em relação à linha de costa (Tabela 12; Figura 6a).

Tabela 12. Classificação do grau de risco das praias de Marapanim (ano de 2018 a 2020).

| GRAU DE RISCO | Posição de construções | Vulnerabilidade física | Praia/Setorização |
|----------------------|------------------------|------------------------|---|
| Muito elevado | Linha de costa | Muito elevada | Crispim Central Marudá Central |
| Elevado | Linha de costa | Elevada | Marudá Sul |
| Moderado | < 50 m | Baixa | Santa Maria |
| Baixo | > 200 m | Elevada/Moderada | Crispim Norte Crispim Sul Marudá Norte |

Geralmente, o grau de vulnerabilidade costeira e de risco costeiro são equivalentes, mas nem sempre. No setor norte das praias de Crispim e Marudá, por exemplo, a vulnerabilidade foi considerada elevada, porém o grau de risco foi baixo, já que sua determinação é dependente da ocupação humana próximo à linha de costa, pois o risco está principalmente associado à presença de pessoas em uma determinada área (LINS-DE-BARROS, 2005), o que não ocorre nesses setores.

O mesmo acontece na praia de Santa Maria, que apesar de apresentar baixa vulnerabilidade costeira, tem risco moderado, pois há ocupação residencial a menos de 50 metros da linha de costa, mesmo que baixa. No caso de ocorrer um evento extremo, por exemplo, ou modificações em áreas adjacentes, alterando a hidrodinâmica estuarina, esta área poderá ser afetada.

3.5. Grau de danos

O grau de danos foi definido em cinco classes, a partir de observações de degradações às infraestruturas construídas na linha de costa. Em grande parte, estas construções são ausentes na linha de costa e, em outras, embora existam, a ocorrência de danos muito fortes não é observada. Com isso, as praias ficaram representadas de acordo com o mapa abaixo (Figura 6b).

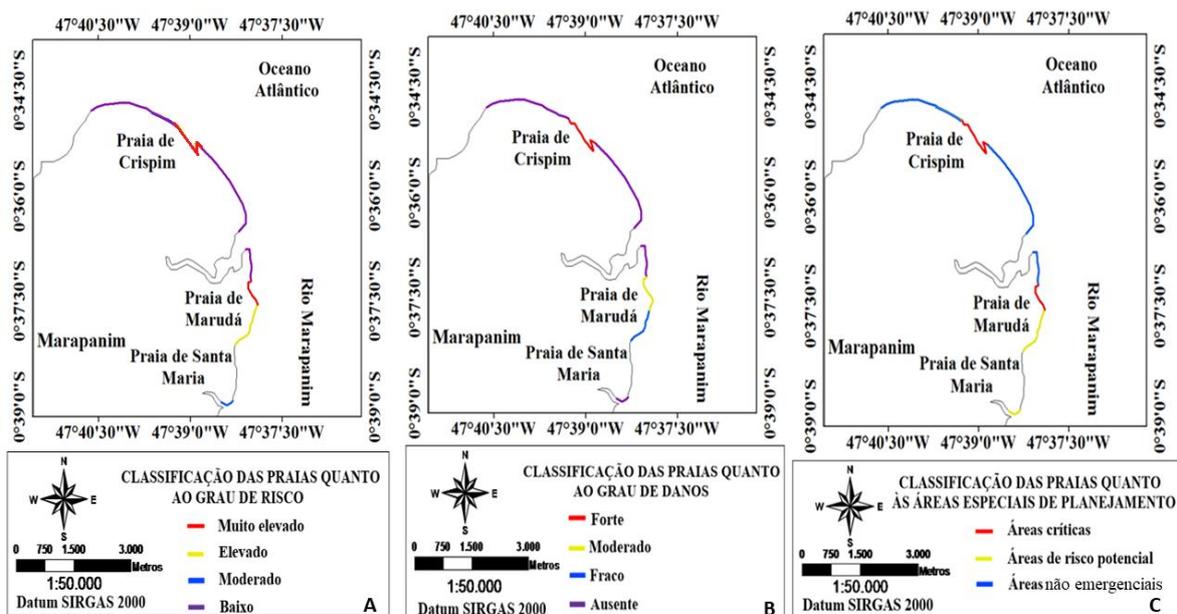


Figura 6. Grau de risco (A), grau de danos costeiros (B) e identificação das áreas especiais para planejamento na gestão costeira (C).

Apesar de haver consequências de degradação nas obras de adaptação costeira em Marudá, como mostra os resultados encontrados para o grau de danos na praia (Figuras 6b), estes não passaram de danos moderados.

Situação distinta ocorre no setor central do Crispim (Figura 6b), onde também existem obras de proteção costeira, de infraestrutura e ocupação humana na linha de costa, mas com maiores evidências de agravamento da erosão costeira, apresentando diversos danos e impactos associados, visto que a praia do Crispim se encontra mais exposta ao oceano.

Esse tipo de ocorrência já foi constatado por vários autores no litoral amazônico e brasileiro (SOUZA, 2008; NASCIMENTO e LIMA, 2010; MALLMANN e ARAÚJO, 2010; MUEHE e ROSMAN, 2011; PIATTO e POLETTE, 2012; RANIERI e EL-ROBRINI, 2015, 2016; ALMEIDA e JARDIM, 2018).

Nos extremos da praia de Crispim, os danos foram ausentes (Figura 6b), pois não se constataram construções nessas áreas, com natureza preservada. Também em Santa Maria, os danos foram considerados ausentes, mas por não existirem destruição em estruturas construídas (Figura 7e), as quais se localizam um pouco mais distantes da linha de costa, mesmo que a menos de 50 metros. Trata-se de um local que tende a ter baixas taxas de variação da linha de costa.

Com os resultados obtidos para grau de danos, grau de risco e as distinções quanto à presença de ocupação humana na linha de costa, foi elaborado também o mapa das áreas especiais de planejamento (Figura 6c), como sugestão à gestão costeira, cuja discussão é mais bem apresentada no item 3.7.

3.6. Adaptações empregadas com obras de proteção costeira

As obras costeiras observadas na área de estudo localizam-se nas praias de Crispim e Marudá, correspondendo às estruturas rígidas, como muros de contenção de erosão, principalmente. Contudo, verificou-se também algumas obras de proteção de menor porte, realizadas de forma autônoma pela população, já que em algumas propriedades o fenômeno erosivo começou a trazer prejuízos com a destruição das construções. Dentre estas estruturas de contenção de erosão pode-se citar: barreiras de rochas, sacos de areia e estacas de madeiras.

Os resultados obtidos com as matrizes de Farinaccio e Tesler (2010), aplicadas nas praias, são representativos somente para as regiões onde ocorre intervenção humana, com presença de construções. Na praia de Crispim, as obras são de dois tipos de função: (1) obras de proteção com muros e barreiras de rochas (Figura 7a) e (2) obras de infraestrutura com canais de águas superficiais, palafitas, aterros de passagem e plataforma de acesso (Figura 7a). Estas ocorrem apenas na porção central da praia.

Nesta praia, os principais impactos que ocorrem são os do tipo G3 de Farinaccio e Tesler (2010), sendo eles: deposição de areia em equipamentos públicos e avenidas, colapso de muros de proteção (Figura 7a), escalonamento da linha de costa por sucessivas estruturas rígidas perpendiculares à linha de costa, alteração da paisagem, contaminação da água superficial - por efluentes, contaminação da água por resíduos sólidos, alteração do regime de fluxo da água subterrânea (devido a construção de ruas/estradas).

Também ocorrem impactos do tipo G1 (Farinaccio e Tesler, 2010), impactos sobre a faixa de areia/praias que são: redução da faixa de praia (avanço da praia sobre as áreas ocupadas e, posterior implantação de obras de contenção de erosão), alteração da topografia da praia (perfil praiial), aumento de processos erosivos na praia (formação de células erosivas) e aprisionamento de sedimentos junto às estruturas rígidas danificadas, impedindo seu movimento a sotamar (Figura 7f), ou intensificando o processo de refluxo de ondas nas não danificadas.



Figura 7. Obras de proteção e infraestrutura: muro de contenção de erosão em Crispim (A) e Marudá (B). Barreiras de rochas, casas/bares de palafitas (C) em Marudá. Obras de lazer e turismo: píer e plataforma de pesca em Marudá (D). Ausência de obras de proteção em Santa Maria (E). Impactos: aprisionamento de sedimentos em detritos de construções em Crispim (F); colapso do muro e rampa de acesso à praia de Marudá (G); aterros de passagem e invasão: redução de manguezais (H). Fotografias: 15/03/2018.

Na praia de Marudá foram observados três tipos de obras costeiras que não ocorrem apenas ao norte da praia: (1) obras de proteção com muros e barreiras de rochas (Figuras 7b e 7c); (2) obras de infraestrutura com

emissários, canais de águas superficiais, aterros de loteamento, palafitas (Figura 7c), aterros de passagem e plataforma de acesso; e (3) obras de lazer e turismo com aterros e píer ou plataformas de pesca (Figura 7d).

Em relação aos impactos na praia de Marudá, ocorreram 2 tipos de impactos propostos por Faninaccio e Tesller (2010). No tipo G1 (impactos sobre a faixa de areia/praias) só não foi reconhecido o item: praia mais extensa causada pelo assoreamento ou deposição, apesar de haver acreção de bancos arenosos à zona de intermaré inferior da praia, tornando-a muito extensa. Contudo, a deposição é favorecida por fatores naturais, e não em decorrência das obras costeiras. Em relação aos impactos do tipo G3 (outros impactos associados) (Figura 7g) somente não ocorreram: solapamento e assoreamento.

Devido às características da praia de Santa Maria, essa metodologia se enquadrou apenas aos impactos do tipo G3 (em canais estuarinos). Os resultados indicaram pouca intervenção antrópica (Figura 7e) nessa área em relação à erosão. Não existem obras de contenção de erosão neste trecho do litoral, adjacente a um canal estuarino. Os impactos são de uso do solo e redução de áreas naturais, como manguezais (Figura 7h).

Em relação à principal intervenção humana existente ao longo da linha de costa estudada, destaca-se o caso da “Orla de Marudá” (assim denominado localmente o calçadão). Sua construção ocorreu em meados de 2004 como obra de proteção costeira e de infraestrutura, para melhor atender aos turistas que frequentam grandemente a região nos meses de férias e feriados.

Porém, segundo Nascimento e Lima (2010), tal obra foi instalada entre a linha de preamar e o berma, pois construções já estavam consolidadas sobre o pós-praia, o que seria necessário pagar altos valores em indenizações para a sua remoção. Sendo assim, o governo do Estado do Pará decidiu construir a orla (sistema viário e muro de contenção) para que as residências, bares e restaurantes não avançassem ainda mais sobre a faixa de areia. No entanto, isso manteve o problema de instalações humanas diretamente na linha de costa, o que é tecnicamente não recomendável.

Assim, a implantação da obra de engenharia rígida mitigou o problema iminente da erosão, contudo implicou em periodicamente haver manutenção do espaço físico, visto que há destruição parcial de algumas partes da orla, como as rampas de acesso à praia (Figura 7g), devido às forçantes oceanográficas atuantes na área. Estas ao depararem com as estruturas rígidas também modificam as células de circulação costeira (SOUZA *et al.*, 2005; FANINACCIO e TESLLER, 2010). As forçantes oceanográficas são mais expressivas na região principalmente no período mais chuvoso, quando há ação conjunta das marés altas de sizígia e níveis elevados dos rios (GEYER *et al.*, 1996; NITTROUER e DeMASTER, 1996; PEREIRA *et al.*, 2014).

3.7. Áreas especiais para planejamento

As áreas especiais de planejamento no litoral de Marapanim foram definidas de acordo com a análise do risco costeiro e, conseqüentemente, da posição das construções na linha de costa, além da análise dos danos da erosão costeira observados na linha de costa, conforme já ressaltado e destacado na figura 6c.

Identificou-se que grande parte do litoral não necessita de ações emergenciais. Mas os setores central de Crispim e Marudá, os com maior infraestrutura na linha de costa, foram enquadrados como áreas críticas para ações de gestão costeira. Santa Maria e o setor sul de Marudá são áreas de risco potencial (Figura 6c).

Apesar de haver muitas áreas que não necessitam de ações emergenciais, elas também precisam ser monitoradas. As áreas que estão mais preservadas e não estão na eminência de ocupação humana podem ser estudadas para que seja realizado nelas atividades de educação ambiental com a comunidade local, como a criação de reservas e refúgio ambiental, visando a manutenção da preservação. Além disso, as áreas que possuem o recuo de construções com mais de 200 metros da linha de costa precisam ter um plano de ocupação para que esse recuo seja mantido.

Segundo Muehe (2003), a fixação de uma largura de pelo menos 200 m, medida a partir do limite interno ou proximal do berma, poderia ser o mínimo estabelecido como critério de estabilidade potencial, e conseqüente não urbanização.

As áreas de risco potencial também necessitam de um monitoramento, pois apresentam riscos moderados e danos moderado a baixo. Também representam uma situação de risco iminente, pois possuem tendência de urbanização ou de aumento de densidade de construções, dependendo da evolução populacional no decorrer dos anos. Setores atualmente pouco ocupados podem apresentar grande ocupação humana futuramente, o que acarretaria maiores riscos para a população, assim como deveria se ter um controle e ordenamento da ocupação

nas áreas com recuo urbano de menos de 50 metros, pois a esta distância da linha de costa já não estão em condições ideais, ou seja, iminentemente desprotegidas dos fenômenos oceanográficos, especialmente diante das mudanças climáticas em curso, que tem ocasionado elevação do nível do mar na maioria das costas mundiais.

Para as áreas críticas, que possuem uma ocupação humana mais consolidada ou enfrentam o problema da erosão mais severa, as ações como a orientação da comunidade para que não avancem mais seus aterros e construções sobre a faixa de areia, são de grande valia. Contudo, quando estas instalações já estão bastante fixadas no litoral, há necessidade de ações governamentais de recuperação da linha de costa e até mesmo realocação de imóveis, quando a densidade populacional não é tão alta, como no Crispim.

Por fim, ressalta-se que para a realização destas ações são necessários estudos específicos em cada região, que envolvam todos os profissionais especializados na gestão costeira, para que a ação escolhida seja a melhor possível, mais eficiente e duradoura.

4. Conclusões

O litoral de Marapanim é um importante polo turístico do Estado do Pará, recebendo um intenso fluxo de pessoas durante os períodos de férias escolares e feriados. A praia de Marudá é a que apresenta a melhor estrutura, assim é a mais urbanizada em relação às outras estudadas (Crispim e Santa Maria). Por isso, foi a que apresentou maiores áreas de vulnerabilidade à erosão e grau de risco, devido às construções de imóveis adjacentes à linha de costa em praticamente toda sua extensão, além da implantação de estruturas rígidas de concreto (calçadão) para tentar fornecer lazer e a proteção necessária contra o avanço da erosão costeira.

A praia de Crispim é uma região onde a ocupação humana está concentrada em sua porção central, com alguma infraestrutura para atender os moradores e os turistas. Porém, nesse setor, a erosão costeira está mais evidente, com a destruição de várias construções erguidas sem planejamento na linha de costa, que naturalmente apresenta grande dinamismo pela sua exposição ao oceano aberto, localização em pequena desembocadura estuarina, além da sua adjacência à um canal de maré que atravessa a praia, e suas correntes associadas.

Porém, nos extremos da praia, onde a ocupação é inexistente, a erosão não é intensa, pois as barreiras naturais de proteção da linha de costa se encontram preservadas, aumentando o grau de resiliência destes ambientes (dunas e manguezais).

Santa Maria é a praia com o menor índice de vulnerabilidade e grau de risco moderado, pois além de se encontrar numa região mais abrigada e protegida das forçantes oceanográficas, está em processo de urbanização, mesmo com construções apresentando um recuo menor que 50 m em relação à linha de costa. Além disso, as proteções naturais ainda estão bastante presentes nesta área, cuja tendência natural de variações na linha de costa são menores.

Conclui-se que a vulnerabilidade costeira à erosão do trecho Crispim-Santa Maria variou bastante em decorrências dos parâmetros utilizados para sua determinação. Porém, foi notório que a ação antrópica, somada aos processos naturais, tem contribuído para erosão costeira local, sendo as áreas com maior ocupação e mais próximas da linha de costa as que apresentaram níveis elevados de instabilidade local, riscos e danos costeiros, enquadrando-se, desta forma, como áreas críticas, especiais para planejamento.

Pode-se dizer ainda que o grau de exposição das praias é um forte fator natural para condição observada, onde a praia mais exposta, a do Crispim apresentou indicativos mais evidentes de erosão severa, com recuo da linha de costa de mais de 100 m em uma década, seguido da praia de Marudá e, por conseguinte, a praia de Santa Maria, mais abrigada da ação de ondas.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

Agradecimentos: Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) e seus membros, pelo apoio técnico. Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará pelo suporte aos pesquisadores em atividades de campo.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ALMEIDA, A.F. (2015). Amazônia Atlântica: mudanças e impactos nas praias oceânicas paraenses. In VIEIRA, I. C. G.; JARDIM, M. A. G.; ROCHA, E. J. P. (org.) **Amazônia em Tempo: estudos climáticos e socioambientais**. UFPA, MPEG, EMBRAPA, Belém: p. 337–355.
2. ALMEIDA, A.F. (2017). Uso e ocupação do litoral amazônico: os efeitos socioeconômicos e ambientais. In VASCONCELOS, S.S.; RUIVO, M.L.P.; LIMA, A.M.M. (org.) **Amazônia em tempo: impactos do uso da terra em diferentes escalas**. UFPA, MPEG, EMBRAPA, Belém: p. 167–183.
3. ALMEIDA, A.F.; JARDIM, M.A.G. Mudanças socioeconômicas e ambientais resultantes das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico no litoral do Nordeste do Pará, Brasil. **Desenvolvimento & Meio Ambiente**, v. 49, p. 108–129, 2018. DOI: 10.5380/dma.v49i0.55128
4. BAÍA, L.B.; RANIERI, L.A.; ROSÁRIO, R.P. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas de macromaré na Amazônia Oriental. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 231–244, 2021. DOI: 10.5016/geociencias.v40i1.13470
5. BEVACQUA, A.; YU, D.; ZHANG, Y. Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places. **Environmental Science & Policy**, v. 82, p. 19–29, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.01.006
6. BRAGA, R.C.; PIMENTAL, M.A.S.; COELHO, C.; SZLAFSZTEIN, C.F.; ROLLNIC, M. Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 19, n. 4, p. 245–264, 2019. DOI: 10.5894/rgci-n219
7. Brasil. **Lei n.º 7.666, de 16 de maio de 1988**. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DOU de 18/5/1998.
8. BRASIL. **Decreto n.º 5.300, de 7 de dezembro de 2004**. Regulamenta a Lei n.º 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Brasília: DOU de 8/12/2004.
9. BUSH, D.M.; NEAL, W.J.; YOUNG, R.S.; PILKEY, O.H. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal –hazard risk and mitigation. **Ocean and Coastal Management**, v. 42, p. 647–670, 1999. DOI: 10.1016/S0964-5691(99)00027-7
10. EL-ROBRINI, M.; ALVES, M.A.M.S.; SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M.H.S.; SILVA JÚNIOR, O.G.; FRANÇA, C.F. (2006). Atlas de erosão e progradação da zona costeira do Estado do Pará – Região Amazônica: Áreas oceânica e estuarina. In MUEHE, D. (org.) **Atlas de Erosão e Progradação da Zona Costeira Brasileira**. São Paulo, p.: 1–34.
11. EL-ROBRINI, M.; RANIERI, L. A.; SILVA, P. V. M.; ALVES, M. A. M. S.; GERREIRO, J. S.; OLIVEIRA, R. R. S.; SILVA, M. S. F.; AMORA, P. B. C.; EL-ROBRINI M. H. S.; FENZL, N. (2018). Pará. In MUEHE, D. (org.) **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. MMA, Brasília: p. 65–166.
12. ESTEVES, L. S.; SILVA, A. R. P.; AREJANO, T. B.; PIVEL, M. A.; VRANJAC, M.P. Coastal development of human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI, n. 35, p. 548–556, 2003.
13. FARINACCIO, A.; TESSLER, M. G. Avaliação de Impactos Ambientais no Meio Físico decorrente de Obras de Engenharia Costeira – Uma Proposta Metodológica. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 1, n. 4, p. 419–434, 2010.
14. GARCÍA, A. A. **Diagnóstico ambiental da Lagoa da Conceição e do Canal da Barra através de indicadores físico-químicos dos sedimentos do fundo e dos indicadores sócio-ambientais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1999. 332p.
15. GEYER, W. R.; BEARDSLEY, R. C.; LENTZ, S. J.; CANDELA, J.; LIMBURNER, W. R.; JONHS, W. E.; CASTRO, B. M.; SOARES, I. D. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v. 16, Issue n. 5-6, p. 575–616, 1996.
16. GRUBER, N. L. S.; BARBOZA, E.G.; NICOLODI, J.L. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira. **Gravel**, v. 1, p. 81–89, 2003.

17. GUERREIRO, J. S.; RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M.; VILA-CONCEJO, A. Seasonal changes of a dynamic macrotidal beach: Case study of Marieta beach (Amazon Coast/Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. SI, n. 65, p. 1780–1784, 2013.
18. HJULSTROM, F. **Studies of Morphological Activity of Rivers as Illustrated by the River Fyris**. Bulletin of the Geological Institute University of Uppsala, 25. Califórnia: Almqvist&Wiksell, 1935.
19. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Unidades da Federação: Pará. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Para.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2020.
20. INNOCENTINI, V.; PRADO, S. C. S. C.; PEREIRA, C. S.; ARANTES, F. O.; BRANDAO, I. N. Ocorrência de vagas no arquipélago de São Pedro e São Paulo: caso de 24 de outubro de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 2, p. 177–186, 2001.
21. KANTAMANENI, K. Coastal infrastructure vulnerability: na integrated assessment model. **Natural Hazards**, v. 84, p. 139–154, 2016. DOI: 10.1007/s11069-016-2413-y
22. LINS-DE-BARROS, F.M. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos socioeconômicos na orla urbanizada do Município de maricá, rio de janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2, p. 83–90, 2005. DOI: 10.20502/rbg.v6i2.54
23. MALLMANN, D. L. B.; ARAÚJO, T. C. M. Vulnerabilidade Física do Litoral Sul de Pernambuco à Erosão. **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 2, p. 130–152, 2010. DOI: 10.5914/tropocean.v38i2.5167
24. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGCII)**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/pngc2.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018
25. MMA; MPOG – Ministério do Meio Ambiente e Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Projeto Orla: fundamentos para a gestão integrada**. Brasília: MMA, 2006. 74p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008111238.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2018.
26. MORTON, R. Factors controlling storm impacts on coastal barriers and beach: a preliminary basis for near real-time forecasting. **Journal of Coastal Research**, v. 18, n. 3, p. 486–501, 2002.
27. MUEHE, D. (2003). Definição de limites e tipologias da orla sob aspectos morfodinâmicos e evolutivos. In MMA; MPOG (org) **Projeto Orla: Subsídios para um projeto de gestão**. Distrital Gráfica, Brasília: p. 13–32.
28. MUEHE, D.; ROSMAN, P.A. (2011). Orla costeira da região metropolitana do Rio de Janeiro: impactos das mudanças climáticas sobre o meio físico. In NOBRE, C. A. (org.) **Megacidades, vulnerabilidades e mudanças climáticas: região metropolitana do Rio de Janeiro**. UFRJ, INPE, UERJ, FIOCRUZ, Rio de Janeiro: p. 75–106.
29. NASCIMENTO F.C.; LIMA, J.J.F. Diretrizes técnicas para locação de limites edificados em praias. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 197–218, 2010. DOI: 10.1590/S1678-86212010000400014
30. NICOLODI, J.L.; PETERMANN, R.M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 10, n. 2, p. 151–177, 2010.
31. NITTROUER, C.A.; DEMASTER, D.J. The Amazon shelf setting: tropical, energetic, and influenced by large river. **Continental Shelf Research**, v. 16, p. 553–574, 1996. DOI: 10.1016/0278-4343(95)00069-0
32. OLIVEIRA, S. M. O.; PEREIRA, L. C. C.; VILA-CONCEJO, A.; GORAYEB, A.; SOUSA, R. C.; COSTA, R. M. Natural and anthropogenic impacts on a macrotidal sandy beach of the Brazilian Amazon (Ajuruteua): guidelines for coastal management. **Journal of Coastal Research**, v. SI, n. 64, p. 1385–1389, 2011.
33. PANTUSA, D.; D’ALESSANDRO, F.; RIEFOLO, L.; PRINCIPATO, F.; TOMASICCHIO, G.R. Application of a coastal vulnerability index. A case study along the Apulian Coastline, Italy. **Water**, v. 10, n. 9, p. 1218, 2018. DOI: 10.3390/w10091218
34. PEREIRA, L. C. C.; VILA-CONCEJO, A.; COSTA, R. M.; SHORT, A. D. Managing physical and anthropogenic hazards on macrotidal Amazon beaches. **Ocean & Coastal Management**, v. 96, p. 149–162, 2014. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.05.008

35. PIATTO, L.; POLETTE, M. Análise do processo de artificialização do município de Balneário Camboriú, SC, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 12, n. 1, p. 77–88, 2012.
36. POLETTE, M.; SILVA, P.L. GesampIcam e PNGC – Análise comparativa entre as metodologias de gerenciamento costeiro integrado. **Ciência e Cultura**, v. 4, p. 27–31, 2003.
37. RAKIB, M. A.; SASAKI, J.; PAL, S.; NEWAZ, MD. A.; BODRUD-DOZA, MD.; BHUIYANE, M. A. H. An investigation of coastal vulnerability and internal consistency of local perceptions under climate change risk in the southwest part of Bangladesh. **Journal of Environmental Management**, v. 231, p. 419–428, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.054
38. RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. 2015. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 3, p. 207–226. DOI: 10.22456/1807-9806.78121
39. RANIERI, L.A.; EL-ROBRINI, M. 2016. Condição oceanográfica, uso e ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 16, n. 2, p. 133–146. DOI: 10.5894/rgci565
40. SILVA, P.E.D. **Caracterização do padrão de ondas na costa do Brasil por meio de modelagem numérica**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2013. 332p.
41. SOUZA, C.R.G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, L.S.; VITAL, H.; DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M.; ADDAD, J.E. (2005). Praias arenosas e erosão costeira. In SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (org.) **O Quaternário do Brasil**. Holos, Ribeirão Preto: p. 130–152.
42. SOUZA, M.A.L. Benefícios Ambientais no Controle de Erosão Costeira com o uso do Dissipador de Energia “Bagwall” no Litoral de Alagoas. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 8, n. 2, p. 139–148, 2008.
43. SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. São Paulo: T.A. Queiroz, 1992.171p.
44. TANO, R.A.; AMAN, A.; TOUALY, E.; KOUADIO, Y.K.; FRANÇOIS-XAVIER, B.B.D.; ADDO, K.A. Development of an Integrated Coastal Vulnerability Index for the Ivorian Coast in West Africa. **Journal of Environmental Protection**, v. 9, p. 1171–1184, 2018. DOI: 10.4236/jep.2018.911073
45. WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p. 377–392, 1992.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.